



UNIVERSIDADE D
COIMBRA



João Baptista Huvi

**ESTRATIGRAFIA E HIDROGEOLOGIA DO
DEPÓSITO DELTAICO DO RIO
CATUMBELA (ANGOLA)**

Tese no âmbito do Doutoramento em Geologia, Ramo Recursos Geológicos e Ambiente, orientada por Professor Doutor Pedro Morgado Dinis e Professor Doutor José Manuel Martins Azevedo, e apresentada ao Departamento de Ciências da Terra da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Fevereiro de 2019

Departamento de Ciências da Terra
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

ESTRATIGRAFIA E HIDROGEOLOGIA DO DEPÓSITO DELTAICO DO RIO CATUMBELA (ANGOLA)

João Baptista Huvi

Tese de Doutoramento em Geologia, Ramo Recursos Geológicos e Ambiente

Orientadores científicos
Professor Doutor Pedro Morgado Dinis,
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

Professor Doutor José Manuel Martins Azevedo,
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

Fevereiro 2019



UNIVERSIDADE D
COIMBRA



INDICE GERAL

CAPITULO 1. INTRODUÇÃO	26
1.1. Enquadramento	26
1.2. Objectivos e tarefas.....	28
1.3. Estrutura da Tese.....	29
CAPITULO 2. ENQUADRAMENTO REGIONAL.....	31
2.1. Geográfico e Administrativo	31
2.2. Geomorfológico	33
2.3. Geológico	37
2.4. Climatológico.....	45
2.5. Hidrográfico	50
2.6. Agentes costeiros.....	51
CAPÍTULO 3. METODOLOGIAS	54
3.1. Fases de investigação.....	54
3.1.1. Desenho do projeto	54
3.1.2. Estudo exploratório.....	55

3.1.3. Desenvolvimento do projecto	56
3.1.4. Tratamento de dados	56
3.2. Metodologias utilizadas	56
3.2.1. Pesquisa bibliográfica e cartográfica	56
3.2.2. Trabalho de campo.....	57
3.2.2.1. Reconhecimento de campo	58
3.2.2.2. Implantação de piezómetros	58
3.2.2.3. Amostragem de sedimentos	59
3.2.2.4. Ensaio hidráulicos.....	60
3.2.2.5. Medições hidrológicas <i>in situ</i>	62
3.2.3. Trabalhos laboratoriais	62
3.2.3.1. Análise de sedimentos	62
3.2.3.2. Amostragem e análise da água	65
3.2.4. Trabalhos de gabinete	66
3.2.4.1. Interpretação de imagens, fotos e mapas	66
3.2.4.2. Análise e tratamento de dados.....	67
CAPÍTULO 4. CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA E DE OCUPAÇÃO ANTRÓPICA DO DDRC.....	
4.1. Evolução geomorfológica	68
4.1.1. Trabalhos anteriores.....	70
4.1.2. Unidades morfo-sedimentares	74
4.1.2.1. Cordões de praia	77
4.1.2.2. Lagunas inter-cordões e de mangal	79
4.1.2.3. Canais fluviais e distributários	80
4.1.2.4. Planície de inundação e baías inter-distributárias	82

4.1.3. Evolução holocénica.....	83
4.1.3.1. Construção precoce seguida de migração do rio para norte	83
4.1.3.2. Migração do canal fluvial para sul	85
4. 2. Ocupação humana do delta do Catumbela	86
4.2.1. História da presença humana.....	86
4.2.2. Condições atuais de uso e ocupação.....	88
4.2.3. Atividades e fontes potencialmente contaminantes.....	91
CAPITULO 5. CARACTERIZAÇÃO SEDIMENTOLÓGICA DOS DEPÓSITOS ALUVIONARES.....	96
5.1. Unidades sedimentares.....	96
5.1.1. Fácies de canal fluvial ou distributário (A e B).....	97
5.1.1.1. Descrição	97
5.1.1.2. Interpretação	101
5.1.2. Fácies de planície de inundação (C a F)	101
5.1.2.1. Descrição	101
5.1.2.2. Interpretação	104
5.1.3. Fácies de mangal ou laguna costeira (G).....	105
5.1.3.1. Descrição	105
5.1.3.2. Interpretação	106
5.1.4. Fácies de praia (H).....	107
5.1.4.1. Descrição	107
5.1.4.2. Interpretação	108
5.2. Arquitetura deposicional	109
5.3. Factores responsáveis pela distribuição das unidades sedimentares	114
5.3.1. Deriva litoral	114

5.3.2. Abandono e migração de canais	115
5.3.3. Inundação da planície deltaica	117
CAPITULO 6 - HIDROGEOLOGIA.....	118
6.1. Fundamentos teóricos gerais	118
6.1.1. Propriedades hidrogeológicas	119
6.1.1.1. Porosidade (n e ne).....	119
6.1.1.2. Condutividade hidráulica (K)	120
6.1.1.3. Transmissividade (T)	121
6.1.1.4. Coeficiente de armazenamento (S) e Cedência específica (Sy)	121
6.2. Pontos de água e resultados de campo	121
6.2.1. Pontos de estudo.....	121
6.2.2. Medições e ensaios.....	124
6.3. Piezometria e hidrodinâmica subterrânea	126
6.3.1. Piezometria de março e novembro de 2013	128
6.3.2. Piezometria de março e novembro de 2014 e de março de 2015	131
6.3.3. Evolução do nível freático	133
6.4. Ensaio hidrodinâmico.....	136
6.5. Domínios hidrogeológicos do DDRC	138
6.5.1. Planície de inundação (Pi).....	138
6.5.2. Canal fluvial/distributário (Cfd)	139
6.5.3. Mangal-laguna costeira (Mlc)	140
6.5.4. Praia (P´)	141
6.6. Modelação hidrogeológica conceptual	142
6.6.1. Recarga aquífera.....	143
6.6.2. Descarga aquífera	145

6.6.3. Circulação e armazenamento hídricos subterrâneos	145
6.6.4. Modelos hidrogeológicos setoriais.....	146
6.7. Avaliação geral de reservas hídricas subterrâneas	150
CAPITULO 7 - HIDROGEOQUÍMICA	153
7.1. Pontos de amostragem	154
7.1.1. Águas subterrâneas	154
7.1.2. Águas superficiais (rio e vala)	154
7.2. Medições, parâmetros e métodos analíticos	156
7.2.1. Medições de campo (<i>in situ</i>).....	156
7.2.2. Análises de laboratório	157
7.3. Resultados obtidos	158
7.3.1. Parâmetros físico-químicos <i>in situ</i>	159
7.3.2 Parâmetros químicos.....	160
7.4. Interpretação dos resultados: caracterização hidrogeoquímica	161
7.4.1. Parâmetros físico-químicos <i>in situ</i>	161
7.4.1.1. Condutividade eléctrica	162
7.4.1.2 Temperatura da água.....	164
7.4.1.3. Potencial hidrogeniónico	166
7.4.1.4. Oxigénio dissolvido.....	169
7.4.1.5. Potencial de oxidação-redução	172
7.4.2. Parâmetros químicos.....	175
7.4.2.1. Alcalinidade	176
7.4.2.2. Cálcio e Magnésio.....	178
7.4.2.3. Potássio.....	181
7.4.2.4. Sulfato	183

7.4.2.5. Nitrato, Nitrito e Amónia	186
7.4.2.6. Fosfato	190
7.4.2.7. Manganés.....	191
7.4.2.8. Crómio.....	194
7.4.2.9. Molibdénio	195
7.4.3. Relações inter-paramétricas, origem da água e processos hidrogeoquímicos	196
CAPITULO 8. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	201
8.1. Principais conclusões.....	201
8.2. Recomendações.....	204
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	206
ANEXOS	219

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Localização geográfica de Benguela na República de Angola.....	32
Figura 2. 2. Unidades morfológicas de Angola segundo.....	34
Figura 2. 3. Topografia (baseado em MDT SRTM) e geologia.....	35
Figura 2. 4. Características topográficas da bacia hidrográfica do rio Catumbela e áreas envolventes.	36
Figura 2. 5. Grandes unidades tectono-estratigráficas de Angola.....	38
Figura 2. 6. Enquadramento regional da bacia de drenagem do rio Catumbela na porção ocidental do substrato cristalino da região de Benguela	39
Figura 2. 7. Carta geológica da Bacia de Benguela em torno das cidades de Benguela e do Lobito	42
Figura 2. 8. Quadro estratigráfico sintético da Bacia de Benguela	43
Figura 2. 9. Mapa pluviométrico de Angola.	46
Figura 2. 10. Mapa da temperatura média anual de Angola.....	47
Figura 2. 11. Mapa hidrográfico de Angola.....	51
Figura 2. 12. Amplitude de maré durante 2008-2009	52

Figura 3. 1. Fluxograma das etapas e metodologias de investigação utilizadas na realização da presente tese.	57
Figura 3. 2. Ilustração parcial do processo de instalação de piezómetros.	59
Figura 3. 3. Ilustração de alguns momentos da execução de furos curtos e para amostragem de sedimentos	60
Figura 3. 4. Ilustração de alguns momentos e procedimentos da realização de ensaios hidráulicos do tipo pumping test.....	61
Figura 3. 5. Vista parcial do equipamento utilizado no processo de análise granulométrica no laboratório da sedimentologia DCT/UC.	64
Figura 3. 6. Exemplo de alguns difratogramas obtidos para a análise da mineralogia.....	64
Figura 3. 7. Vista parcial dos momentos de análise química de água.....	66
Figura 4. 1. Fragmento da Carta Geológica da área do local de estudo	69
Figura 4. 2. Carta Geomorfológica dos arredores do Lobito.....	71
Figura 4. 3. Fragmento da Carta Geológica da área do local de estudo..	73
Figura 4. 4. Esquema geomorfológico do delta do Catumbela.....	74
Figura 4. 5. Imagens aéreas das unidades morfo-sedimentares.....	75
Figura 4. 6. Algumas características das unidades morfo-sedimentares visíveis no terreno.....	76
Figura 4. 7. Mapas históricos selecionados da região do delta da Catumbela.....	78
Figura 4. 8. Localização dos rumos preferenciais do rio Catumbela	81
Figura 4. 9. Estágios evolutivos sucessivos do delta de Catumbela após a elevação do nível do mar do Holocénico.....	83
Figura 4. 10. Mudança na orientação do canal e da latitude da foz do rio Catumbela.....	86

Figura 4. 11.Exemplos das forma de ocupação do solo no DDRC.	90
Figura 4. 12. Fotografia aérea (in Google Earth) expressando o uso, a ocupação do solo e a distribuição espacial dos pontos que serviram de estudo no DDRC...	91
Figura 4. 13. Processos mais comuns de poluição das águas.....	94
Figura 5. 1. Percentagem de sedimentos fluviais (fácies A e B) nos níveis superiores do depósito deltaico, a linha verde, representa o canal do rio Catumbela.....	97
Figura 5. 2. Curvas de distribuição granulométrica características dos sedimentos de canal fluvial ou distributário (fácies A e B).....	99
Figura 5. 3. Composição mineralógica, obtida por DRX, das fácies identificadas. Apresentam-se os valores médios e a gama composicional entre máximos e mínimos.....	100
Figura 5. 4. Percentagem de sedimentos de planície de inundação (fácies C, D, E, F) no depósito deltaico.	102
Figura 5. 5. Curvas de distribuição granulométrica dos sedimentos de planície de inundação (Fácies C, D, E e F).	104
Figura 5. 6. Espessura de sedimentos de praia nos níveis superiores do DDRC.	107
Figura 5. 7. Curvas de distribuição granulométrica características de sedimentos de laguna (fácies G) e praia (fácies H).....	109
Figura 5. 8. Organização espacial das principais unidades estratigráficas baseada nos dados das sondagens mecânicas	110
Figura 5. 9. Altimetria (cm) da superfície de teto do conjunto sedimentar de praia.	110
Figura 5. 10. Perfis N-S mostrando a sucessão sedimentar nos domínios mais superficiais do DDRC	112

Figura 5. 11. Perfis E-W mostrando a sucessão sedimentar nos domínios mais superficiais do DDRC..	113
Figura 5. 12. Hidrodinâmica costeira e o delta do Catumbela..	114
Figura 6. 1. Domínio estudado (DDRC) com localização dos pontos de água seleccionados.....	124
Figura 6. 2. Aspectos da medição de níveis piezométricos utilizando o Geotechnical instruments (2011).	125
Figura 6. 3. Variação hidrostática durante as 5 campanhas piezométricas feitas no DDRC	127
Figura 6. 4. Variação dos níveis piezométricos registados nas 5 campanhas feitas no DDRC.....	127
Figura 6. 5. Variação do nível hidrostático em três pontos no canal do rio Catumbela, num sector aproximado de 9000 metros a partir da foz (campanhas de março 2013 a março 2015).	128
Figura 6. 6. Cartas piezométricas (isopiezas em m) e de fluxo da zona de estudo referentes às medições efetuadas em março 2013 (A) e novembro 2013 (B). ...	129
Figura 6. 7. Cartas piezométricas (isopiezas em m) e de fluxo da zona em estudo de acordo com as medições efetuadas em março de 2014 (A), novembro de 2014 (B) e março de 2015 (C).....	131
Figura 6. 8. Cartas expressando as variações espaciais dos níveis freáticos (em m) entre os meses de: A-março 2013-novembro 2013; B-março 2014-novembro 2014 e C-novembro de 2014-março de 2015.....	134
Figura 6. 9. Localização dos três perfis hidrogeológicos construídos para a área de estudo: S-N interno, S-N externo e W-E.....	147
Figura 6. 10. Perfis hidrogeológicos (S-N-interior, SN externo, e W-E) interpretativos da hidrogeologia do DDRC.	148

Figura 7. 1. Localização dos pontos de medição <i>in situ</i> dos parâmetros físico-químicos.....	155
Figura 7. 2. Momentos de medição <i>in situ</i> dos vários parâmetros físico-químicos utilizando o equipamento multiparamétrico HANNA, modelo HI9828.	156
Figura 7. 3. Equipamento e momentos da análise química dos vários parâmetros utilizando o fotómetro de bancada Multiparâmetros de marca Hanna de modelo HI83200.....	158
Figura 7. 4. Variação espacial de Condutividade Eléctrica (CE - $\mu\text{S}/\text{cm}$) na zona em estudo.....	163
Figura 7. 5. Variação espacial de Potencial Hidrogeniónico na zona em estudo..	169
Figura 7. 6. Variação espacial de Oxigénio Dissolvido (%) na zona em estudo..	172
Figura 7. 7. Variação espacial de Potencial de oxidação-redução (ORP em mg/L) na zona em estudo.....	175
Figura 7. 8. Variação espacial de Alcalinidade TAC (CaCO_3 em mg/L) na zona em estudo.....	177
Figura 7. 9. Variação espacial da concentração de Cálcio (Ca^{2+} , em mg/L).	179
Figura 7. 10. Variação espacial da concentração em Magnésio (Mg^{2+} , em mg/L)..	179
Figura 7. 11. - Variação espacial de Potássio (K em mg/L) na zona em estudo.	182
Figura 7. 12. Variação espacial de Sulfato (SO_4^{2-} em mg/L) na zona em estudo..	185
Figura 7. 13. Variação espacial de Nitrato (A -março de 2014 B- Novembro de 2014 C -março de 2015) e Nitrito (D -março de 2014 E- Novembro de 2014 F - março de 2015).	188

Figura 7. 16. Variação espacial de Amónia (NH ₃ em mg/L) na zona em estudo. Medições efetuadas em (A) novembro de 2013, (B) março de 2014, (C) novembro de 2014 e (D) março de 2015.....	189
Figura 7. 17. Variação espacial de Fósforo (PO ₄ ³⁻ em mg/L) na zona em estudo. Medições realizadas em (A) março de 2014, (B) novembro de 2014 e (C) março de 2015.	191
Figura 7. 18. Variação espacial de Manganês (Mn em mg/L) na zona em estudo. Medições efetuadas em (A) novembro de 2013, (B) março de 2014, (C) novembro de 2014 e (D) março de 2015.....	193
Figura 7. 19. Gráficos das relações inter-paramétricas da água do aquífero freático da zona estudada (DDRC) referentes à campanha de Novembro 2013: A – CE-Alcalinidade; B- CE-Ca; C- CE-Mg; D – pH-Alcalinidade.	198

INDICE DE TABELAS

Tabela 4. 1. Atividades e factores potencialmente contaminantes da água subterrânea na área em estudo	94
Tabela 5. 1. Valores estatísticos da fácies sedimentares da área estudada (dados originais no anexo 1).....	98
Tabela 6. 1. Características hidrogeológicas das formações semelhantes às do Depósito Deltaico do Rio Catumbela.....	120
Tabela 6. 2. Caracterização geral dos piezómetros e furos executados no DDRC.	122
Tabela 6. 3. Características gerais de pontos superficiais (poços, valas e rio) seleccionados para o estudo no DDRC.	123
Tabela 6. 4. Resultados (em m) das medições dos níveis freáticos (NF) registados durante as campanhas de campo no DDRC	126
Tabela 6. 5. Interpretação das cartas de fluxo (em m) das campanhas de março 2013 e novembro 2013.....	129
Tabela 6. 6. Interpretação das cartas de fluxo da campanha de março e novembro 2014 e março de 2015.....	132

Tabela 6. 7. Interpretação das variações espaciais dos níveis freáticos expressos nas cartas da Figura 6.8.....	135
Tabela 6. 8. Valores da Condutividade hidráulica (K) estimados para as diversas Formações do DDRC.....	137
Tabela 6. 9. Caraterização geral do domínio hidrogeológico de Planície de inundação (Pi).....	139
Tabela 6. 10. Caraterização geral do domínio hidrogeológico do Canal fluvial/distributário (Cfd).....	140
Tabela 6. 11. Caraterização geral do domínio hidrogeológico do Mangal-laguna costeira (Mlc).....	141
Tabela 6. 12. Caraterização geral do domínio hidrogeológico da Praia (P´).	142
Tabela 6. 13. Características morfológicas do sistema aquífero do DDRC.....	151
Tabela 6. 14. Cálculo de Rr e Rp do sistema aquífero do DDRC. Erro! Marcador não definido.	
Tabela 6. 15. Valores da reserva permanente e da reserva reguladora estimados para o sistema aquífero do DDRC.	152
Tabela 7. 1. Parâmetros físico-químicos analisados in situ nas águas subterrâneas e superficiais recolhidas no DDCR.	156
Tabela 7. 2. Parâmetros químicos analisados nas águas subterrâneas e superficiais recolhidas no DDCR.....	158
Tabela 7. 3. Valores estatísticos dos parâmetros físico-químicos da água dos pontos selecionados na área de estudo (DDRC). Campanhas de março de 2013 a março de 2015.	159
Tabela 7. 4. Parâmetros químicos da água dos pontos selecionados na área de estudo (DDRC). Campanhas de 2013 a 2015.....	160

Tabela 7. 5. Tratamento estatístico dos resultados da temperatura (⁰ c) (em furos, poços e linhas de água), obtidos nas campanhas de março de 2013 a março de 2015 (dados originais no anexo 4)	165
Tabela 7. 6. Tratamento estatístico dos resultados do pH (em furos, poço e linhas de água), obtidos nas campanhas de março de 2013 a março de 2015 (dados originais no anexo 4).	167
Tabela 7. 7. Tratamento estatístico dos resultados de oxigénio dissolvido (%) (em furos, poço e linhas de água), obtidos nas campanhas de março de 2013 a março de 2015 (dados originais no anexo 4).	170
Tabela 7. 8. Tratamento estatístico dos resultados do Potencial de oxidação-redução (ORP) (m/v) da água (em furos, poço e linhas de água) obtidos nas campanhas de março de 2013 a março de 2015 (dados originais no anexo 4). .	173
Tabela 7. 9. Tratamento estatístico dos resultados da Alcalinidade TAC obtidos em amostras da água de furos, poços e linhas de água, obtidos nas campanhas de novembro de 2013 a março de 2015 (dados originais no Anexo 4).	176
Tabela 7. 10. Tratamento estatístico dos resultados da concentração (mg/L) em Cálcio e em Magnésio da água (em furos, poços e linhas de água) obtidos nas campanhas de março de 2014 a março de 2015 (dados originais no anexo 4). .	178
Tabela 7. 11. Tratamento estatístico dos resultados de potássio (mg/L) da água (em furos, poços e linhas de água) obtidos nas campanhas de novembro de 2013 a março de 2015 (dados originais no anexo 4).	181
Tabela 7. 12. Tratamento estatístico dos resultados de Sulfato (mg/L) da água (em furos, poços e linhas de água) obtidos nas campanhas de novembro de 2013 a março de 2015 (dados originais no anexo 4).	184
Tabela 7. 13. Tratamento estatístico dos resultados de Nitrato (mg/L), Nitrito (mg/L), e Amónia (mg/L) da água (em furos, poços e linhas de água) obtidos nas campanhas de março de 2014 a março de 2015 (dados originais no anexo 4). .	187

Tabela 7. 14. Valores estatísticos da variação de Fosfato (mg/L) da água dos furos, poços e linhas de água, referentes as campanhas de novembro de 2013 a março de 2015 (dados originais no anexo 4).	190
Tabela 7. 15. Tratamento estatístico dos resultados de Manganés (mg/L) da água (em furos, poços e linhas de água) obtidos nas campanhas de novembro de 2013 a março de 2015 (dados originais no anexo 4).	192
Tabela 7. 16. Tratamento estatístico dos resultados de Crómio ($\mu\text{g/L}$) da água (em furos, poços e linhas de água) obtidos nas campanhas de março de 2014 a março de 2015 (dados originais no anexo 4).	195
Tabela 7. 17. Tratamento estatístico dos resultados de molibdénio (mg/L) da água (em furos, poços e linhas de água) obtidos nas campanhas de março de 2014 a março de 2015 (dados originais no anexo 4).	195
Tabela 7. 18. Índices hidrogeoquímicos (concentrações em meq/L) mais utilizados na caracterização de águas subterrâneas (Custodio e Llamas 1983).....	199
Tabela 7. 19. Resultados dos índices hidrogeoquímicos das águas superficiais (rio e vala) e do aquífero freático (poços, furos e piezómetros) do DDRC referentes à campanha de novembro-2013.....	199

RESUMO

O Depósito Deltaico do Rio Catumbela (DDRC), localizado no litoral SW de Angola, constitui um importante reservatório natural de água subterrânea na região litoral de Benguela, servindo como uma fonte de água fundamental para irrigação, abastecimento industrial e abastecimento doméstico a nível local e regional.

Neste trabalho estudamos a estratigrafia e a hidrogeologia do DDRC, pretendendo-se contribuir para uma melhor gestão das águas subterrâneas regionais e para a definição de formas de ocupação e aproveitamento sustentável do corpo sedimentar.

A investigação envolveu análise de imagens aéreas e de documentação histórica, a realização de campanhas de amostragem das unidades sedimentares com posterior caracterização composicional (sobretudo granulometria e mineralogia) e a definição de fácies sedimentares; para o estudo hidrogeológico procedeu-se à implantação de piezómetros, medições *in situ* dos níveis piezométricos e de parâmetros físico-químicos de água, a realização de ensaios hidráulicos do tipo *slug tests* e *pumping tests*, e a amostragem e análises químicas das águas, subterrâneas e superficiais.

Foi possível obter informações sobre a estratigrafia da acumulação sub-aérea deltaica, os processos responsáveis pela sua evolução morfo-sedimentar, os

diversos domínios sedimentares e hidrogeológicos, as condições de armazenamento e circulação hídricas do aquífero superior (ou freático), os processos de recarga e descarga naquele aquífero e as contaminações potenciais das massas de água locais. A distribuição e a arquitetura das principais unidades estratigráficas, os mapas piezométricos e os mapas de parâmetros físico-químicos e químicos determinados suportam uma proposta de modelo hidrogeológico conceptual para o DDRC.

O delta comporta sedimentos de praia, ocasionalmente intercalados com níveis lagunares, particularmente comuns próximo do Mangal do Lobito, que são cobertos por sedimentos de canal fluvial ou distributário e de planície de inundação. Com a exceção da faixa mais litoral, na generalidade da superfície do DDRC encontram-se sedimentos de grão fino. Os domínios aquíferos do DDRC estão associados às unidades areno-cascalhentas de canal fluvial e de praia sub-superficiais. Genericamente o escoamento subterrâneo evolui para N e NW. Nos meses mais secos há uma contribuição das unidades aquíferas diretamente para o rio Catumbela. Nos meses de maior precipitação atmosférica ocorre alguma infiltração; contudo, a maior e mais regular recarga aquífera efetua-se a partir das linhas de água perenes (rio) e das valas de drenagem urbana.

Mostra-se como as intervenções humanas, associadas a fatores naturais como a proximidade ao mar, as condições climáticas e a natureza das unidades rochosas da Bacia de Benguela (onde se localiza a generalidade da bacia de drenagem e ocorre a larga maioria da precipitação) e do soco (em que assenta o delta) condicionam a distribuição das unidades sedimentares, os domínios hidrogeológicos, assim como as características físico-químicas das massas de água do DDRC.

Palavras-chave: Rio Catumbela, Delta, Estratigrafia, Hidrogeologia

ABSTRACT

The Catumbela River Delta Deposit (CRDD), located on the SW coast of Angola, is an important natural groundwater reservoir in the coastal region of Benguela, serving as a fundamental water source for irrigation, industrial supply and domestic supply at the local level. In this work we study the stratigraphy and hydrogeology of the CRDD, contributing to a better management of the regional groundwater and the definition of forms of occupation and sustainable use of this sedimentary body. The research involved the analysis of aerial images and historical documentation, sampling campaigns of the sedimentary units for compositional characterization (mainly grain-size distributions and mineralogy) and definition of sedimentary facies, the implantation of piezometers and *in situ* measurements of the piezometric levels and water physico-chemical parameters, the performance of slug and pumping hydraulic test and water chemical analysis. It was possible to obtain information about the stratigraphy of the sub-aerial accumulation, the processes responsible for its morpho-sedimentary evolution, the hydrogeological domains and aquifer units, processes of aquifer recharge and discharge, conditions of water storage and circulation conditions, and potential contamination. The distribution of the main stratigraphic units, the piezometric maps, and the maps of physical-chemical parameters support a proposal of a conceptual

hydrogeological model for the CRDD. The delta contains beach sediments, occasionally with lagoon levels that are particularly common near the Lobito region, in association with the Lobito Mangrove, which are covered by fluvial or distributary channel and flood plain sedimentary units. With the exception of the most coastal strip, fine-grained sediments are generally found on the surface of the CRDD. The aquifer is associated with the sub-surface beach and river channel sand-gravel deposits (semi-confined aquifer). The runoff flows to E and W. In the drier months there is a contribution of the aquifer units directly to the Catumbela River, and in the months of greater precipitation, aquifer recharge takes place from the water lines and urban drainage channels.

It is shown how human interventions and natural factors, such as the proximity to the sea, climatic conditions and the lithology of the Benguela Basin (on which the delta stands) and of the crystalline basement (where the majority of the drainage basin is located and most rainfall occurs) condition the distribution of the sedimentary units and the physico-chemical characteristics of the groundwater of the CRDD.

Key words: Catumbela River, Delta, Stratigraphy, Hydrogeology

AGRADECIMENTOS

Esta obra foi possível graças a colaboração direta e/ou indirecta de pessoas amáveis e experientes que contribuíram para a obtenção de conhecimentos múltiplos. Também estamos gratos pela colaboração de diversas instituições.

Ao Professor Doutor Pedro Alexandre Dinis, orientador científico deste trabalho, estou grato pelos ensinamentos transmitidos desde há quase uma década, o acompanhamento e a disponibilidade permanentes no esclarecimento de dúvidas, os conselhos e as sugestões dadas desde a planificação até à revisão do texto. Igualmente, ao Professor Doutor José Manuel Azevedo, co-orientador, pelo acompanhamento, o esclarecimento de dúvidas, os conselhos e as sugestões dadas desde a planificação até à revisão do texto. Sublinho o vosso empenho e coragem de se terem deslocado à área de estudo (Benguela-Angola), facto que me revelou a ímpar confiança que sempre me souberam transmitir.

À Professora Doutora Manuela da Vinha Silva, professora de disciplinas da área da Geoquímica, devo agradecer todo o apoio prestado. Desde logo, na definição de equipamento necessário ao tratamento laboratorial e *in situ* das amostras de água. Depois, na ajuda na manutenção dos respetivos equipamentos, esclarecimentos no tratamento estatístico de dados. A sua ajuda foi fundamental para ultrapassar muitos obstáculos nesta área específica.

À Professora Doutora Ana Castilho, o meu muito obrigado pela ajuda prestada na reformulação final da tese.

A todos os docentes do 3º ciclo de doutoramento edição 2011, manifesto os meus agradecimentos pela pertinente transmissão de conhecimentos que se transformaram numa prática cujos resultados apresentam-se nesta obra. Uma palavra ao Professor Doutor Jorge Dinis, pela experiência que nos passou durante os 15 dias de prática de campo realizado no território português, marcado por uma convivência não somente académica mas também de “irmão” no conceito africano.

Ao Departamento de Ciências da Terra da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, nas pessoas dos presidentes da Comissão Científica e diretores do Departamento de Ciências da Terra (cargos assumidos sucessivamente, pelos Professores Alcides Pereira e Alexandre Tavares) e dos responsáveis do projecto de doutoramento (cargos assumidos sucessivamente pelos Professores Manuela da Vinha Silva e Pedro Proença e Cunha), agradeço pela oportunidade de desenvolver este trabalho, pelas condições que foram proporcionadas assim como por todas as oportunidades concedidas e no acompanhamento de todo processo até que esta tese tornou-se um facto.

Ao laboratório de Sedimentologia no DCT, nas pessoas do seu director Professor Doutor Pedro Proença e Cunha, bem como à Sr^a Manuela Blanco, pela hospitalidade que mereci neste espaço como local de trabalho durante as minhas estadias, assim como a consideração particular que mereceram as análises de amostras dos sedimentos deste projeto.

Ao laboratório de Difração de Raios X, na pessoa do Sr. Carlos Maia, pelas condições para a realização das análises mineralógicas.

À equipa da Biblioteca do Departamento de Ciência da Terra - FCTUC, pela ajuda na pesquisa e localização bibliográfica.

De modo geral, agradeço ao corpo directivo do Instituto Superior de Ciências da Educação de Benguela – UKB, pela dispensa por várias vezes e longos períodos para a realização de tarefas científicas vinculadas a este projeto. Em particular ao

Professor Doutor Manuel Francisco Bandeira, na qualidade de decano na fase inicial desta investigação, pela carta de recomendação ao ingresso doutoral no DCT/FCCTUC.

Agradeço a todos os professores e colegas do Departamento de Ciências da Natureza, no Instituto Superior de Ciências de Educação - Benguela, em particular ao Mestre Ramiro Alberto Sapeio, pelo apoio bibliográfico e nos trabalhos de campo.

Às administrações municipais de Benguela, Lobito e Catumbela, nas pessoas dos seus representantes das direcções de Energia e Águas, Agricultura, Desenvolvimento Rural e representantes das Autoridades Tradicionais, pela recepção e dedicação dada ao projecto, facto demonstrado pelo incentivo de coragem, disponibilidade de meios humanos e sensibilização dos agricultores na protecção e preservação dos piezómetros instalados nos seus campos de cultivo.

Agradecimento e apreço especial à vasta magna equipa liderada por Mestre Delfino Tchicanha, na companhia de José Hamuyela, João Gonçalves, Luísa Hatonda, Martinho Kalembela, Ernesto Calima, e outros, por se terem disponibilizado a me acompanhar em trabalhos de campo.

Bem hajam os colegas deste doutoramento, em particular o Mestre Efraim Soma pelos gestos que pareciam simples, mas que deram um grande contributo moral na concretização deste trabalho científico.

Especial agradecimento à Generosa Letânea Katunda por tudo o que uma esposa pode ser e fazer para pôr avante todos os propósitos de seu companheiro, facto demonstrado pela obediência à crise financeira da casa motivada pela cobertura de despesas de todo o curso de doutoramento, ajuda na gestão, palavras de alento, entre outras atitudes que são exclusivas de uma esposa cheia de amor.

O Meu muito obrigado a todos os amigos, companheiros de tantos fóruns, e a outros que não se enquadram nestas citações, que direta ou indirectamente contribuíram para a concretização desta monografia.

ABREVIATURAS E SIMBOLOGIA

A	Área
a´	Areia de praias e dunas
a´´	Aluviões modernos
Alb1lg	Albiano inferior
Alb2	Albiano médio
Alb3	Albiano superior
Apc1	Aptiano médio inferior
Apc2	Aptiano Superior
b	Espessura média saturada do aquífero
Bsh	Clima das estepes quentes de baixa latitude e altitude
Bwh	Climas desérticos quentes de baixa latitude e altitude
CCSE	Contra Corrente Sul Equatorial
CE	Condutividade Eléctrica
CFB	Caminho de Ferro de Benguela
Cfd	Canal fluvial/distributário
Ci	Pré-Apciano
Cm	Cenomaniano Albiano Superior
CSE	Corrente Sul Equatorial
D.P	Desvio Padrão
DCT/UC	Departamento de Ciências da Terra/Universidade de Coimbra
DDRC	Depósito Deltaico do Rio Catumbela
DRX	Difração Raio X
ETAR	Estação de Tratamento de águas residuais
E	Clima árido
ORP	Potencial de oxidação-redução
$\alpha\beta+\alpha$	Gabro, diorito e quartzitos
F	Furos
Fig.	Figura
Figs.	Figuras
GCEMB	Grande Corrente do Ecosistema Marinho de Benguela
GURN	Governo de Reconciliação Nacional
GPS	Global Positioning System
K	Condutividade Hidráulica
MEDA	Ministério da Educação de Angola
Mlc	Mangal-laguna costeira
n	Porosidade
n_e	Porosidade efectiva
NO_3^-	Nitrato
PO_4^{3-}	Fosfato
NF	Nível Freático
NH_3	Amoníaco
NO_2^-	Nitrito
SO_4	Sulfato
Nov.	Novembro
OD	Oxigénio Dissolvido
P	Poço

Estratigrafia e Hidrogeologia do Depósito Deltaico do Rio Catumbela (Angola)

P'	Praia
p. ex	Por exemplo
PDIC	Polo de Desenvolvimento Industrial da Catumbela
pH	Potencial hidrogeniónico
Pi	Planície de inundação
PVC	Policloreto de vinil
Pz	Piezómetro
Q	Caudal de descarga
Q1	Substrato miocénico
R	Rio
Rp	Reserva permanente
Rr	Reserva reguladora
RX	Raio X
S	Coefficiente de armazenamento
SDT	Sólidos Totais Dissolvidos
T	Transmissividade
Temp.	Temperatura
V	Vala
VT	Volume total
V _v	Volume de espaços vazios
ZCIT	Zona Centro Intertropical
ZEE	Zonas Económicas Exclusivas
$\varphi = -\log_2(d)$	Fi igual a menos logaritmo na base 2 do diâmetro em mm
#N/D	Não determinável
2 ^a	Segunda
v	Doleritos

UNIDADES E GRANDEZAS

%	Porcento
km	Quilómetro
L ² /T	Área por tempo
m ² /d	Metro quadrado por dia
m ² /sem	Metro quadrado por semana
mbar	milibar
mg/	Miligrama por volume
mg/L	Miligrama por litro
mm	Milímetro
°C	Graus Celcius
ppm	Partes por milhão
φ	Fi
°	Graus
Δh	Varição do nível piezométrico
$\mu\text{S/cm}$	microSiemens por centímetro
<	Menor que
>	Maior que

CAPITULO 1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

A procura de água tem aumentado a nível mundial, motivada pelo desenvolvimento económico e crescimento demográfico. De forma a garantir um equilíbrio nesta demanda, há necessidade de se proceder a estudos hidrogeológicos para melhorar o conhecimento dos recursos hídricos subterrâneos, permitindo assim a elaboração de planos de gestão das massas de águas naturais que possam garantir o fornecimento de água em quantidade e com a qualidade desejável. Nos últimos anos, em quase todo mundo, têm-se verificado surpresas nos ciclos de precipitações atmosféricas, facto que tem causado distorções nas previsões de desenvolvimento dos projectos de muitos Governos.

A utilização da água subterrânea, sobretudo para o abastecimento das comunidades humanas, em muitos casos, apresenta algumas vantagens em relação à água superficial, tendo em conta que: (i) as suas reservas são cerca de trezentas vezes maiores que as de água superficial; (ii) a sua disponibilidade geralmente mostra menor variabilidade temporal que a da água superficial, devido à baixa a muito baixa

circulação subterrânea e a uma menor exposição às perdas por evaporação comparativamente à evaporação nas albufeiras; (iii) as águas subterrâneas têm usualmente melhor qualidade biológica e menor quantidade de sedimentos do que a água superficial, por se beneficiar de um sistema natural de filtração e de um longo tempo de residência (Hipólito e Vaz, 2011).

As zonas costeiras, do ponto de vista hidrogeológico, apresentam algumas peculiaridades, por constituírem áreas predominantemente de descarga aquífera e por se situarem próximas do oceano, onde o equilíbrio da interface água doce/água salgada pode facilmente ser alterado (Fonseca & Lima, 2011).

Em Angola, um país em crescimento, espera-se um significativo incremento das necessidades de água. Nos últimos anos, têm-se registado baixas quedas pluviométricas na região de Benguela que afectaram negativamente a alimentação das linhas de água regionais e, conseqüentemente, um desequilíbrio no desenvolvimento das actividades agrícolas e industriais e de abastecimento público de água.

O depósito deltaico do rio Catumbela (DDRC), devido às suas características litológicas, constitui um importante reservatório natural – aquífero - e serve como uma fonte de água fundamental para irrigação agrícola e para abastecimento industrial. Durante muitos anos, os rios Cavaco e Catumbela serviram como fonte de captação de água para o abastecimento de consumo público das cidades do Lobito, Catumbela, Benguela, e Baia Farta. Devido à seca, a partir do ano 2005, o rio Catumbela (junto o depósito deltaico) tem vindo a servir como fonte exclusiva para o respetivo abastecimento. Essa condição pode estar afetada (i) pela escassez de chuvas a nível regional e conseqüente diminuição dos caudais hídricos; (II) pelo facto da captação de água para abastecimento público das cidades costeira de Benguela ser superficial, acarretando riscos ambientais através da possível contaminação humana.

Em face desta realidade, entendemos que é do maior interesse para todos os intervenientes a adoção de medidas estratégicas que promovam a sustentabilidade dos recursos hídricos regionais, nomeadamente os subterrâneos. Estas medidas carecem de um bom conhecimento sedimentológico e hidrogeológico do DDRC. Em primeiro lugar porque a acumulação sedimentar, localizada numa área de clima árido, armazena

importantes recursos hídricos e proporciona o desenvolvimento de domínios agricultáveis. Por outro lado, a natureza e organização espacial dos sedimentos transmitem informações importantes sobre a evolução histórica da área de influência do delta do Catumbela e do estado ambiental nas áreas de alimentação detrítica. Esta região litoral foi o local escolhido para os primeiros assentamentos coloniais da província de Benguela, datados do primeiro quartel do século XVII, tendo sofrido grande pressão urbanística durante as últimas décadas.

Nesse sentido, consideramos que a caracterização sedimentológica e hidrogeológica do DDRC contribuirá para a obtenção de informações relevantes sobre: (1) a evolução histórica da região, (2) a arquitetura deposicional do delta e consequentes domínios aquíferos, (3) a evolução anual e plurianual das massas de água subterrâneas ali armazenadas e (4) a avaliação das reservas de água permanentes, reguladoras e exploráveis e (5) o estado ambiental do delta.

1.2. Objectivos e tarefas

Com este trabalho pretende-se conhecer a estratigrafia e hidrogeologia do DDRC, contribuindo para a melhor gestão das águas subterrâneas locais e regionais, assim como para a definição de melhores formas de ocupação e aproveitamento sustentável do corpo sedimentar.

Foram definidos os seguintes objectivos específicos:

- Caracterizar a estratigrafia da acumulação deltaica, envolvendo uma definição de unidades sedimentares e uma análise da sua distribuição lateral e vertical
- Estabelecer a variabilidade composicional (sobretudo granulometria e mineralogia) das unidades sedimentares.
- Reconstruir a evolução recente do delta do Catumbela para escalas temporais reduzidas, tendo em conta a sua contextualização no seio da respectiva bacia de drenagem e região costeira.

- Estudar a hidrogeologia do DDRC visando uma definição de domínios hidrogeológicos e unidades aquíferas, assim como a interpretação da sua distribuição espacial e hidrodinâmica.
- Elaborar um modelo hidrogeológico conceptual com vista à definição de processos de recarga e descarga aquíferas e das condições de armazenamento e circulação hídricas nos sistemas aquíferos.
- Avaliar volumes hídricos armazenados e exploráveis anualmente.
- Efectuar uma caracterização físico-química preliminar da água subterrânea do DDRC e identificar contaminações potenciais.
- Apresentar medidas e procedimentos que auxiliem na gestão e protecção dos recursos hídricos subterrâneos e no ordenamento do território.

Cumpridos os objectivos definidos nesta investigação, espera-se contribuir com o conhecimento da estratigrafia e hidrogeologia do DDRC para a sensibilização, promoção e preservação dos valores naturais por parte da sociedade civil. Pretende-se também que este trabalho sirva de referência na tomada de decisões sobre a gestão sustentável do território e dos recursos hídricos locais disponíveis por decisores políticos.

A descrição das tarefas e das metodologias utilizadas é apresentada com maior detalhe no Capítulo 3.

1.3. Estrutura da Tese

A tese está organizada em oito capítulos resumidos abaixo.

O capítulo 1 serve para apresentar aspetos gerais introdutórios, realçando a importância do estudo, o problema de investigação e a definição de objetivos e tarefas de investigação.

No capítulo 2 apresenta-se um enquadramento regional da área de estudo, designadamente no que respeita à localização geográfico-administrativa, à

geomorfologia e geologia, à hidrologia e hidrografia, à climatologia e às questões relacionadas com a dinâmica costeira.

No capítulo 3 faz-se o esclarecimento das metodologias usadas na investigação. O capítulo dá destaque às fases de investigação e às metodologias utilizadas.

O capítulo 4 trata da caracterização local da geomorfologia. É o primeiro capítulo dedicado à apresentação de dados originais obtidos no presente trabalho, em particular no que respeita à caracterização e distribuição das unidades morfo-sedimentares principais. Este capítulo também debruça sobre a evolução holocénica do DDRC e os fatores responsáveis pela sua evolução. Apresenta-se no final uma análise da ocupação humana.

O capítulo 5, dedica-se a uma caracterização sedimentológica dos depósitos do delta. Complementa a informação apresentada no capítulo 4, sobre as unidades morfo-sedimentares, estando direcionado para uma análise detalhada dos sedimentos que culmina na definição de fácies sedimentares e interpretação dos processos genéticos a que cada fácies está associada. Dá-se especial atenção à granulometria, mineralogia e geometria das unidades sedimentares.

No capítulo 6 apresentam-se os primeiros resultados obtidos na componente de hidrogeologia. Dá-se especial destaque à definição do modelo hidrogeológico conceptual e à avaliação de reservas hídricas do DDRC.

O capítulo 7 está dedicado à caracterização físico-química das águas armazenadas no DDRC. Faz-se uma análise, tratamento e interpretação de propriedades físico-químicas determinadas nas águas subterrâneas e superficiais na sequência de diferentes campanhas de amostragem.

O capítulo 8 encerra a abordagem feita neste trabalho. Apresenta as principais conclusões da investigação e algumas considerações finais com recomendações para uma gestão sustentável do DDRC.

CAPITULO 2. ENQUADRAMENTO REGIONAL

Neste capítulo abordam-se aspetos físico-geográficos do depósito deltaico do rio Catumbela (DDRC). Daremos destaque ao seu enquadramento geográfico e administrativo, à geomorfologia, à geologia, à climatologia, à hidrologia, à hidrografia e aos agentes costeiros.

2.1. Geográfico e Administrativo

O DDRC estende-se pelos municípios do Lobito e Catumbela da província de Benguela na República de Angola. Angola está situada na costa ocidental do Continente Africano, entre o Equador e o Trópico de Capricórnio (Fig. 2.1). Angola, com uma área de cerca de 1.246.700 km² e uma linha marítima atlântica de cerca de 1650 km, é limitada a norte pela República do Congo Brazaville e a República Democrática do Congo, a este pela República Democrática do Congo e pela Zâmbia, a sul pela Namíbia e a oeste pelo Oceano Atlântico.

A província de Benguela localiza-se na zona central-ocidental da República de Angola e abrange uma área de 39.826,83 km² (3,19 % do território nacional). Confina a norte com a província do Kwanza-Sul, a sul com a província do Namibe, a este com a província do Huambo, a sudeste com a província da Huila e a oeste com o Oceano Atlântico.

Nos últimos 10 anos, com o desenvolvimento da atividade agrícola, o DDRRC tem sido invadido por instalações industriais assim como algumas infraestruturas de finalidades diversas, que agora competem com a já tradicional ocupação agrícola. No âmbito das infraestruturas que influenciam diretamente os dois municípios vizinhos destacam-se o Porto do Lobito, o Caminho de Ferro de Benguela (CFB), o Polo de Desenvolvimento Industrial da Catumbela (PDIC), o Aeroporto Internacional de Catumbela, as duas fábricas cimenteiras (SECIL e YETU), e as captações de água para abastecimento público das cidades do Lobito, Catumbela, Benguela e Baia Farta.

A bacia hidrográfica do rio Catumbela é limitada pelas bacias dos rios Balombo a norte, Cavaco a sul, ambos com drenagem para oeste, e pela superfície planáltica da Huila a este, onde se inicia o rio Cunene, que inicialmente drena para sul. A área da bacia hidrográfica do rio Catumbela é de cerca de 16.532,6 km², estendendo-se do planalto central até à costa angolana numa extensão territorial angolana que abrange três circunscrições provinciais administrativas. A parte SE da bacia, a mais pequena, situa-se no território da província da Huila, a parte NE, mais extensa que a anterior, enquadra-se no território da Província do Huambo, ficando o restante na província de Benguela.

O rio Catumbela tem um percurso de quase 250 km e nasce na serra de Cassoco, situada na província da Huila e desagua no Oceano Atlântico, no município da Catumbela. Durante o seu percurso tem como principais afluentes o rio Cuíva, na margem direita, e o rio Cubal, na margem esquerda.

2.2. Geomorfológico

Angola caracteriza-se pela presença de extensos planaltos. O ponto mais elevado do território é o Monte Moco, com 2.620 m. Os autores classificam o território angolano como um mosaico de várias unidades geomorfológicas. Ainda que os limites nem sempre coincidam, no essencial, as propostas têm em comum a individualização de uma faixa litoral, uma zona de transição a este da primeira e um conjunto montanhoso marginal, todas elas a ocidente de uma zona

planáltica; para oriente é comum considerar a zona baixa do Cassanje, no norte do território, e uma área ligada ao Zambeze no extremo oriental (Fig. 2.2).

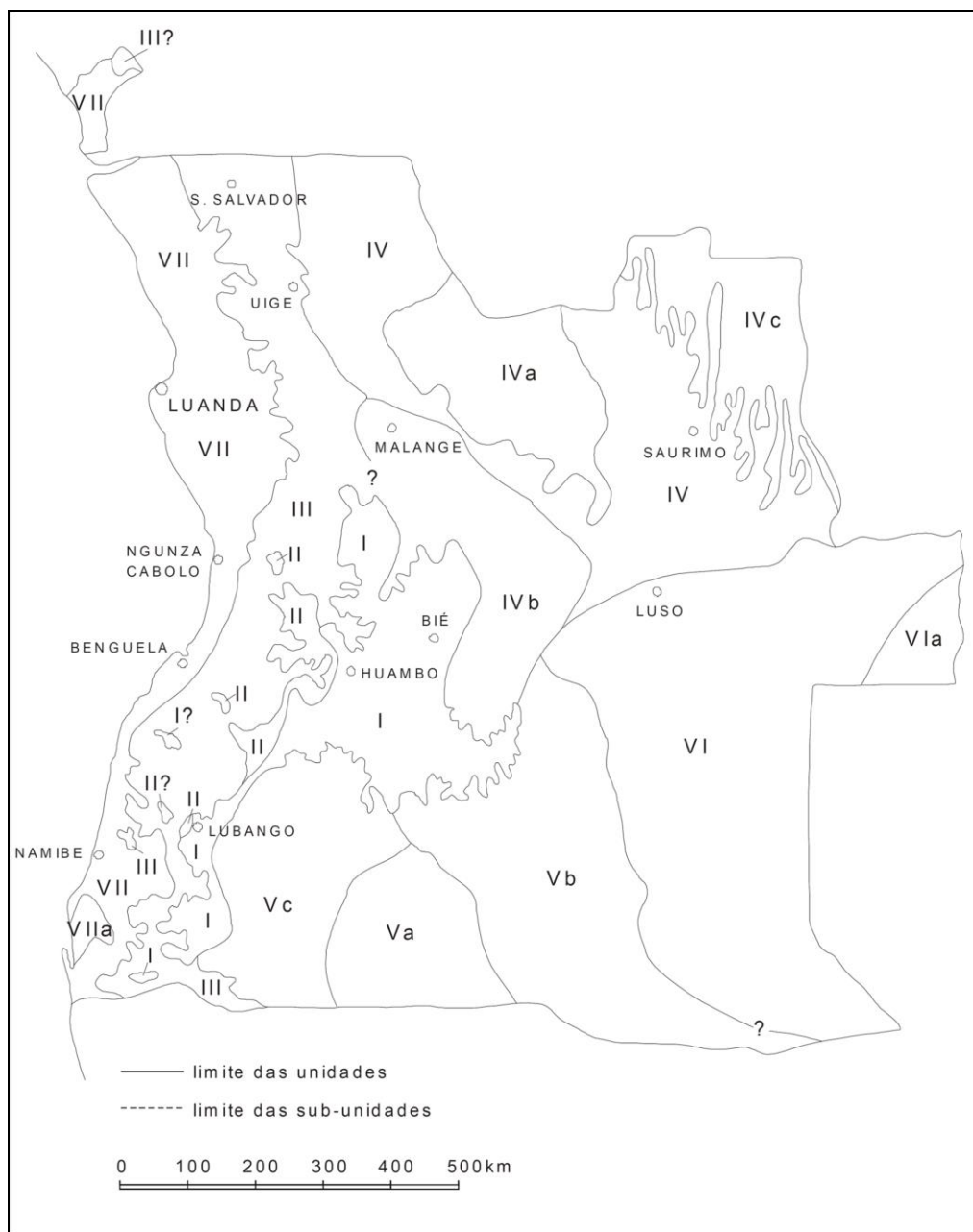


Figura 2. 2. Unidades morfológicas de Angola segundo Marques (1977). I-Planalto Antigo; II-Cadeia Marginal de Montanhas; III-Zona de Transição; IV-Orla Meridional da Bacia do Congo (a. Depressão de Cassinga; b. Depressão do Cuanza-Luanda; c. Depressão do Cassai); V-Orla Setentrional da Bacia do Calahari (a. Depressão endorreica do Cuvelai-Lueque; b. Bacia do Cubango; c. Depressão do Cunene); VI-Bacia do Zambeze (a. Maciço do Alto Zambeze); VII-Orla Litoral (a. Deserto de Moçâmedes). Fonte: Silva, 2005.

Estratigrafia e Hidrogeologia do Depósito Deltaico do Rio Catumbela (Angola)

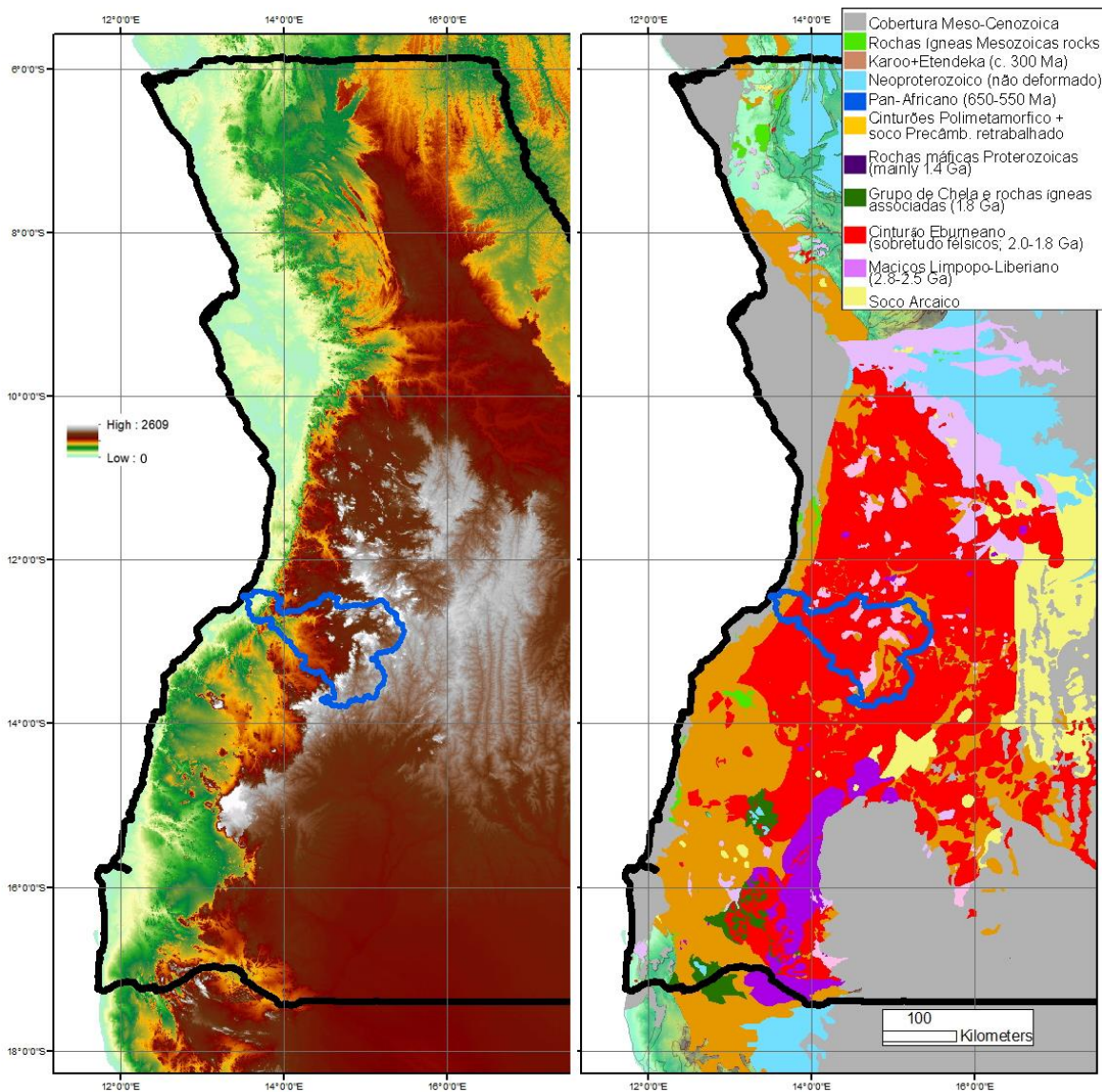


Figura 2. 3. Topografia (baseado em Modelo digital de Terreno da Shuttle Radar Topography Mission-SRTM) e geologia (ver texto) da margem Atlântica de Angola em que se enquadra a bacia hidrográfica do rio Catumbela.

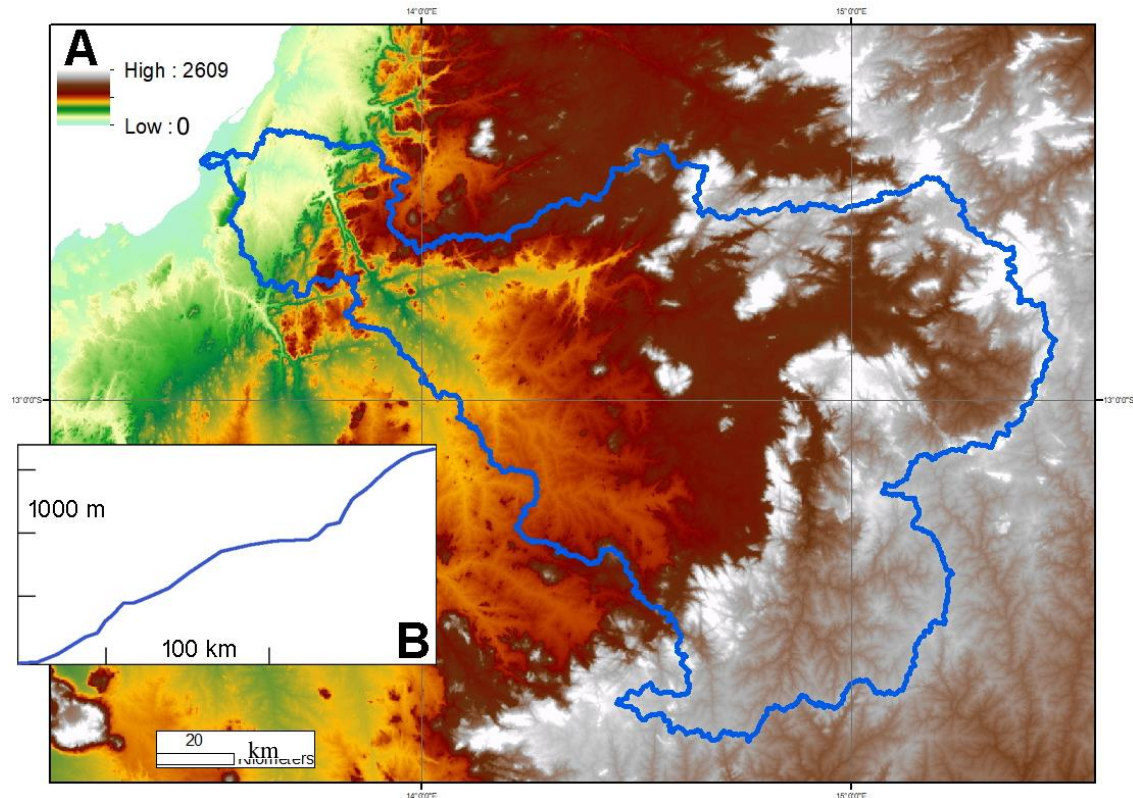


Figura 2. 4. Características topográficas da bacia hidrográfica do rio Catumbela e áreas envolventes (A) Modelo digital de terreno da Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Perfil longitudinal do rio Catumbela.

Na generalidade dos modelos de organização das unidades morfológica de Angola, a bacia de drenagem do Catumbela surge instalada na Cadeia Marginal de Montanhas, Zona de Transição e Orla Litoral. Apresenta-se abaixo uma descrição mais detalhada destas unidades.

1. A faixa litorânea distingue-se pela existência de uma plataforma que se dispõe de forma quase contínua, ao longo da costa e a altitudes médias de 150 m. Nalguns pontos da periferia interior atinge cerca de 300 m ou mais, descaindo suavemente para o litoral onde termina, em grande parte do percurso, numa arriba marinha que marca desníveis da ordem dos 100 m a 150 m. A descontinuidade da plataforma, resulta da ação do curso dos rios que arquitetaram vales largos e profundos onde se desenham extensas planícies fluviais (Araújo & Guimarães, 1992). Na faixa costeira, de Norte a Sul,

individualizam-se as bacias sedimentares associadas à abertura do Atlântico (Congo, Cuanza, Benguela e Namibe).

De uma maneira geral, as formações costeiras terminam a ocidente por uma escarpa abrupta (cerca de 40 m em média), interrompida na confluência com os vales fluviais próximo da desembocadura com o mar. Os processos costeiros são responsáveis pela redistribuição de massas sedimentares. Estas tendem a ser arrastadas para o norte por acção da corrente de deriva litoral, depositando-se frequentemente em pequenas praias no côncavo das baías. Quando o volume de sedimento em trânsito é elevado e há condições morfológicas propícias, como alterações no rumo do litoral, podem desenvolver-se extensas restingas, como a do Lobito.

2. A zona sub-planáltica, com a largura compreendida entre quinze a vinte quilómetros (Galvão & Silva, 1972), corresponde à superfície intermédia e constitui um marco de transição para o interior planáltico que se desenha de norte a sul do território a altitudes médias compreendidas entre os 400 m e os 600 m, da qual se erguem frequentes formas residuais de relevo, cujos cumes chegam a atingir 1000 m de altitude.

3. A zona planáltica estende-se mais para o interior com largura aproximada de dez a quinze quilómetros. Na sua porção ocidental encontram as altitudes mais elevadas da região que, em média, podem ultrapassar os 1500 m e são enquadradas por alguns autores numa unidade montanhosa marginal (Diniz, 1998).

2.3. Geológico

De uma forma simplificada, pode-se considerar para o território angolano 3 unidades geológicas maiores: orla sedimentar litoral (3,3%), que acompanha a costa; formações continentais de cobertura (59%), abrangendo as regiões nordeste, leste e sudeste e parte sul; maciço antigo (38%), que constitui o substrato cristalino em que assentam as outras unidades e aflora na metade

ocidental do país entre os dois grandes conjuntos e em manchas menores mais para o interior do território (Fig. 2.5).

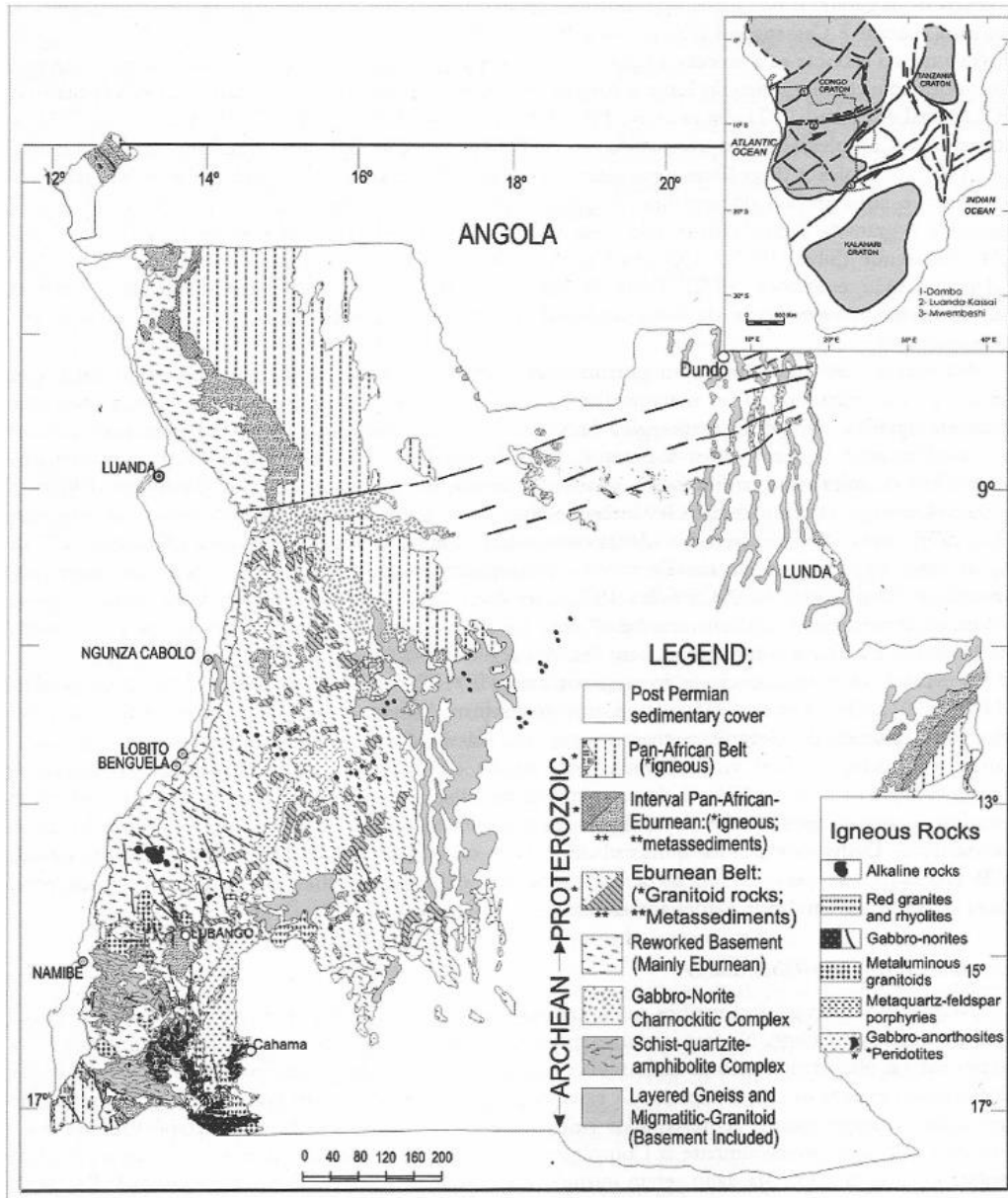


Figura 2. 5. Grandes unidades tectono-estratigráficas de Angola. A figura apresenta também o seu posicionamento no Cratão do Congo e a relação deste com outros cratões da África Austral (Pereira et al., 2010).colocar a legenda em português e km à frente da escala

A bacia hidrográfica está instalada maioritariamente na porção ocidental do substrato cristalino (Fig. 2.6). Aqui é possível individualizar dois sectores. A

porção oriental com rochas ígneas félsicas, associadas a outras unidades metamórficas, pré-câmblicas (89%), que constituem o chamado Bloco de Angola do Cratão do Congo; e a porção ocidental com um cinturão poli-orogénico (11%). Mais a jusante, a Bacia Benguela com unidades meso-cenozóicas relacionadas com a abertura do Oceano Atlântico (1%) (de Waele, Johnson & Pisarevsky, 2008).

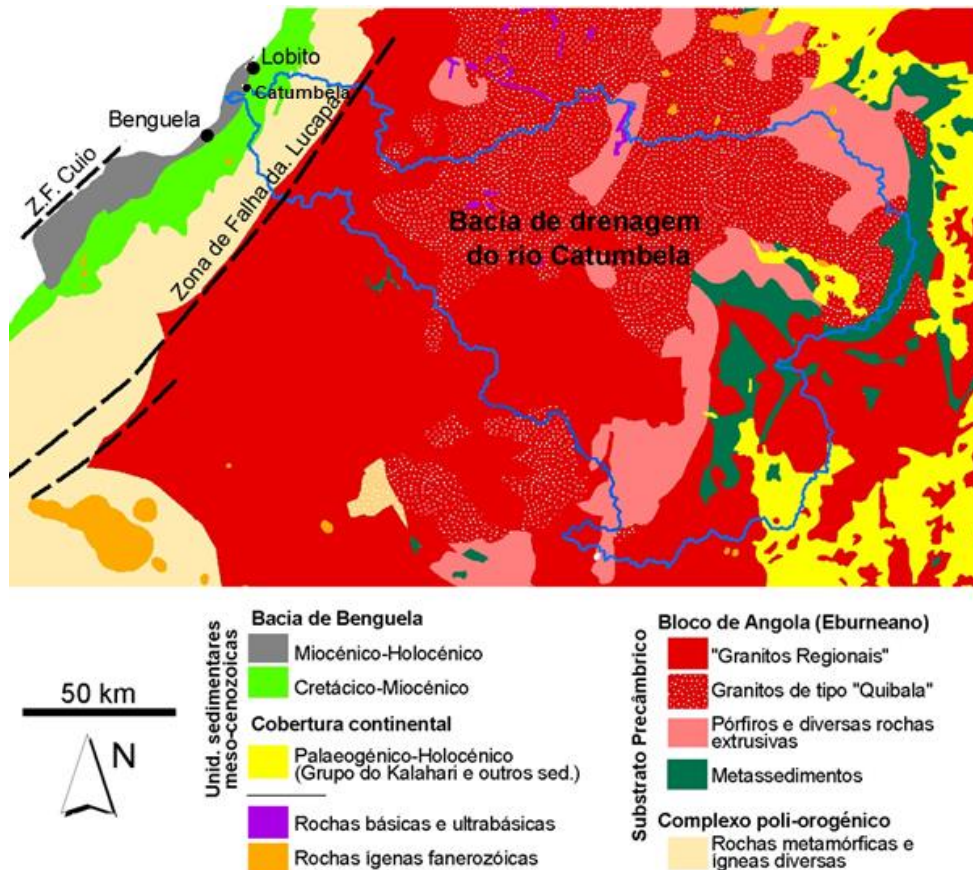


Figura 2. 6. Enquadramento regional da bacia de drenagem do rio Catumbela na porção ocidental do substrato cristalino da região de Benguela (Huvi, Dinis & Azevedo, 2018).

Os autores portugueses que se debruçaram sobre a geologia de Angola atribuíram diferentes designações a estas unidades. Por exemplo, para Diniz (1998), a bacia do rio Catumbela enquadra-se nas formações marinhas da orla sedimentar litoral e nas unidades do Pré-câmbrico compostas sobretudo por granitos, granitos porfiroides, gnaisses e migmatitos; Araújo e Guimarães (1992) separam as formações do Fanerozóico, compostas por rochas sedimentares, do

Proterozóico II, constituídas pelos granitos regionais e granitos tipo Quibala e vista alegre, e as formações do Arcaico. Apresentamos aqui uma descrição das grandes unidades geológicas drenadas pelo rio Catumbela segundo uma ordem de montante para jusante.

Como se disse acima, a maior parte da rede hidrográfica do Catumbela drena essencialmente rochas do soco granítico. Na zona interior da bacia hidrográfica predominam os granitos biotíticos, granodioritos, dioritos e granitos leucocráticos (Galvão & Silva, 1972; Melo et al., 2010). As unidades com maior expressão cartográfica (Fig. 2.6) são:

- Granitos regionais, de idade eburneana (cerca de 2.0-2.2 Ga; Carvalho et. al., 2000). Trata-se geralmente de um granito com composição granítica a quartzodiorítica, calco-alcalina.

Entre o Bloco de Angola e a bacia sedimentar da margem Atlântica encontra-se um complexo poliorogénico com rochas metamórficas e ígneas diversas, em que dominam gnaisses e xistos, integrando também anfibolitos, entre outros litótipos. Em alguns modelos este complexo surge a integrar o chamado Bloco de Kasai (de Waele et al., 2008). Parece estar associado a unidades do Eburneano retrabalhadas durante eventos tectónicos posteriores (Carvalho, 1980; Carvalho et al., 2000; Pereira, Neto & Cruz, 2010).

A margem Atlântica de Angola faz parte do segmento central do Oceano Atlântico Sul. Apresenta uma diminuição abrupta da espessura da crosta abaixo do declive continental e uma espessa acumulação deposicional (> 10 km) sobreposta à crosta continental extremamente fina (Contrucci et al., 2004; Moulin et al., 2005). É considerada uma margem não vulcânica, contrastando com a margem vulcânica da Namíbia, que se posiciona imediatamente a sul (Contrucci et al., 2004; Séranne & Anka, 2005; Moulin et al., 2005; Chaboureau et al., 2013). Aqui encontram-se sucessões sedimentares diversificadas que se repartem pelas bacias de Cabinda, Zaire, Cuanza, Benguela e Namibe (Emery et al., 1975; Diniz, 1998). Ao contrário das três primeiras bacias sedimentares, onde os conjuntos arenosos do Plio-Plistocénico, associados a terraços quaternários e plataformas

mais antigas, dominam largamente, nas bacias de Benguela e Namibe verifica-se que as argilas, calcários, margas, arenitos e conglomerados, do Cretácico inferior até ao Miocénico, estão melhor representadas (Diniz, 1998). A presença de extensos depósitos de sal condicionou a evolução geológica subsequente (Moulin et al., 2005).

Considera-se frequentemente que a chamada Bacia de Benguela estende-se em terra desde os afloramentos do complexo poli-orogénico da região de Lucira até à crista vulcânica submarina do Kwanza (Marzoli et al., 1999). Vários autores, no entanto, com base na natureza do enchimento Meso-Cenozóico e nas relações geométricas com o soco, vêem a sub-bacia de Benguela como sendo o sector mais meridional da bacia do Kwanza, não a individualizando como bacia (por exemplo, Buta-Neto et al., 2006; Quesne et al., 2009; Guiraud, Buta-Neto & Quesne, 2010). Desde a década de 1970, as unidades da Bacia de Benguela foram estudadas por numerosos autores. Merecem destaque os trabalhos de Galvão e Silva (1972), Buta-Neto et al. (2006), Quesne et al. (2009) e Guiraud et al. (2010). Apresenta-se uma curta síntese do enchimento geológico desta bacia. A Figura 2.7 apresenta uma carta geológica simplificada da porção da Bacia de Benguela atravessada pelo rio Catumbela. A Figura 2.8 mostra um quadro estratigráfico com uma proposta de sucessão de unidades reconhecidas na Bacia de Benguela.

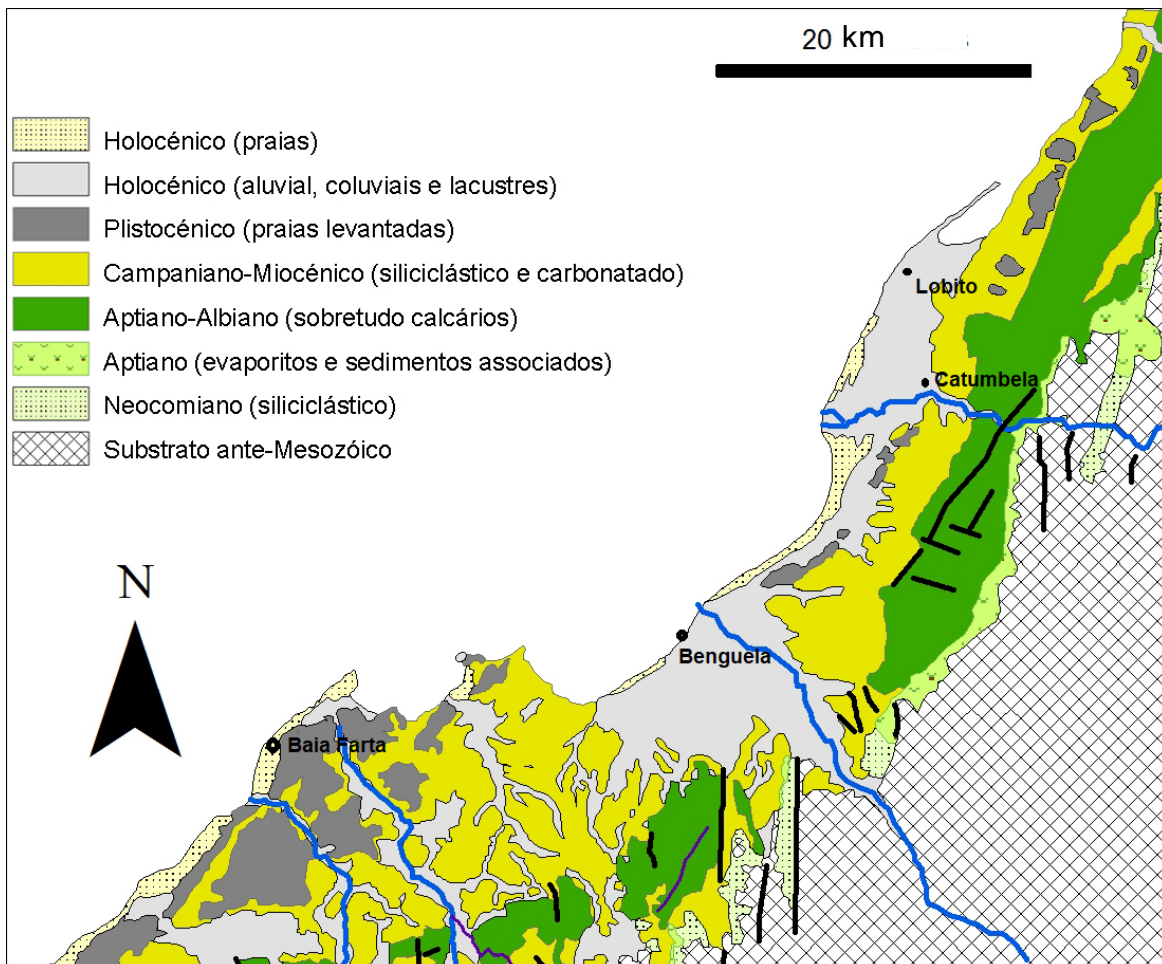


Figura 2. 7. Carta geológica da Bacia de Benguela em torno das cidades de Benguela e do Lobito (Adaptado de Guiraud et al., 2010).

À semelhança de outras bacias do litoral Angolano, o enchimento sedimentar da Bacia de Benguela teve início no Neocomiano. Está representado na base por rochas sedimentares detríticas grosseiras a muito grosseiras, relacionadas com leques aluviais ou sistemas fluviais muito energéticos, cujos depósitos preenchem o interior de depressões tectónicas locais (Formação Cuvo). Seguem-se séries evaporíticas, a que já se fez referência atrás por condicionarem a evolução geológica posterior (Formação Sal-Macijo e Formação de Dombe Grande). Posteriormente depositou-se uma sucessão marinha em que dominam os litótipos carbonatos, mais ou menos margosos, depositadas durante o intervalo Aptiano–Albiano (formações de Dombe Grande, Binga, Dondo, Twenza, Quissonde e Catumbela) (Guiraud et al., 2010).

Sobre estas unidades existe um conjunto essencialmente argiloso ou margoso. Apresenta por vezes com intercalações calcárias, que são particularmente comuns na Formação de Itombe, e intercalações de siltitos ou evaporitos, que são particularmente comuns nas formações de Teba, Gratidão e Cunga. No conjunto, estas unidades terão sido depositadas entre o topo do Turoniano e o Eocénico.

Sobre estas unidades encontra-se a Formação de Quifangondo (Miocénico). Ela está muito bem representada em alguns locais do litoral de Benguela e se individualiza pela frequência de níveis arenosos e carbonatados, contrastando com as unidades inferiores tendencialmente mais ricas na componente argilosa.

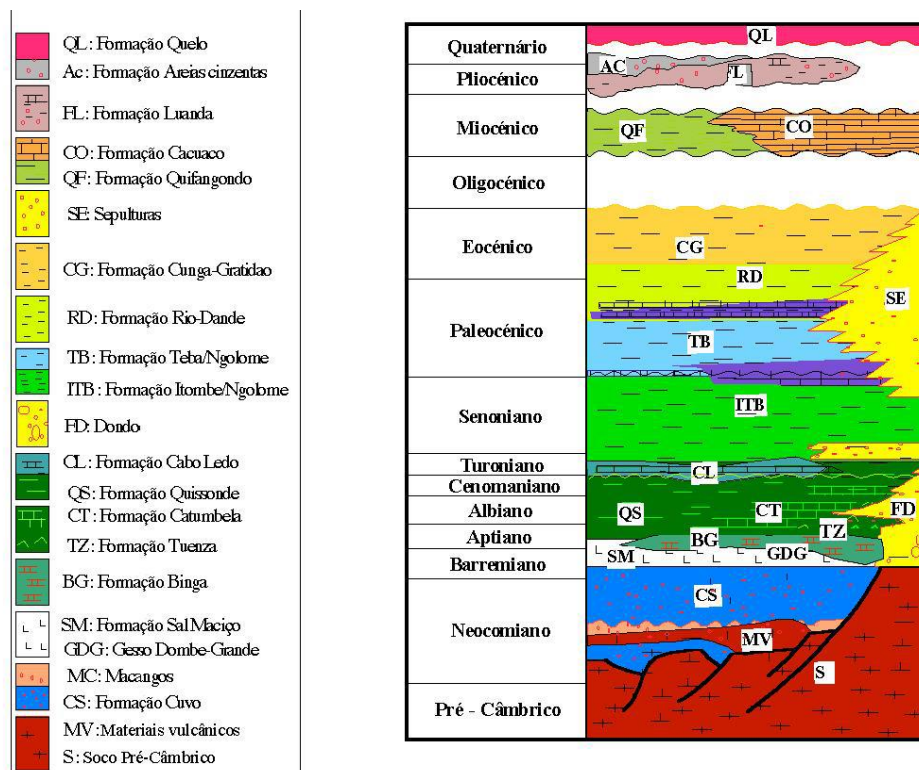


Figura 2. 8. Quadro estratigráfico sintético da Bacia de Benguela (Adaptado de Tavares, 2005).

No que respeita às unidades do Quaternário, podemos considerar três conjuntos fundamentais de depósitos:

- a) Depósitos dos Terraços Altos (Plistocénico Inferior-Médio): são caracterizados por uma sucessão cascalhenta espessa, com seixos provenientes do substrato miocénico e frequentes fragmentos de valvas roladas de *Senilia* e outros moluscos de meio litoral, para além de dentes de peixe (Feio, 1960). Seguem-se níveis arenosos, muito consolidados, com estrutura oblíqua. Surgem ainda níveis com abundantes marcas de raízes, sugerindo uma génese dunar.
- b) Depósitos dos Terraços Baixos (Plistocénico Superior): distinguem-se por depósitos arenosos e areno-argilosos avermelhados a acastanhados. Estão particularmente bem representados a sul do rio Coporolo e imediações do Cuio.
- c) Depósitos holocénicos: ocupam o vale da Catumbela e surgem ligados à evolução recente da linha de costa. Estas unidades serão descritas em maior detalhe nos capítulos 4 e 5.

Em termos estruturais, na margem Atlântica reconhecem-se importantes acidentes tectónicos de orientação NE-SW que condicionaram o desenvolvimento da Bacia de Benguela e a distribuição das unidades sedimentares. De entre estes, destaque para:

- Falha da Lucapa, que acompanha o contacto dos “granitos regionais” do Bloco de Angola com as rochas do complexo poli-orogénico. Esta estrutura prolonga-se para o interior do território sendo considerada um dos acidentes tectónicos ativos no território angolano (Neto et al., 2018)
- Falha do Cuio, localizada sobretudo no offshore, que limita a ocidente o promontório entre a Ponta do Sombreiro e o Dombe Grande.
- Falha de Benguela, posicionada entre as duas primeiras, não surge desenhada na Fig. 2.6, mas tem sido proposta por diversos autores (p. ex., Guiraud et al., 2010). Ela sublinhará a linha de contacto entre as acumulações holocénicas litorais e as unidades mais antigas da Bacia de Benguela.

Estas três estruturas foram interpretadas como falhas transformantes, encontrando-se acidentes equivalentes na margem conjugada do Atlântico ocidental (Guiraud et al., 2010). Em posições mais interiores, as unidades do soco cristalino são afetadas por diversas falhas ENE-WSW, bem visíveis na Figura 2.4, que se enquadram num corredor que se prolonga até à região das Lundas, no NE de Angola (Castillo-Olivier et al., 2016). São cortadas por outras estruturas de direção WNW-ESSE ou praticamente E-W ou NW-SE. A Bacia de Benguela também é condicionada por uma compartimentação tectónica intimamente ligada à atividade diapírica.

2.4. Climatológico

O posicionamento geográfico da República de Angola entre os paralelos 4° 22'S e 18° 02'S é responsável por um clima predominante, entre o árido ou desértico e o tropical húmido (Fig. 2.11). É possível reconhecer dois gradientes climáticos perpendiculares. Um é controlado pela latitude e reflete a transição de condições extremamente áridas na Namíbia para extremamente húmidas no Congo. O outro reflete o aumento progressivo da humidade em direção ao interior. Desta forma, a precipitação média anual em Angola, diminui de norte a sul (Fig. 2.9), tendo o interior as precipitações médias mais elevadas (600 mm a 1000 mm), contra as baixas e médias (< 300 mm) da costa atlântica (NASA, 2017). Este padrão está fortemente condicionado pelo efeito da Corrente Fria de Benguela, como se discutirá mais adiante.

No sector costeiro, normalmente, há fortes chuvas somente no final da estação de chuvas, principalmente em março e abril. Neste período, as chuvas tendem a cair em tempestades isoladas produzindo condições para inundações nas cidades. Ao longo da costa marítima de Angola há um alto nível de variabilidade de precipitação dum ano a outro, e a precipitação num certo ano depende em parte da temperatura do mar e assim da situação do Corrente de Benguela.

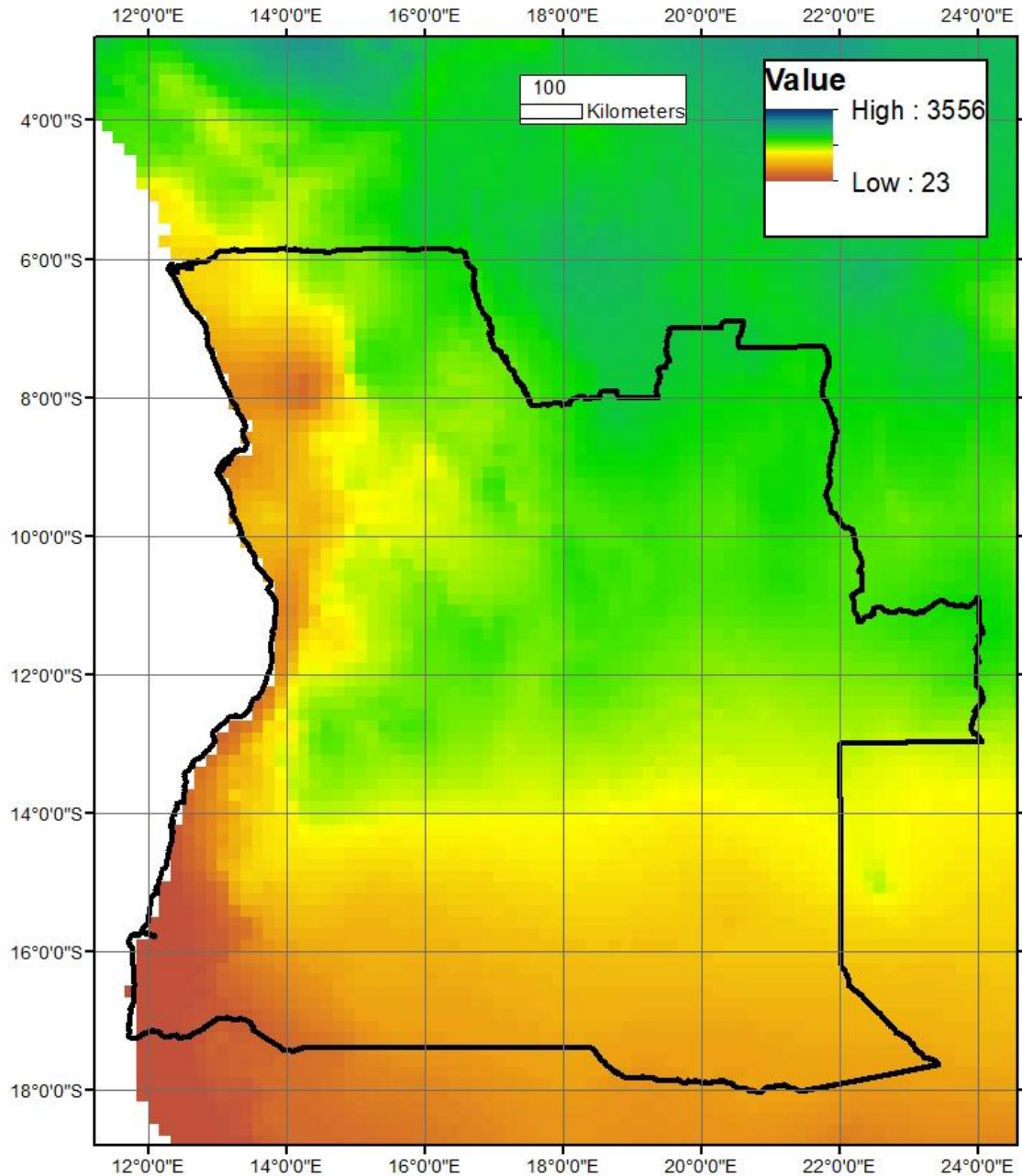


Figura 2. 9. Mapa pluviométrico de Angola (retirado da NASA 2017).

Diferentemente da precipitação, as temperaturas médias anuais não variam significativamente em todo o território, variando de 21 a 27 °C, na região sub-equatorial mais a norte, e de 20 a 24 °C em maiores latitudes (Fig. 2.10). As únicas exceções são as terras mais altas e a zona costeira desértica, ambas na metade sul do país, onde as temperaturas médias podem ficar abaixo dos 19 °C.

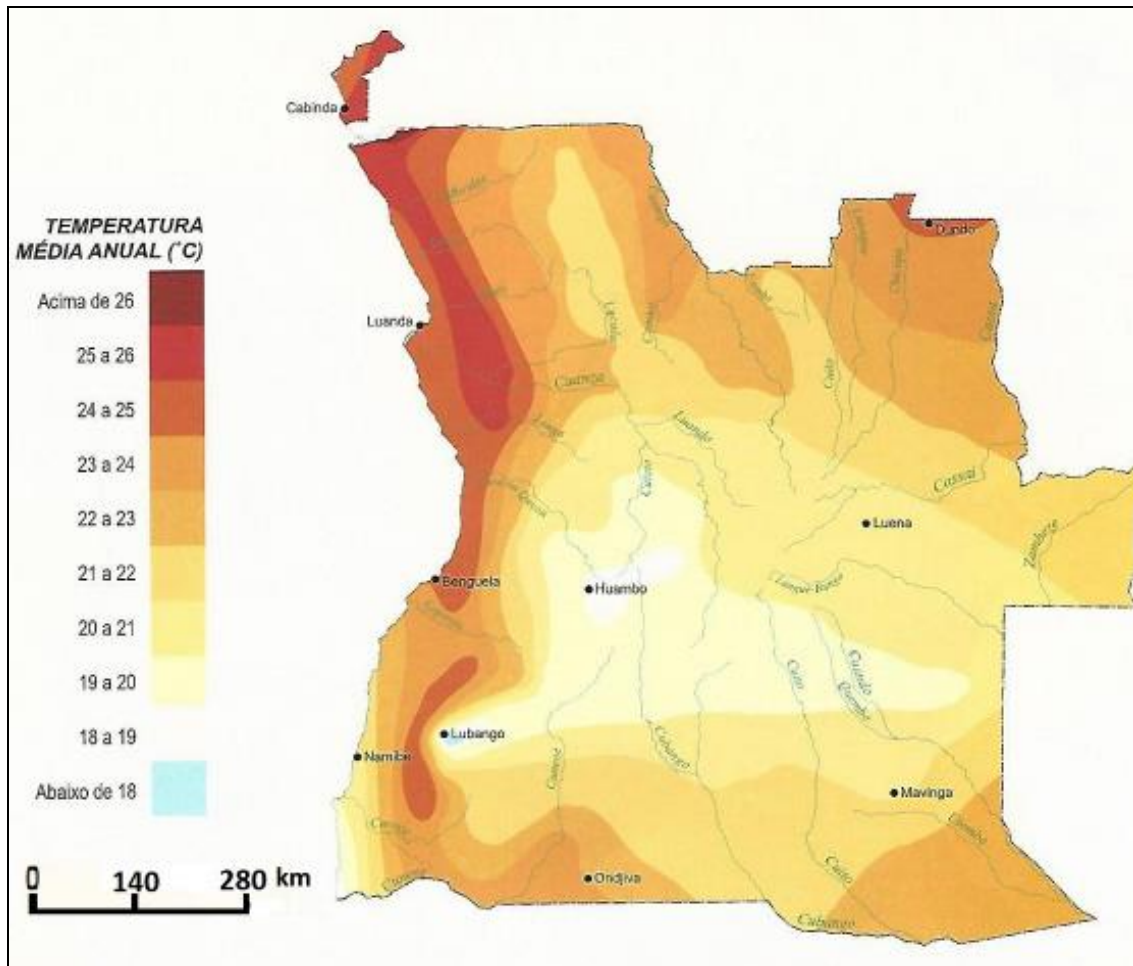


Figura 2. 10. Mapa da temperatura média anual de Angola (segundo adaptado do Escolar Editora-Angola: Atlas de Angola, 2013).

Na região da Bacia de drenagem do rio Catumbela o clima varia de desértico a sub-tropical húmido. Segundo a classificação de Koppen (Fig. 2.11), o clima no litoral é de tipo desértico, quente, de baixa latitude e altitude (Bwh). Para o interior torna-se característico de estepes quentes de baixa latitude e altitude (Bsh). Nos pontos mais interiores o clima passa a sub-tropical húmido de altitude sob influência oceânica.

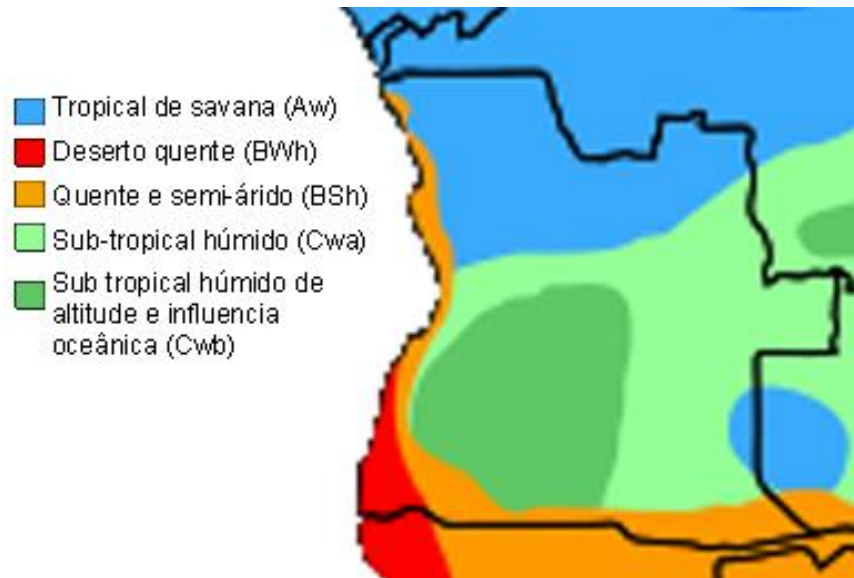
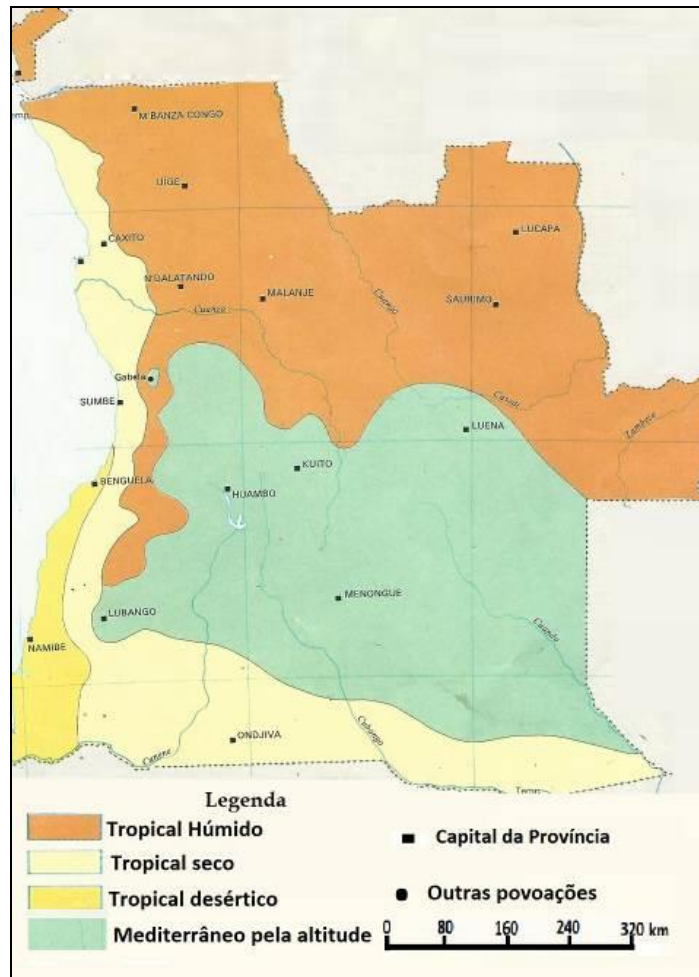


Figura 2.11 - Dois mapas com os climas de Angola. No topo as zonas climáticas segundo adaptado do Escolar Editora-Angola: Atlas de Angola, 2013. Em baixo as zonas climáticas de Koppen.

Em Benguela destacam-se duas estações climáticas distintas: a húmida e quente (chuvosa), que em geral, decorre de setembro a abril, tendencialmente com maior precipitação, e temperaturas médias variáveis de 20 °C a 25 °C; e a do cacimbo, seca e fria, que vai normalmente de maio a setembro cujas temperaturas médias variam de 15 a 20 °C (Diniz, 1973).

Nas cidades do Lobito e Catumbela as máximas precipitações registam-se de novembro a março e as mínimas de maio a setembro cujas médias anuais variam sendo < 350 mm e < 395mm respetivamente. A temperatura média anual é de cerca de 23-24 °C, a mínima média anual varia de 18-20 °C, a média do mês mais quente é 29 °C, com 7-8 °C de amplitude térmica anual.

Merece destaque nesta abordagem a Corrente Fria de Benguela. Segundo Shannon e O'Toole (2003) e Vieira (1971), esta corrente manifesta-se entre os 5° e os 37° de latitude Sul, sendo promovida pelos ventos que se movem no sentido Sul-Norte. Manifesta-se assim, na costa ocidental de África desde o Cabo da Boa Esperança, passando pela Costa dos Esqueletos (na Namíbia) e pela costa de Angola até próximo do Equador, onde vira bruscamente para Oeste e se transforma na Corrente Equatorial Sul.

Esta corrente desempenha um papel importante nos processos de clima, sendo responsável por condições semidesérticas ou semiáridas no litoral. Devido à diminuição da sua influência, a pluviosidade na costa angolana vai aumentando gradualmente de sul para norte, tendo-se uma média anual de cerca de 71 mm no Namibe, 250 mm em Benguela, 300 mm em Luanda e mais de 500 mm a norte de Luanda (Vieira, 1971). Por outro lado, a corrente de Benguela está associada a um movimento ascendente (Upwelling de Benguela) de águas frias que favorece o afloramento de substâncias nutritivas (Shannon et al, 1996). É uma das quatro principais fronteiras leste do sistema de ressurgência dos oceanos mundiais (Hill et al., 1998).

Devido ao enfraquecimento dos ventos alísios, a Corrente de Benguela não é tão forte no verão do hemisfério Sul (janeiro a abril). Durante este período, as águas

atingem uma salinidade menor por causa da penetração de águas quentes vindas da zona equatorial e a frente da corrente vai-se localizar na Namíbia. Em oposição, no Inverno (maio a agosto), a frente vai se localizar mais a norte, no Gabão (Pereira, 1986).

2.5. Hidrográfico

As características do relevo angolano têm grande influência na configuração hidrográfica dos rios, pelo facto dos rios angolanos nascerem nas zonas planálticas e montanhosas seguindo depois para as regiões de mais baixo relevo. Os seus leitos são, na sua maioria, irregulares com numerosos rápidos, alargando-se nas zonas costeiras. O território angolano tem quatro vertentes de escoamento das águas: Atlântica, Zaire, Zambeze e Kalahari (Mendes, 2012). Possui 77 bacias hidrográficas, sendo 47 principais e as restantes litorâneas (Fig. 2.12).

O rio Catumbela faz parte dos grandes rios que correm para a costa Atlântica como o caso dos rios Chilungo, Zaire ou Congo, Bengo, Kwanza, Queve, Cunene, M'Bridge, Lodge, Dande, Caporolo, Bentiaba e Curoca. O DDRC situa-se no sector jusante das bacias do centro oeste (Fig. 2.12). A nível da região costeira de Benguela, o rio Catumbela, caracterizado pela grande variabilidade sazonal em resposta às diferenças na intensidade da precipitação, é o maior em termos de caudal, área de drenagem da bacia (16532 km²) e perímetro de bacia (747,9 km²) (Melo, *et al* 2010)

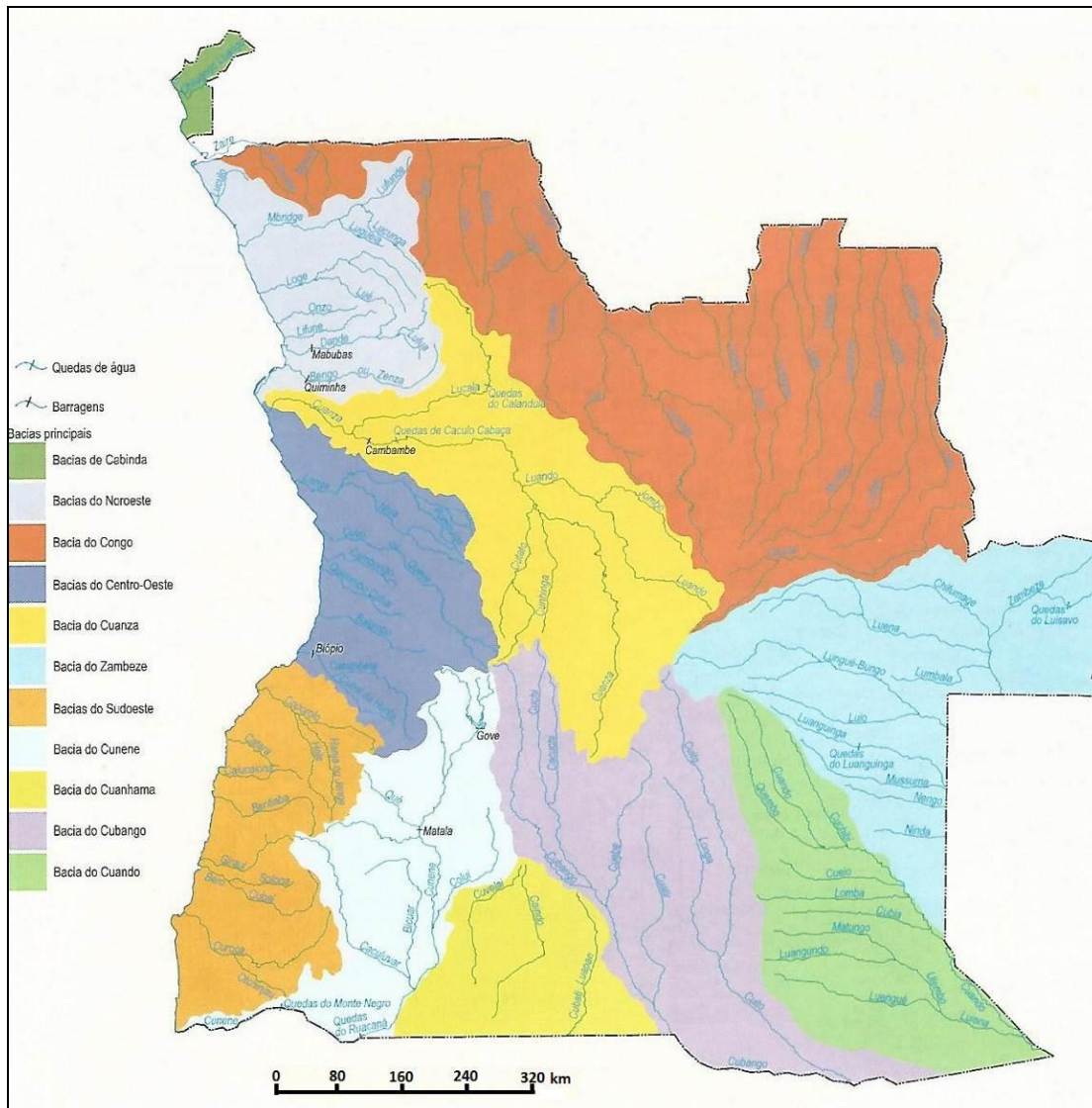


Figura 2. 11. Mapa hidrográfico de Angola (Adaptado do Escolar Editora-Angola: Atlas de Angola, 2013)

2.6. Agentes costeiros

Segundo o Centro de Investigação Pesqueira (2009), as ondas apresentam geralmente reduzida amplitude. No entanto, sabemos que durante as “calemas” (designação local para a sobrelevação de tempestade), quando se conjugam condições de baixa pressão atmosférica e ventos vindos do Atlântico, as ondas podem ser muito significativas. A direção da ondulação é geralmente de S ou SW, refletindo o percurso dos ventos de oeste no hemisfério Sul, e a sua amplitude oscila em média entre 1 e 1,5 m (Sterl & Caires, 2005). Embora a

amplitude das ondas e sua variabilidade tendam a ser ligeiramente menores durante os meses de verão do hemisfério sul, não são encontradas diferenças sazonais significativas.

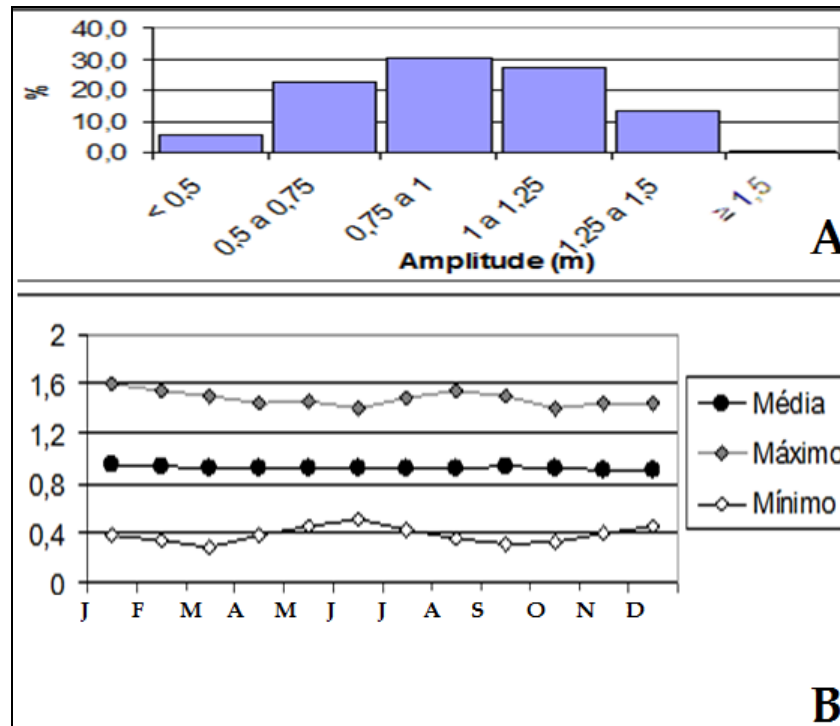


Figura 2. 12. Amplitude de maré durante 2008-2009 (A). Amplitudes mensais da maré durante os anos de 2008 e 2009 (B).(Huvi, 2010).

O ângulo entre as cristas das ondas junto ao litoral e a linha de costa é muito alto, promovendo uma corrente regional de deriva litoral de sul para norte capaz de transportar as partículas arenosas. Ao largo, a Corrente de Benguela é responsável por um transporte, também para o norte, das partículas de grão fino que são despejadas pelos rios regionais e mantidos em suspensão perto do litoral.

Em resposta às marés o nível do mar oscila entre 0,28 e 1,98 m acima do zero hidrográfico e, da análise de um número alargado de ciclos mareais (Fig.2.13 A), nota-se que as amplitudes mais comuns são de 0.5 a 1,25 m. As marés com amplitude superior a 1,25 estão associadas às fases de lua cheia e lua nova. As

marés com amplitudes superiores a 1,5 m são muito raras (0,5%), ocorrendo pontualmente nos períodos de Janeiro-Fevereiro e Agosto-Setembro. As marés com amplitudes inferiores a 0,5 m (5,6%) são pouco comuns, mas podem ocorrer todo o ano durante as fases de quarto crescente e quarto decrescente. Ainda que as maiores amplitudes da maré ocorrem durante os períodos de lua nova e lua cheia, nota-se alguma variação ao longo do ano. Em termos de variação mensal para os dois anos considerados notou-se que a amplitude média (Fig.2.13 B) oscila entre 0,91 e 0,95 m.

CAPÍTULO 3. METODOLOGIAS

No presente capítulo são abordados os diversos processos, instrumentos e procedimentos utilizados na realização do presente trabalho. Tendo em conta os objetivos preconizados optou-se pela combinação de métodos teórico-empíricos, cuja aplicação foi-se efetivando em função do cumprimento de cada etapa e tarefa da investigação, como se esclarece no fluxograma síntese das três fases fundamentais do trabalho apresentado na Figura 3.1.

3.1. Fases de investigação

Neste ponto faz-se a descrição das diversas fases desenvolvidas durante a investigação científica, as metodologias utilizadas em cada fase de trabalho incluíram vários procedimentos (ex. ver Figs. 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6 e 3.7).

3.1.1. Desenho do projeto

Nesta fase procurou-se fazer alguma análise do estado atual de conhecimento do depósito aluvionar do delta do rio Catumbela como reservatório de água subterrânea de abastecimento público nas cidades do Lobito e Catumbela. Neste exercício formulou-se o problema da investigação científica, com definição de

objectivos e tarefas, definição de instrumentos e estratégias da sua aplicação, definição dos recursos disponíveis para o desenvolvimento do trabalho, etc.

Foram reunidos alguns documentos que serviram de base no diagnóstico de avaliação da situação (pesquisas bibliográficas de artigos, livros científicos, dissertações, cartas geológicas, topográficas e notícias explicativas, as consultas de elementos em páginas Web científicas, etc.).

3.1.2. Estudo exploratório

Nesta fase procedeu-se ao estudo exploratório que consistiu na análise minuciosa das fontes documentais, que serviram de suporte à investigação projectada. Para tal, foram considerados dois aspectos:

1. Análise de documentação disponível: consistiram na consulta bibliográfica de dados históricos e estatísticos, material cartográfico de arquivos oficiais e particulares entre outros tipos de registos. A reunião desta informação permitiu um melhor entendimento da área em estudo e a definição da abordagem ao problema levantado.
2. Estabelecimento de contactos directos com as entidades administrativas e tradicionais, regionais e locais, responsáveis de empresas de gestão dos recursos geológicos e mineiros, energia e águas, etc. Estes contactos serviram para fornecer dados primários ou sugerir possíveis fontes de informações úteis e o esclarecimento das condições naturais e culturais locais que garantiram o acesso e desenvolvimento das actividades na área com êxito.
3. Visita prévia de campo com as autoridades administrativas e tradicionais, permitindo deste modo:
 - a) a caracterização geral do local;
 - b) a selecção de pontos para a execução de 40 furos para recolha de dados e de amostras;
 - c) o teste dos instrumentos de investigação.

Os primeiros resultados obtidos serviram de base à elaboração do relatório preliminar da investigação (projecto de tese), apresentado e avaliado pelo júri no Departamento de Ciências da Terra da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra.

No final da 2ª fase foi possível tirar conclusões gerais que se destacaram pela viabilidade, relevância, novidade e oportunidade na abordagem do problema levantado: uma caracterização sedimentológica e hidrogeológica dos depósitos do Delta do Rio Catumbela.

3.1.3. Desenvolvimento do projecto

Correspondeu ao desenvolvimento do projecto de tese. Esta envolveu, para além de uma contínua pesquisa bibliográfica, o planeamento e realização das actividades efectivas de campo e laboratoriais.

3.1.4. Tratamento de dados

Consistiu na análise, tratamento e interpretação de dados e na redacção da presente tese.

3.2. Metodologias utilizadas

Em síntese, as quatro etapas acima descritas incluem duas abordagens sendo a teórica (pesquisa bibliográfica, documental e cartográfica) e a prática (trabalho de campo e de laboratório seguidos de tratamento, interpretação e discussão dos resultados).

3.2.1. Pesquisa bibliográfica e cartográfica

Todo o trabalho científico exige um aporte teórico para o desenho do estado da arte em geral e sobre o domínio em estudo. A presente investigação não fugiu à regra. Assim, levou-se a cabo o trabalho de recolha e pesquisa de várias fontes escritas das quais se destacaram os artigos científicos, livros e teses, que

abordam, sobretudo temáticas de enquadramento natural e conceptual do tema de investigação. Designadamente, aquilo que respeita à geologia, geomorfologia, estratigrafia, sedimentologia, hidrogeologia, hidrologia e climatologia do delta do Catumbela e corpos similares. Para perceber da evolução do delta do Catumbela, realizou-se o levantamento e interpretação de documentos cartográficos, fotografias e imagens mais antigas, bem como outros documentos históricos considerados relevantes.

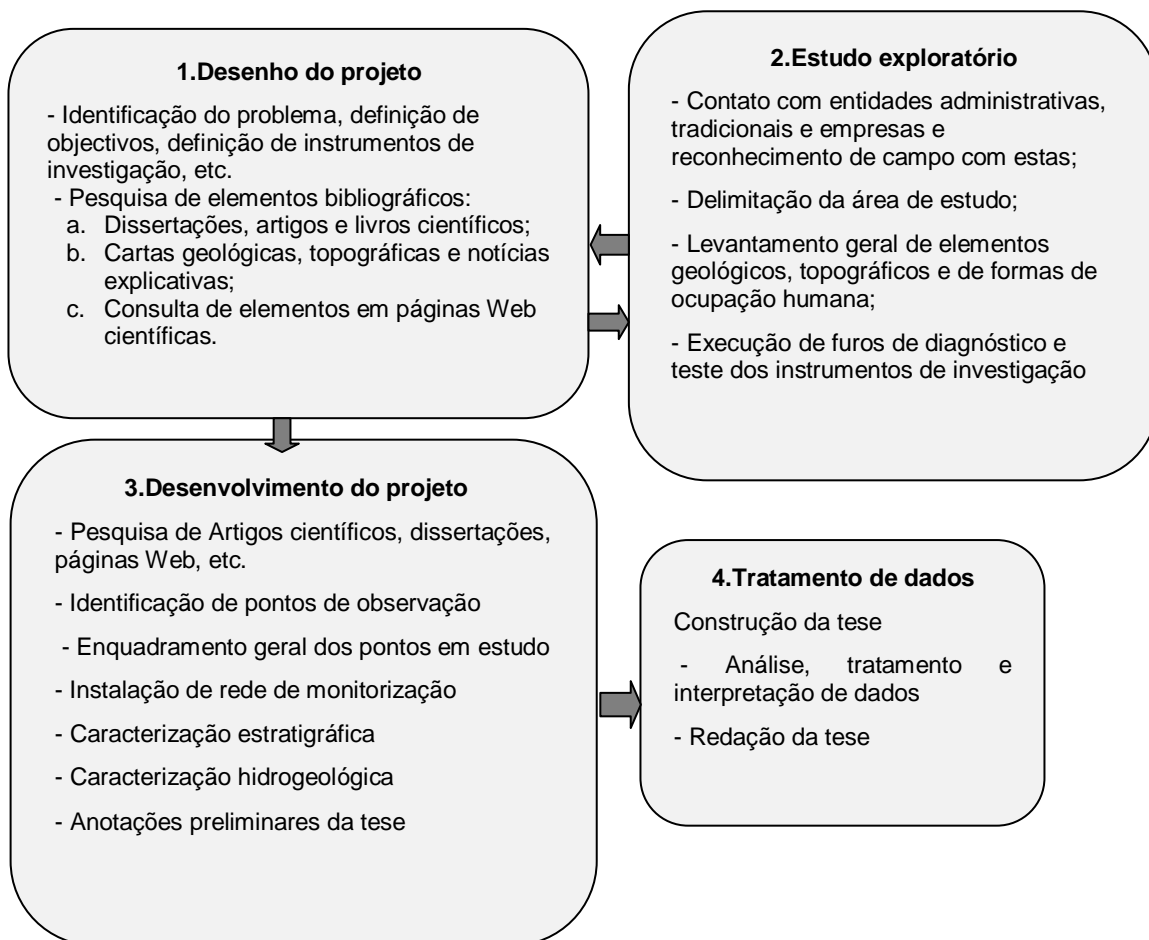


Figura 3. 1. Fluxograma das etapas e metodologias de investigação utilizadas na realização da presente tese.

3.2.2. Trabalho de campo

Este foi um dos momentos decisivo para o desenvolvimento do trabalho, baseando-se no aporte teórico da pesquisa. Para tal recorreu-se a vários

instrumentos de campo comuns como o GPS, bússola, fita métrica, máquina fotográfica, caderneta de campo e material necessário para protecção e segurança, uma viatura 4x4. Em termos de material específico para o presente projeto, destaque para o trado manual, medidor multiparâmetros de água, um medidor sonoro dos níveis de água, etc. A fase envolveu várias etapas como se descreve abaixo.

3.2.2.1. Reconhecimento de campo

Inicialmente, procedeu-se à visita de campo aos domínios ocupados pelos depósitos aluvionares em torno da foz do rio Catumbela. Posteriormente, com os elementos recolhidos, principalmente de uso e ocupação da superfície e de natureza hidrográfica, foram definidos os pontos que serviram para a implantação de furos destinados a:

- amostragem de sedimentos,
- medições dos níveis piezométricos,
- recolha de amostras de água
- medição *in situ* de algumas características físico-químicas e químicas da água.

Na definição dos pontos teve-se em conta vários aspetos, dos quais se destacam a extensão geográfica da área, a forma de ocupação do solo e a acessibilidade.

3.2.2.2. Implantação de piezómetros

Foram executados 122 furos curtos com um trado manual (*Hand Auger*) Edelman com varas de extensão (Fig. 3.2 A e B). Com este trado e todas as varas seria possível alcançar uma profundidade de 9 metros. Contudo, as profundidades conseguidas dependeram das dificuldades que se foram encontrando durante a execução dos furos.

A profundidade dos furos foi condicionada, antes de mais, pela posição do nível freático. Os menos profundos (até 2 m), na sua maioria, situam-se próximo da linha de costa e do canal do rio. Alguns, localizados junto ao contacto com as unidades do Cretácico da Bacia de Benguela, que definem o limite interior do

depósito em estudo, tiveram a profundidade de perfuração limitada pela presença de cascalheiras muito grosseiras. Os mais profundos com cerca de 6,20 m localizam-se, na sua maioria, no interior da aluvião.

Somente 21 furos foram entubados com tubo PVC de 2,5 ou 4 polegadas e encamisados com uma malha de rede plástica que cobria os níveis com maior circulação hídrica (Fig. 3.2 A, B, C e D). Estes níveis estão a profundidade de 1 a 3 m para os furos de pouca profundidade e de 3 a 9 m para os mais profundos. As medições piezométricas foram realizadas duas vezes por ano durante três anos (2013 a 2015) com uma sonda acústica eléctrica de níveis (*dipper*) com 30 m de cabo e 1 cm de precisão (Fig. 3.2F).



Figura 3. 2. Ilustração parcial do processo de instalação de piezómetros(A-transporte de material para o campo; B-Furação a trado manual; C – Instalação do tubo encamisada; D – Proteção e sinalização do Piezómetro) e medições *in situ* da água; E – Medição dos parâmetros físico-químicos com o multiparamétrico de água; F – Medição do nível de água com a sonda acústica.

3.2.2.3. Amostragem de sedimentos

As amostras de sedimentos foram coletadas nos furos realizados com trado manual. Para cada furo, foi feita a descrição das unidades atravessadas e foram colhidos sedimentos em posições intermédias de todos os níveis identificados.

Colheram-se amostras de sedimento (Fig. 3.3) com cerca de 1 kg, que foram posteriormente deixados a secar ao ar, em ambiente protegido de poeiras atmosféricas. Depois de secas, as amostras foram esboroadas, homogeneizadas e quarteadas até à obtenção de aproximadamente 200 gramas de sedimento, e foram analisadas nos laboratórios do Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra.



Figura 3. 3. Ilustração de alguns momentos da execução de furos curtos e para amostragem de sedimentos (A e B) e sondagens longas (C e D) na área de estudo.

3.2.2.4. Ensaios hidráulicos

Foram realizados dois tipos de ensaios: ensaios de rebaixamento-recuperação simples (*slug tests*) e ensaios de bombagem (*pumping tests*) (Figs. 3.4)

Os ensaios de rebaixamento foram realizados em 3 furos no perímetro da aluvião. Efetuaram-se os seguintes procedimentos e registos:

- Diâmetro do furo

- Nível inicial da água no furo
- Tempo inicial
- Introdução no furo, de forma rápida, de cerca de 20 litros de água
- Controlo e registo do rebaixamento do nível da água, usando a sonda acústica, e do tempo de recuperação do nível.

Relativamente aos ensaios de bombagem, foram realizados oito testes. Em cada teste utilizaram-se dois furos sendo um furo de bombeamento e outro de observação. Seguiram-se os seguintes passos e registos de campo:

- Diâmetro do tubo;
- Distância entre os dois furos (bombagem e de observação);
- Determinação das cotas de localização dos dois furos
- Registo da capacidade real da bomba, isto é, do caudal de bombagem;
- Medição do nível da água - nível hidrostático - nos dois furos;
- Início do bombeamento da água;
- Controlo e registo periódico do nível da água – nível hidrodinâmico - usando a sonda acústica num intervalo de tempo que dependia da velocidade do rebaixamento.
- Registo do tempo de rebaixamento até à estabilidade dos níveis.



Figura 3. 4. Ilustração de alguns momentos e procedimentos da realização de ensaios hidráulicos do tipo pumping test.

3.2.2.5. Medições hidrológicas *in situ*

Durante a investigação, as campanhas foram realizadas duas vezes por ano e envolveram as seguintes acções:

- Medição dos níveis piezométricos e variação hidrodinâmica ao longo do canal do rio
- Determinação *in situ* de parâmetros físico-químicos da água, nomeadamente da quantidade do oxigénio dissolvido, concentração hidrogeniónica ou pH, temperatura, condutividade eléctrica específica, condutividade eléctrica, sólidos totais dissolvidos, salinidade, potencial de oxidação-redução ou Eh. Foi igualmente determinada a pressão atmosférica (Tabela 7.2).

Para tal, foi utilizada a sonda Multiparâmetros com GPS (HI 9828 da Hanna) que inicialmente se submetia a calibração. Esta sonda é um aparelho analítico que se baseia no emprego de eléctrodos selectivos e permite a determinação de parâmetros físicos-químicos de uma forma rápida e económica.

Sempre que possível efectuou-se o esvaziamento total ou parcial dos piezómetros antes de se colher a amostra de água subterrânea. Os níveis piezométricos foram medidos exclusivamente em piezómetros e furos onde não se efetuava exploração de água.

3.2.3. Trabalhos laboratoriais

3.2.3.1. Análise de sedimentos

A análise de sedimentos serviu, em articulação com dados pontuais sobre as estruturas sedimentares, para a definição de fácies sedimentares. Para além das análises granulométricas e mineralógicas, cujos procedimentos são descritos abaixo, em amostras seleccionadas foi feita, à lupa, uma avaliação do arredondamento dos grãos com base na escala de Powers (1953), uma determinação da mineralogia e natureza dos fragmentos líticos e a identificação de bioclastos.

As análises granulométricas de todas as amostras foram realizadas por difração laser num granulómetro laser Coulter LS 230. Os resultados obtidos foram adaptados a uma escala de “crivos” com incrementos $1/2\phi$ ($\phi = -\log_2$ diâmetro, com diâmetro em mm). As amostras que apresentavam partículas maiores que 2 mm ou quantidades significativas de partículas maiores que 1 mm (aproximadamente 5 % ou mais) foram também submetidas a crivagem da fração maior que 0,5 mm. Os resultados de ambos os métodos foram combinados utilizando a aplicação SLCombo (Dinis & Castilho, 2012) para obter curvas de distribuição integrais.

A composição mineralógica foi determinada nas fracções inferiores a 2 mm, 0,063 mm e 0,002 mm, por difração de raios X (DRX). Foi utilizado um difractor de RX Philips PW 3710, sendo os difractogramas fornecidos pelo *software* APD 3.6J-Automatic Powder Diffraction, da Philips. As amostras foram peneiradas em crivos com malhas de 2 mm (via seca) e 0,063 mm (via húmida) para obter as fracções de menor calibre que estas dimensões. As fracções inferiores a 2 mm foram moídas e homogeneizadas; as fracções inferiores a 0,063 mm foram secas ao ar em lâminas sedimentadas.

Para separação da fração inferior a 2 μm criaram-se suspensões a partir da fração inferior a 63 μm . Após obtenção de boas suspensões, a fração inferior a 2 μm foi separada por centrifugação segundo a lei de Stokes, criando-se depois lâminas sedimentadas desta fração.



A



B



C



D

Figura 3. 5. Vista parcial do equipamento utilizado no processo de análise granulométrica no laboratório da sedimentologia DCT/UC.

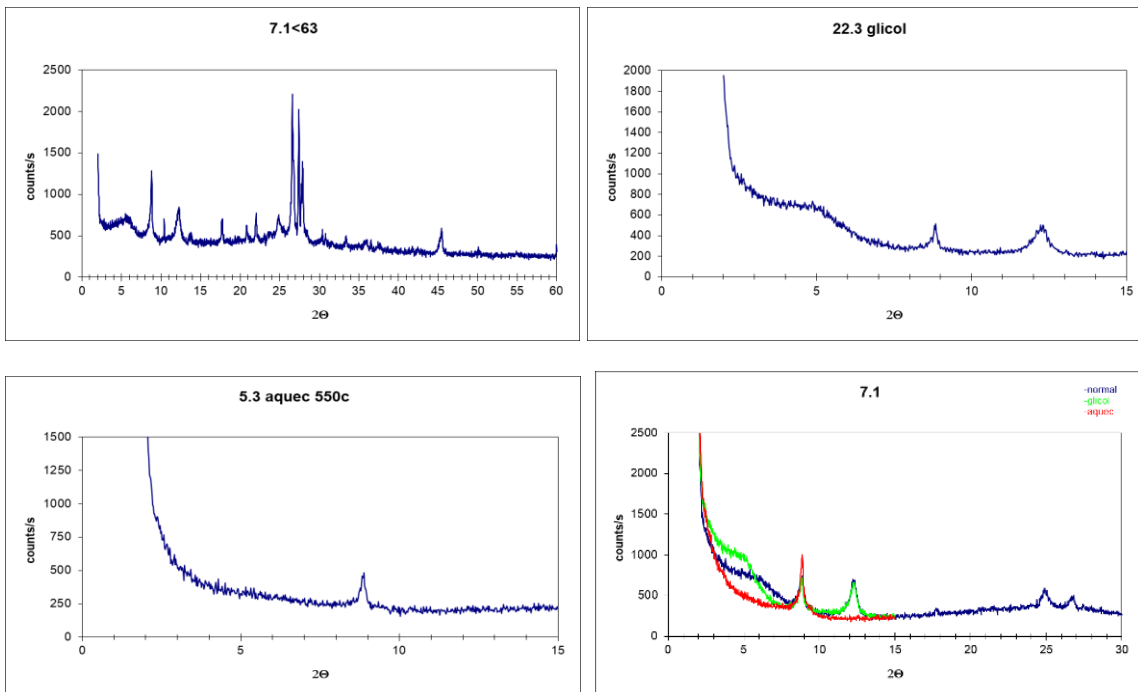


Figura 3. 6. Exemplo de alguns difratogramas obtidos para a análise da mineralogia.

As fracções separadas das várias amostras passaram então no RX com um avanço de 1,2º/minuto no intervalo 2º-60º, para as fracções mais grosseiras, e no intervalo de 2 a 30º para a fracção <0.002 mm. As lâminas com reflexões aos 14A foram sujeitas a tratamentos por glicol (48 horas) e aquecimento (550ºC durante 2 horas) seguidos de novas passagens de DRX (2-15º). As percentagens de diferentes minerais estimadas com base nas áreas de reflexões características (Moore & Reynolds, 1997; Kahle et al., 2002).

3.2.3.2. Amostragem e análise da água

Nos furos as medições foram efetuadas em amostra de água. A amostragem foi feita com um amostrador, lavado previamente com a água local. No caso dos poços e linhas de água, a medição foi feita directamente na massa de água.

As medições foram feitas com um medidor multiparamétrico modelo HI9828 da HANNA. Os procedimentos de medição dos parâmetros físico-químicos foram os mesmos em todos os momentos de amostragem e análise durante a investigação. Todos os dados e foram gravados no disco interno do aparelho e posteriormente descarregados no computador e processados no programa Excel.

Para as análises químicas, em cada fase da campanha, recolheram-se 15 amostras de água sendo: 10 amostras de furos, 4 amostras de linhas e 1 amostra de poço. Os frascos de amostragem e de conservação da água foram previamente lavados com a água desmineralizada e postos a secar em ambiente natural. As amostras de água foram despejadas em garrafas de 1,5 L, até ao topo, e conservadas em mala térmica. Por razões logísticas e para promover uma boa conservação das amostras, em cada período de campanha recolheram-se somente 5 amostras por dia.

Seguidamente, as amostras foram levadas ao laboratório (instalado em domicílio) e imediatamente submetidas a filtração e análise, a qual durava no máximo uma hora.

Para as análises foi utilizado um fotómetro de bancada multiparâmetros de marca Hanna e modelo HI83200, que usa uma lâmpada de tungsténio e radiação UV-

visível. As análises foram realizadas seguindo o procedimento operacional padrão da fotometria. Os parâmetros determinados e a metodologia estão descritos na Tabela 7.1.



Figura 3. 7. Vista parcial dos momentos de análise química de água. A - amostragem de água ao longo da área de estudo; B - preparação de meios de trabalho; C – Montagem de laboratório móvel no domicílio e respectivas análises químicas (B e C).

3.2.4. Trabalhos de gabinete

3.2.4.1. Interpretação de imagens, fotos e mapas

Várias imagens de satélite de alta resolução GeoEYE-1 disponíveis no *Google Earth™*, fotos aéreas, documentos históricos, esboços em documentos sobre a evolução da região e mapas antigos foram analisados para entender a distribuição de unidades morfo-sedimentares em diferentes anos.

3.2.4.2. Análise e tratamento de dados

Após a recolha de dados dos diversos domínios estudados – sedimentológicos, hidrogeológicos e hidroquímicos – procedeu-se ao seu tratamento e interpretação. Para além de folhas de cálculo convencionais recorreu-se aos programas ArcGis 10.3, Surfer 12.0, Aquifertest, Excel e Photoshop 6.0. Estes programas foram usados para construir modelos da variação espacial dos diferentes parâmetros (sedimentológicos, granulométricos, hidrogeológicos e hidrogeoquímicos) no seio da acumulação sedimentar do DDRC, designadamente da distribuição:

- Espacial e de espessura de sedimentos com diferentes fácies sedimentológicas;
- Das unidades morfo-sedimentares;
- Dos domínios hidrogeológicos;
- Das características hidrodinâmicas e hidroquímicas subterrâneas.

Os *slug tests* foram interpretados pelo método de Hvorslev. Os *pumping tests* apresentaram muitas limitações e dificuldades operacionais e não possibilitaram o registo de todos os parâmetros de campo; assim a interpretação dos resultados obtidos nomeadamente dos rebaixamentos; (ver ANEXO 6) foi de natureza semi-quantitativa e através da comparação com os valores expressos na bibliografia da especialidade. No traçado de isolinhas com o *software* Surfer foi utilizado o método de *krigging*.

CAPÍTULO 4. CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA E DE OCUPAÇÃO ANTRÓPICA DO DDRC

Apresentam-se neste capítulo alguns aspetos mais relevantes da geomorfologia e das formas de uso e ocupação do solo no depósito deltaico do rio Catumbela (DDRC). Com esta análise pretende-se conhecer a evolução física (geomorfológica) do domínio estudado, a qual, condicionada por fatores naturais e sob influência humana, conduziu à acumulação deltaica atual. Segue-se uma apresentação das atividades e fontes potencialmente contaminantes que podem comprometer o seu aproveitamento como fonte de recursos hídricos.

4.1. Evolução geomorfológica

Os depósitos deltaicos sub-aéreos estão geralmente a altitudes inferiores a 10 metros. Posicionam-se a ocidente de uma linha bem vincada, de rumo geral NNW-SSW, que assinala a transição para as unidades mais antigas da Bacia de Benguela onde, em cerca de 5 km, se atingem cotas próximas de 500 metros (Fig. 4.1). Próximo do apex e do limite interior do delta reconhecem-se sectores lineares ou em leque onde a cota pode ser superior a 10 metros. A altitude tende a diminuir gradualmente para ocidente. Na zona do mangal do Lobito, que

constitui a terminação setentrional do delta, tem-se uma extensa área de baixa altitude. Próximo do limite ocidental do delta também se reconhecem faixas alinhadas com a linha de costa de menor elevação que as áreas confinadas (Fig. 4.1).

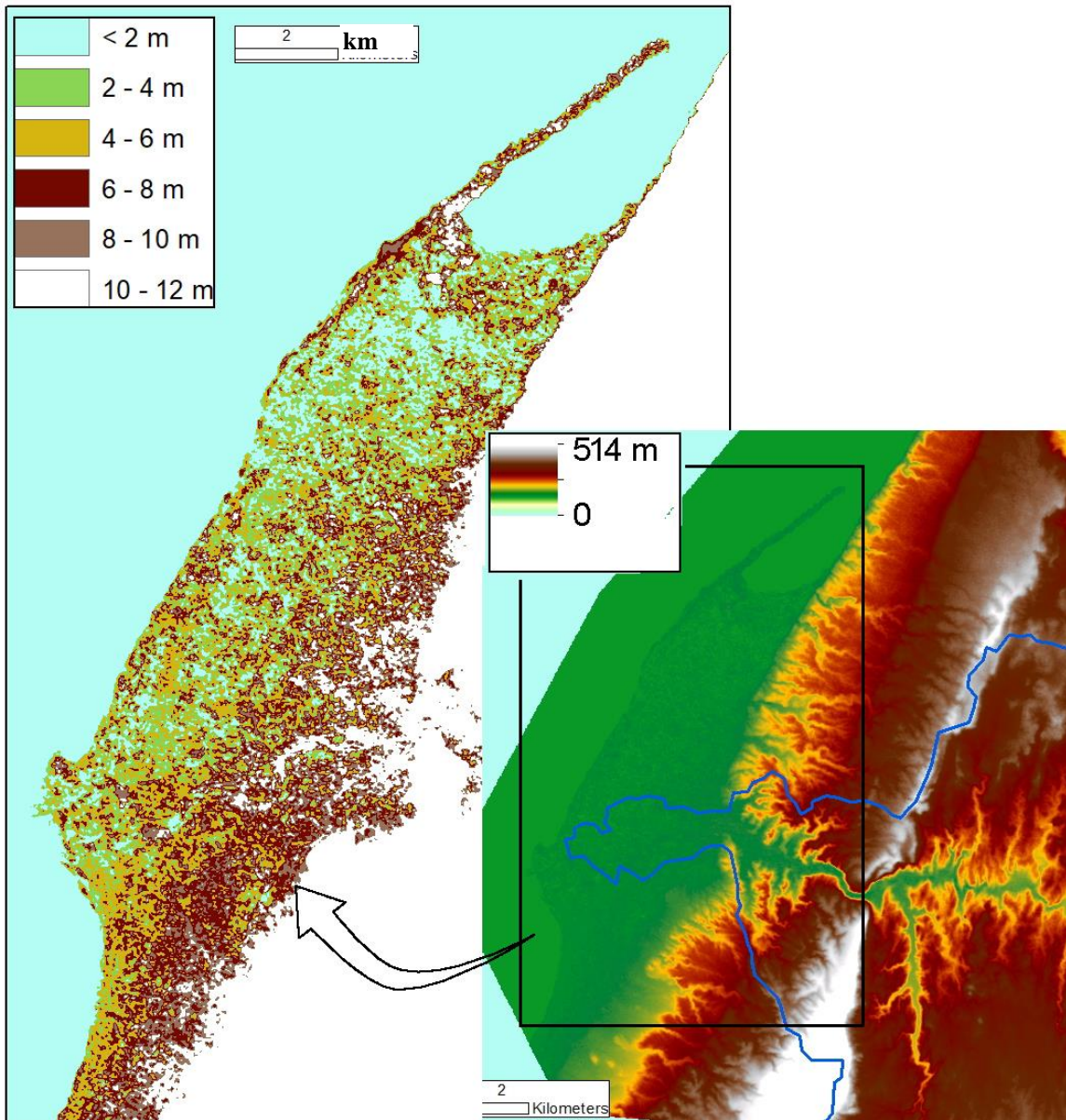


Figura 4. 1. Topografia da região litoral em torno da foz do Catumbela e da acumulação deltaica baseada em modelo digital de terreno da ISIS-CNES.

4.1.1. Trabalhos anteriores

Já na década de 1960 se defendia que do ponto de vista geomorfológico, o delta do Catumbela é de maior interesse para a compreensão da evolução recente. Carvalho (1963) apresentou uma carta geomorfológica detalhada (Fig. 4.2) e resumiu a sua evolução em três fases:

1- Durante a transgressão flandriana ter-se-ia constituído o delta do rio Catumbela, sobre o qual, já numa fase regressiva, o rio teria deslocado o seu curso até ocupar a posição atual.

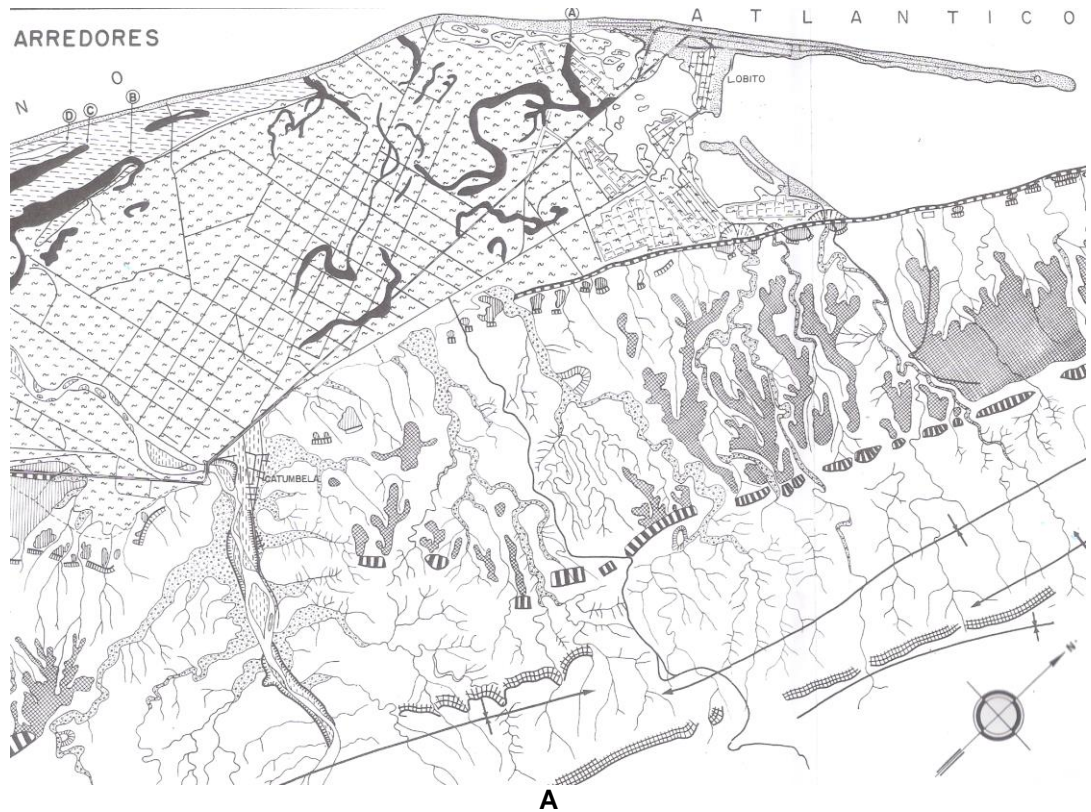
2- Durante a fase regressiva, no final do Flandriano, que sucedeu ao máximo da transgressão, ter-se-iam acumulado os depósitos arenosos da faixa situada atrás das praias arenosas atuais.

3- Na atualidade, o comportamento transgressivo deste sector do litoral localmente destrói aqueles depósitos.

Este autor destaca que, a leste, a acumulação deltaica é interrompida por uma grande descontinuidade morfológica devido à existência da grande falha que se estende para Benguela e divide os depósitos quaternários a ocidente e materiais carbonatados do Cretácico Superior a oriente.

No que respeita aos terraços quaternários, Carvalho (1961) dividiu as plataformas de acumulação e de abrasão em dois níveis. Uma rede de vales, secos durante a maior parte do ano, com exceção do rio Catumbela, separa essas plataformas (Fig. 4.2). Este autor, atribuiu ao primeiro as plataformas localizadas a este do farol do Lobito. O segundo é constituído por uma plataforma de acumulação cujas cotas oscilam por volta dos 20 metros.

Estratigrafia e Hidrogeologia do Depósito Deltaico do Rio Catumbela (Angola)



LEGENDA CARTA GEOMORFOLÓGICA DOS ARREDORES DO LOBITO

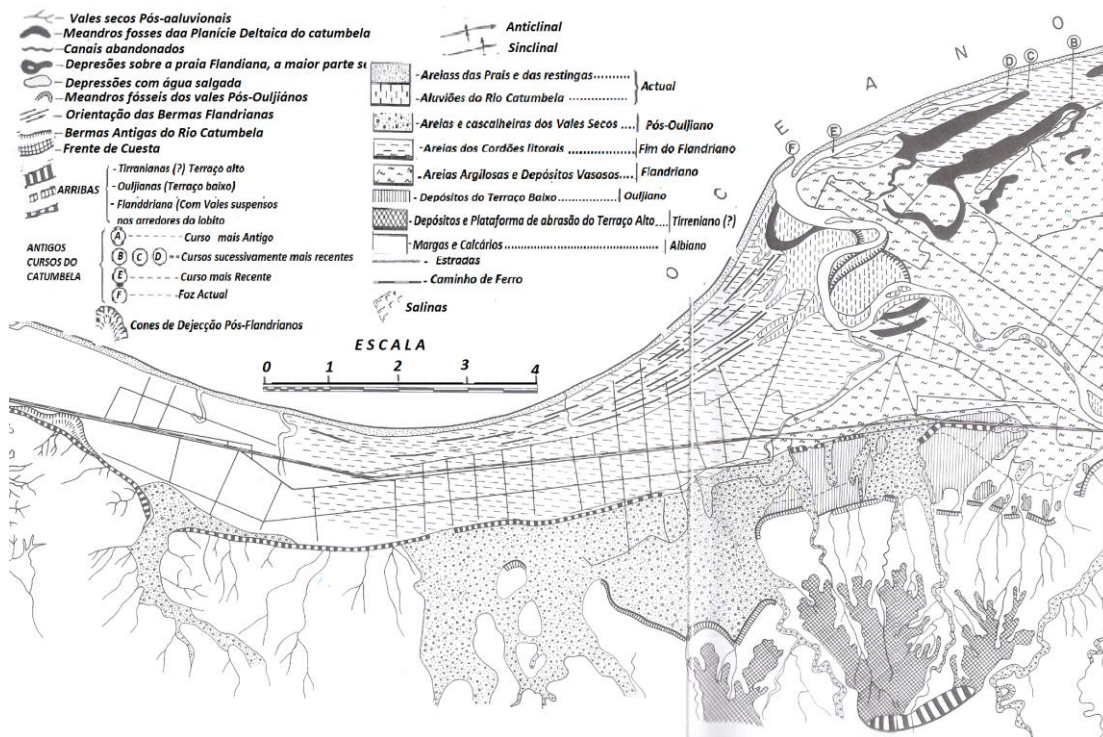


Figura 4. 2. Carta Geomorfológica dos arredores do Lobito (A) parte Norte e (B) parte Sul (Carvalho,1961).

Feio (1960), destacou os seguintes níveis plistocénicos de terraço: plataforma dos 175 metros (Calabriano), plataforma dos 93 metros (Siciliano I), níveis dos 46-50 metros (Siciliano II), níveis dos 28 metros (Tirreniano I) e níveis dos 13 metros (Tirreniano II). Sugeriu também a existência de uma arriba marinha em parte morta (para Sul do Lobito) e, em parte viva (para o norte da restinga).

Mais recentemente, Guiraud et al. (2010), reconheceu que a Bacia de Benguela permanece pouco estudada e referiu que o sistema de falhas normais de falhas 000 – 020° condicionou a evolução quaternária da região e o desenvolvimento da faixa com terraços de praia. Já antes, Galvão e Silva (1972), fez referência a importante plataforma de escarpa de falha que, neste sector de terraços, distribui-se de forma irregular. Diferentes unidades fluvio-deltaicas do Catumbela, de menor elevação, surgem representadas na folha 227/228 da carta geológica de Angola na escala 1/100.000 (Galvão e Silva, 1972). Elas enquadram-se no então chamado Antropozóico (Fig.4.3). São:

Aluviões modernos (a´´) do vale da Catumbela, cujo material aluvionar holocénico, na generalidade, é formado por areias finas, um pouco argilosas, que contem materiais orgânicos, tendo misturado cascalheira superficial.

-Areias das praias (a´), que correspondem às praias atuais (Holocénico) e desenvolvem-se em frente das plataformas arenosas, cujos depósitos constituem a ante-praia (backshore) de idade flandriana.

- Sedimentos da planície costeira (Q), que ocupam o sector aluvionar que se estende entre Lobito e Benguela, correspondendo à planície deltaica, ligada à evolução do rio; seriam constituídos por dois tipos de formações arenosas: vasas escuras e areias de praia de idade mais recente que as vasas.

- Depósitos de terraços do Plistocénico (Q¹).

Estratigrafia e Hidrogeologia do Depósito Deltaico do Rio Catumbela (Angola)

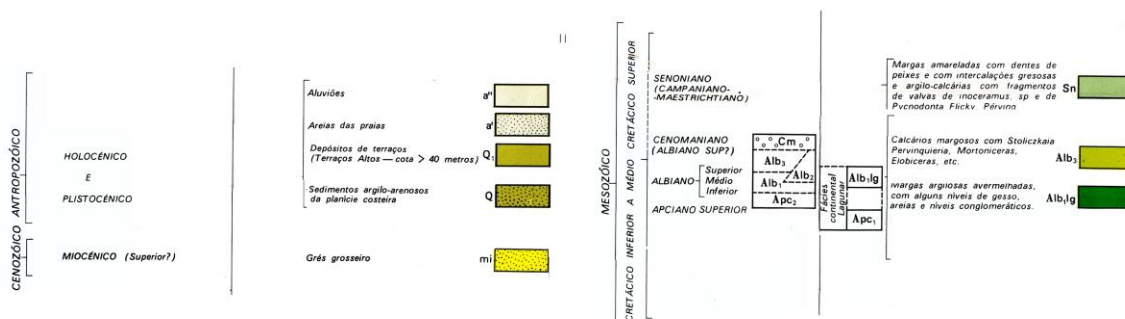
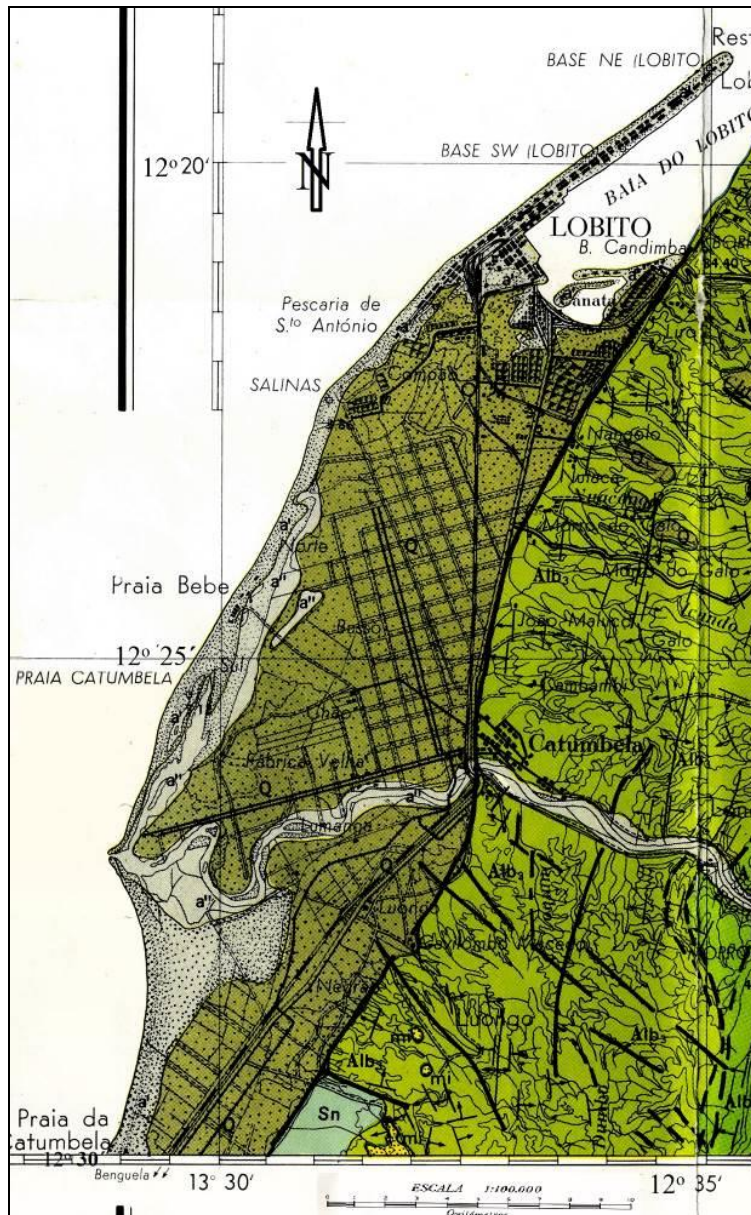


Figura 4. 3. Fragmento da Carta Geológica da área do local de estudo. Excerto das Folhas Nº 227/228 a Escala 1/100 000-Lobito (Galvão & Silva, 1972).

4.1.2. Unidades morfo-sedimentares

Com base nos levantamentos de campo e na análise de imagens aérea foi possível distinguir quatro unidades morfo-sedimentares no depósito deltaico sub-aéreo do Catumbela (Fig.4.4): (1) cordões de praia, (2) lagunas entre cordões e de mangal, (3) canais fluviais e distributários e (4) planície de inundação e baías inter-distributárias. Algumas características destas unidades visíveis em imagens aéreas e no terreno estão ilustradas nas Figuras 4.4 e 4.5.

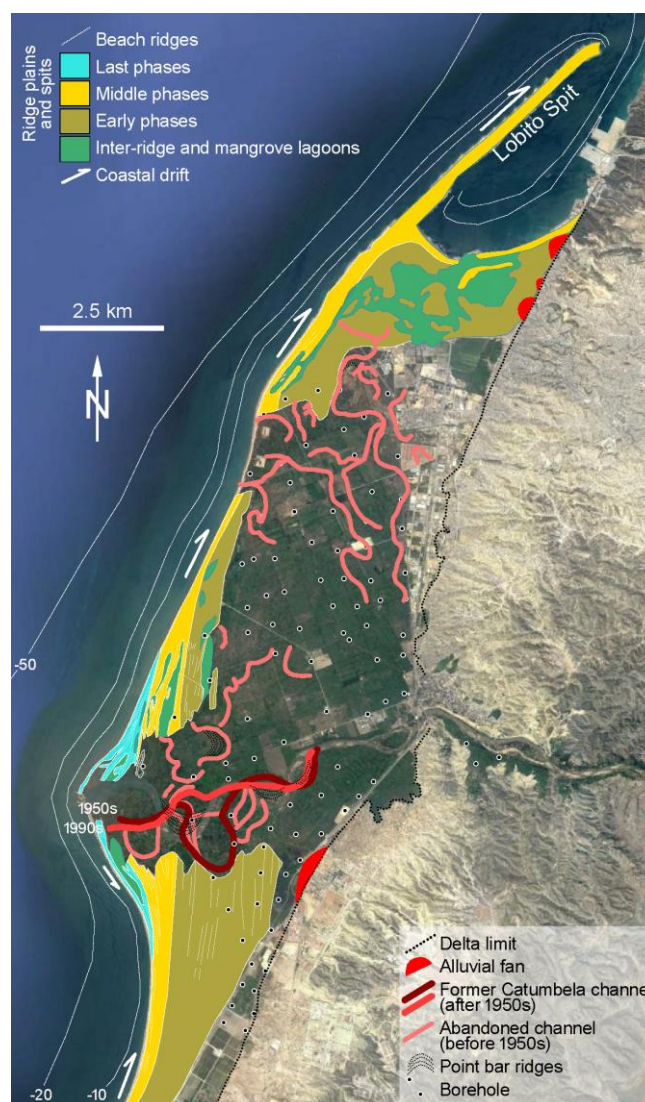


Figura 4. 4. Esquema geomorfológico do delta do Catumbela (retirado de Dinis, Huvi & Callapez, 2018).



Figura 4. 5. Imagens aéreas das unidades morfo-sedimentares. (A) o canal da Catumbela na planície do delta (imagem Landsat 5 de 1998). (B) Duas lagoas simétricas entre cordões de praia ligadas a uma antiga foz do rio (imagem do Google Earth de 2004). (C) Cordões de praia que se alargam e se multiplicam perto do canal do rio, deixando entre si pequenas lagoas (imagem do Google Earth de 2017). (D) Evidências de meandro com formas de acreção lateral (point bar). (E) Zona de rutura dos cordões de praia por canais fluviais que marca o término setentrional da planície intermediária; canais abandonados observados a montante são identificados por setas (imagem do Google Earth de 2004). (F) Três antigas embocaduras do Catumbela identificadas por setas na região do Lobito (foto aérea de 1988).

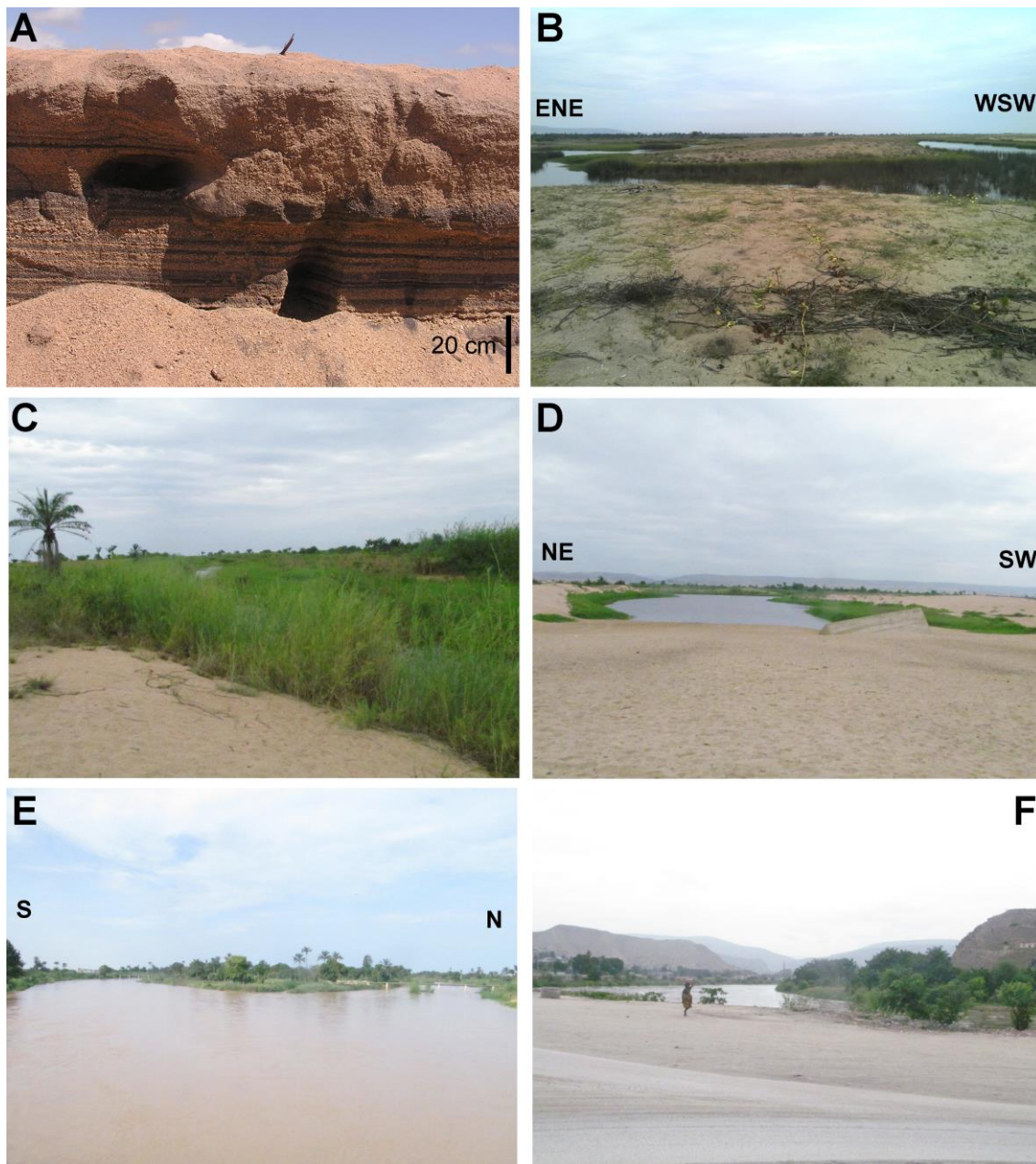


Figura 4. 6. Algumas características das unidades morfo-sedimentares visíveis no terreno. (A) Depósito de praia com estratificação horizontal sublinhada pela presença de lâminas enriquecidas em minerais pesados. (B) Duas lagoas alongadas paralelas à costa associadas à deflexão do canal em cavas entre cordões litorais; observa-se que o lado oeste é mais íngreme. (C) Canal fluvial abandonado, mas inundado. (D) Antiga foz do Catumbela presentemente inundada. (E) Barra com vegetação no meio do canal da Catumbela responsável pela bifurcação do fluxo; durante a última década só ocorreram mudanças no percurso do canal do rio a jusante desta barra vegetada. (F) Vista para montante do canal fluvial no momento em que este deixa as unidades soerguidas da Bacia de Benguela.

4.1.2.1. Cordões de praia

Os depósitos de praia são tipicamente associados a morfologias alongadas em cordão que são tendencialmente paralelas entre si e podem ser seguidas por centenas de metros, formando mantos com sucessivas cristas intercaladas de depressões (Fig. 4.6). Infelizmente, a geometria da crista encontra-se frequentemente afeiçãoada devido a episódios de erosão/deposição natural ou em resposta a atividades humanas. Alguns destes cordões podem ter estado ligados a restingas. A restinga do Lobito é hoje um elemento fundamental do litoral de Benguela. Trata-se de uma morfologia linear com cerca de 5 km de comprimento e de 350 m de largura máxima, que se desenvolve na extremidade jusante do delta Catumbela, protegendo uma baía larga (até ~ 2 km) e profunda (até ~ 36 m). Hoje a restinga é praticamente rectilínea, mas um mapa de 1842 mostra-a com uma configuração sinuosa (Fig. 4.7B). Os edifícios que ocupam a restinga dificultam o reconhecimento de quaisquer cristas lineares associadas ao seu crescimento.

É possível individualizar três planícies com cordões de praia, separadas por faixas com algumas centenas de metros de largura ligadas à rutura do canal do rio, que se dispõem a maiores altitudes do que os setores a leste são (Fig. 4.5):

1) A planície sul, a sul do atual canal de Catumbela, é formada exclusivamente por depósitos de areia amalgamados; alcança até 3,5 km de largura, estreitando substancialmente para o sul, antes de se fundir com o delta do rio Cavaco, onde se amplia novamente (Dinis et al., 2012).

2) A planície intermediária, que se desenvolve a norte do rio Catumbela, é caracterizada por faixas com cordões de praia intercaladas com setores mais baixos com depósitos de grão fino; alonga-se por uma faixa costeira com aproximadamente 6,5 km de extensão e até 1,5 km de largura.

3) A planície norte está adjacente à Restinga do Lobito; só num setor costeiro estreito (< 500 m) é que exhibe uma sucessão de cristas e cordões, evoluindo para o interior para uma área mais aplanada e de menor elevação onde os cordões de praia são obliterados por antigos canais de delta.

As depressões entre cordões de praia são frequentemente mais amplas nas proximidades dos canais fluviais, atingindo ~50 m, onde se desenvolvem pequenas zonas húmidas com águas salgadas ou salobras (Figs. 4.5A e C). Mais longe dos canais (atuais ou abandonados), as cristas tendem a fundir-se em corpos enriquecidos em minerais pesados (Fig. 4.6A), que provavelmente testemunham grandes quebras no padrão de progradação da frente do delta (Dinis et al., 2017). Os cordões mais jovens, quando próximo do canal atual, exibem perfis assimétricos com as faces viradas à praia mais íngremes que as viradas ao continente (Fig. 4.6B), e suportam relevos que podem alcançar 1,5 m. Mais longe do canal e do litoral, eles tendem a ficar afeiçoados, passando a exhibir morfologias em forma de montículo sem uma assimetria clara.

4.1.2.2. Lagunas inter-cordões e de mangal

Pequenas lagunas ou lagoas de água salobra, salgada ou hipersalina são encontradas nas cavas entre os cordões de praia mais ocidentais perto do canal atual do rio Catumbela (Figs. 4.5A e 4.5B) e em zonas baixas do Mangal do Lobito, no extremo norte do delta (Fig. 4.5F).

As lagunas entre cordões assumem duas geometrias distintas. Podem ser formas lineares, com alguns quilómetros de comprimento, que se desenvolvem do lado norte do canal fluvial, atingindo aproximadamente 200 metros de largura no extremo sul (i.e., próximo do canal fluvial) e tornando-se mais estreitas para o norte. Neste caso, estão provavelmente ligadas a desvios para norte, sob

influência da deriva litoral, do troço terminal do rio (Fig 4.5A). Noutras situações, as lagoas entre cordões não são tão longas (<1 km) e são encontradas em pares com uma forma simétrica, sugerindo a formação em ambos os lados de um antigo canal do rio perto da foz (Fig. 4.5B). Com a exceção de algumas lagoas estreitas em posições mais ocidentais, estas morfologias na área do Mangal do Lobito são mais complexas, devendo refletir múltiplas combinações de faixas de menor altitude ligadas a canais sinuosos e a cavas entre cordões litorais de diferentes orientações.

Devido a intervenções antrópicas, a extensão atual das zonas húmidas é substancialmente inferior à apresentada no passado, como pode ser visto a partir da comparação de imagens de satélite recentes com mapas do início e meados do século XX. Documentos históricos do século XIX, que relatam problemas de sanidade ligados às zonas húmidas e que levaram a uma disposição real da rainha Maria II que ordena intervenções de drenagem no mangal, indicam que os esforços para reduzir as áreas lagunares começaram muito mais cedo.

4.1.2.3. Canais fluviais e distributários

As imagens aéreas das últimas décadas demonstram que o canal principal do rio Catumbela mudou consideravelmente na planície do delta. Atualmente, ele exibe uma largura relativamente constante (~150-250 metros, embora em casos de bifurcação o canal principal possa ser ~100 m; Figs. 4.5A e 4.5C). Após um troço interior do delta com cerca de 2,5 km onde o canal permaneceu quase inalterado, exibindo uma geometria quase linear, a porção jusante caracteriza-se por um canal de sinuosidade maior que se deslocou durante as últimas décadas (Fig. 2.3). Neste setor a jusante, meandros com um raio de meandro de algumas centenas de metros (~350-750 metros) podem ser associados a barras de acreção lateral (Figs. 2.3 e 4.5D). Uma rede de canais distributários relativamente estreitos (geralmente < 50 m) é discernível em várias imagens de satélite ao longo do último km da Catumbela (Fig. 4.5A).

Várias morfologias sinuosas e alongadas com dimensões comparáveis ao canal atual podem ser interpretadas como paleo-canais de Catumbela, enquanto

outras, mais estreitas e de menor raio de meandro, estão provavelmente associadas a canais secundários. Os canais abandonados na planície delta podem ser depressões alongadas ou nivelados com as áreas adjacentes da planície de inundação (Figs. 4.5E e 4.5F). Eles são particularmente comuns em dois cinturões (Fig. 4.8): um que se desenvolve ao longo do percurso atual (a seguir denominado curso E-W) e o outro para o norte entre o ápex do delta e a região do Lobito (o curso SE-NW).

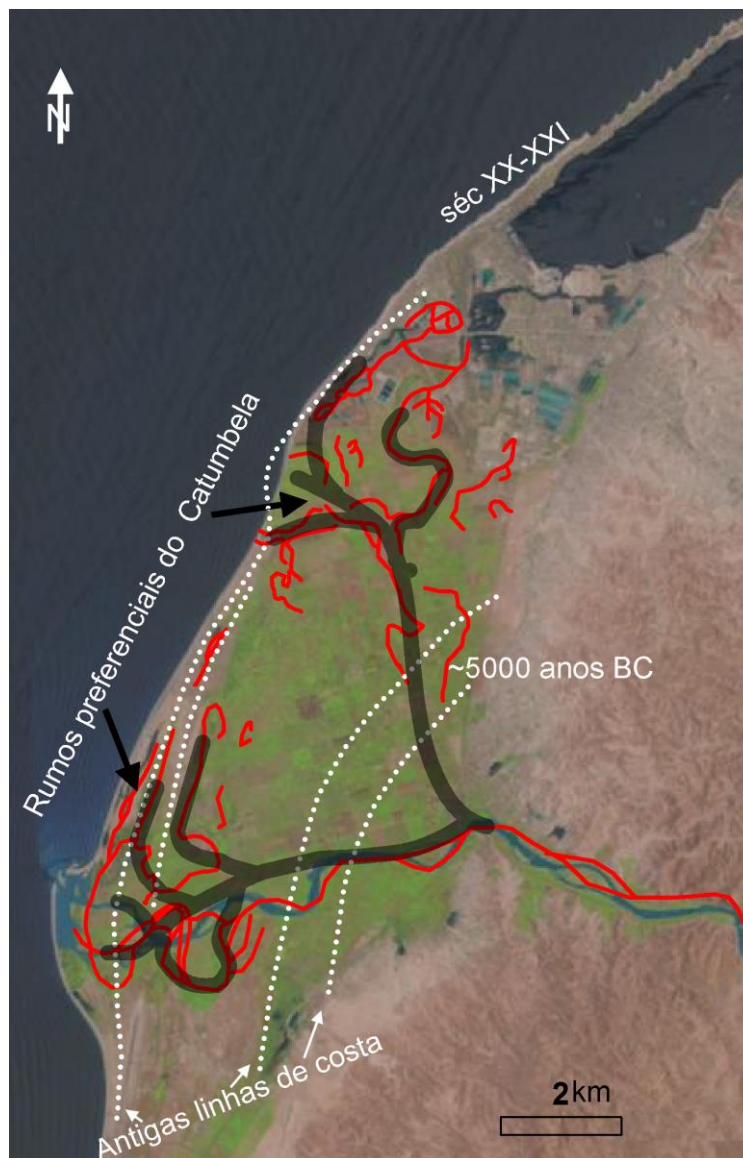


Figura 4. 8. Localização dos rumos preferenciais do rio Catumbela (Huvi et al., 2018). Em cor vermelha apresentam-se canais abandonados visíveis na planície deltaica.

Os (paleo) canais do curso SE-NW divergem a jusante, sugerindo a existência de vários caminhos com drenagem para N ou NW e diferentes embocaduras correspondentes. Dois mapas dos séculos XVIII-XIX (Figs. 4.7A e 4.7D) e a distribuição espacial dos depósitos dos canais nos níveis mais superficiais (Capítulo 5) são evidências suplementares de uma drenagem dirigida a norte no sentido da Região de Lobito. Mapas mais recentes, do século XIX, e outros documentos históricos apontam para um rumo E-W no troço terminal do Catumbela.

4.1.2.4. Planície de inundação e baías inter-distributárias

Extensas porções da superfície deltaica são ocupadas por planícies de inundação ou baías inter-distributárias. Tanto a norte como a sul do canal do Catumbela, essas unidades são frequentemente colocadas a menor altitude que os cordões litorais que se desenvolvem para o oeste e cinturões com canais e paleo-canais. A planície de inundação ocupa uma área maior no flanco a norte do canal atual (até ~4 km de largura e ~8 km de comprimento) sendo intercetada pelo canal atual e por morfologias paleo-canal. No flanco sul ela está restrita a uma faixa alongada muito estreita (< 500 m) entre os cordões de praia e o limite interior do delta.

A planície de inundação/bacias inter-distributárias seja globalmente uma unidade muito monótona e com uma densa cobertura vegetal que dificulta a identificação de áreas geneticamente ligadas a diferentes processos morfogenéticos. Apesar destes fatos, por vezes é possível diferenciar algumas unidades singulares. Por vezes o bordo dos canais encontra-se levemente sobre-elevado por uma faixa de poucas dezenas de metros de largura em relação à planície de inundação adjacente, definindo motas de canal. Estas zonas sobre-elevadas podem ser interrompidas em pontos de descarga dos caudais fluviais e seu encaminhamento para a planície de inundação. No enfiamento destes pontos é possível que se desenvolvam acumulações relacionadas com lóbulos de derrame. Meandros abandonados podem ser o palco de instalação de pequenos

lagos. Estas depressões isoladas no seio da planície de inundação e destacadas dos canais fluviais constituem áreas de baixo hidrodinamismo onde se espera a deposição sedimentos de menor calibre.

4.1.3. Evolução holocénica

O delta do Catumbela é claramente assimétrico e sua morfologia sub-aérea está de acordo com o modelo de Bhattacharya e Giosan (2003) que prevê que os deltas afetados por uma deriva persistente do litoral exibem uma planície litoral com cordões de praia amalgamados no flanco barlamar e cordões de praia intercalados com faixas de menor altitude onde se desenvolvem pequenas lagoas e se depositam finos alimentados pelos caudais fluviais. Contudo, com base na análise geomorfológica da acumulação sub-aérea, é possível perceber que a configuração deltaica mudou durante o Holocénico (Fig. 4.9).

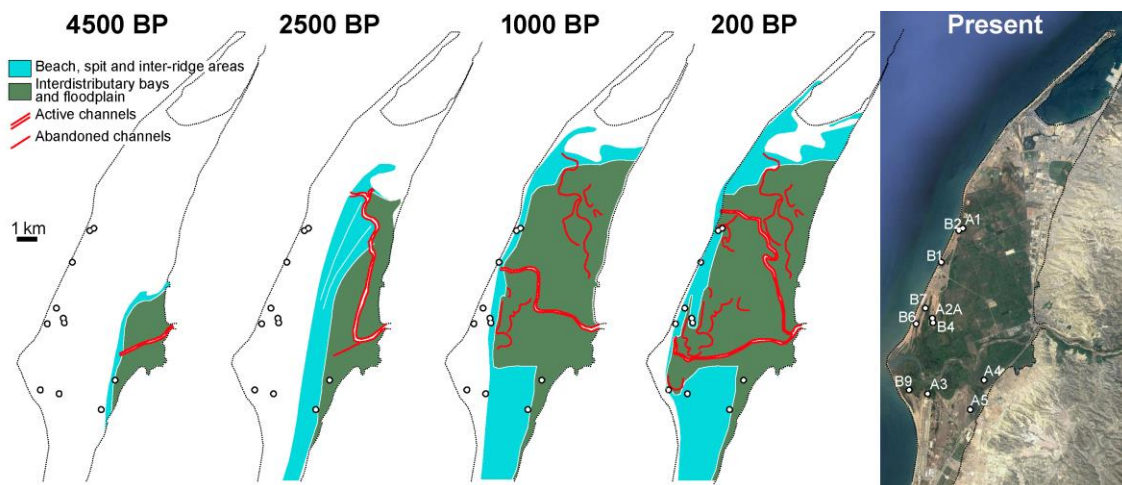


Figura 4. 9. Estágios evolutivos sucessivos do delta de Catumbela após a elevação do nível do mar do Holocénico (Dinis et al., 2018).

4.1.3.1. Construção precoce seguida de migração do rio para norte

A nível global, quando o aumento pós-glacial do nível do mar começou a desacelerar, teve lugar um período de construção deltaica (Stanley & Warne, 1994). As amostras datadas por radiocarbono mostram que as fases iniciais de construção do delta sub-aéreo do rio Catumbela também ocorreram durante esse

período de tempo (~ 7 ka BP). A curva de variação do nível do mar para o Quaternário terminal no sul da África aponta para um declínio na taxa de subida após ca. 8,0 ka e um máximo do nível do mar da ordem de 3,5 m aos. 4,5 ka (Ramsay, 1996; Ramsay e Cooper, 2002).

Para além do nível do mar, as condições climáticas podem ter promovido a construção do delta, já que as etapas iniciais do prédio se enquadram no “African Humid Period” (DeMenocal et al., 2000; Chase et al., 2010), quando o clima regional se tornou húmido e quente (Gingele, 1996; Shi et al., 1998; Dupont et al., 2008), promovendo assim a erosão nas bacias hidrográficas e a descarga de sedimentos pelo rio Catumbela.

Numerosos autores concordam que, após o período húmido referido acima, as condições climáticas na África Austral tornaram-se substancialmente mais secas por volta dos 3,0 ka (p. ex., Alexandre et al., 1997; Vincens et al., 1998; Dupont et al., 2008; Chase et al., 2010; Sletten et al., 2013), ainda que o intervalo de tempo para este período seco não seja consensual, sendo provável que este se manifeste de forma espacialmente variável (ver Burrough e Thomas, 2013). É provável que a deterioração climática ocorrida aos 3-2 ka tenha promovido a deflexão do canal do Catumbela para norte. Com base na ocorrência de associações malacológicas de água doce (Maia, 1937) e no reconhecimento de meandros abandonados na planície de inundação perto de Lobito (Maia, 1937, Carvalho, 1963), já foi defendido que a foz do rio Catumbela esteve localizada na região do Mangal do Lobito. Naquela época, a acumulação de delta de Catumbela continuaria a crescer, mas sem grandes protuberâncias litorais em torno da foz do rio, como é esperado em condições de forte transporte marítimo e redução do abastecimento de rios (Anthony, 2015).

A morfologia atual das áreas inundadas e emersas do Mangal do Lobito será determinada fundamentalmente pela localização de canais fluviais e depósitos de praia, alguns ligados a restingas ou pequenas ilhas, formados durante esta fase. Essas formas litorais foram posteriormente reformadas pelas correntes fluviais e

costeiras durante a progradação do delta, tornando muito difícil a sua reconstrução.

4.1.3.2. Migração do canal fluvial para sul

A cerca de 4 km ao norte da atual embocadura encontra-se uma antiga foz do rio Catumbela (datada de há cerca de 1,45 ka) (Dinis et al., 2018) é o mais antigo testemunho da drenagem através do curso E-W. Se é certo que o canal terá tido um rumo dirigido a norte e que a foz se situou nas proximidades do Lobito, o momento e forma como se fez a deslocação para sul permanecem incertos. Mapas do século XVIII e início do século XIX mostram um canal fluvial desviado para o norte (Fig. 4.7), mas a configuração dos cordões litorais em articulação com os dados das datações (Dinis et al., 2018) e o roteiro do litoral de Africa de Castilho (1866) sugerem que, nos séculos XVII a XIX, o curso E-W também estaria ativo. Parece, pois, que a migração para o sul do canal do rio não se deu de forma regular, tendo sido interrompida por inversões. Também se pode assumir que os dois cursos definidos atrás (E-W e SE-NW), com as desembocaduras correspondentes separadas de vários quilômetros, podem ter coexistido durante alguns períodos (Fig. 4.10).

Documentos históricos e imagens aéreas indicam que, pelo menos a partir de meados do século XIX, manteve-se o curso E-W. Durante este período ocorreu progradação localizada na proximidade da foz com desenvolvimento de pequenas protuberâncias. Pequenas mudanças menores no percurso final do rio (últimos 2 km) durante as últimas décadas (Fig.4.10) tiveram correspondência com mudanças na configuração do litoral (Dinis et al., 2012, 2017).

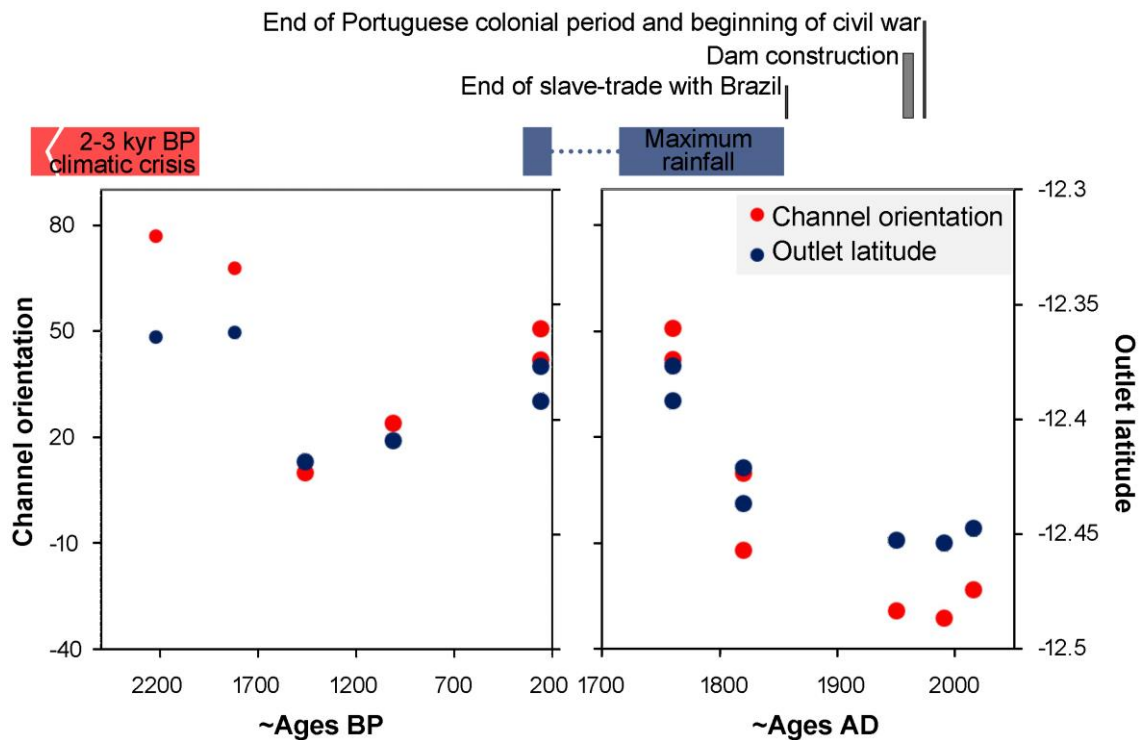


Figura 4. 10. Mudança na orientação do canal e da latitude da foz do rio Catumbela. Orientação do canal definida como o ângulo entre linha do canal no último troço de vale encaixado em rochas da Bacia de Benguela antes de entrar na planície do delta e a orientação geral na planície do delta. Valores negativos indicam rotação no sentido barlarim (updrift). Círculos menores referem-se a idades mal conhecidas. Idades BP recalculadas com referência a 2018 (Dinis et al., 2018).

4. 2. Ocupação humana do delta do Catumbela

4.2.1. História da presença humana

O primeiro grande assentamento colonial no litoral de Benguela foi fundado em 1617 por Manuel Cerveira Pereira na baía situada entre os rios Cavaco e Catumbela, tendo então sido denominado de S. Filipe de Benguela em homenagem a D. Filipe II (Filipe III de Espanha). Muitas características desta região litoral já eram conhecidas dos navegadores ibéricos. No final do século XVI já tinha sido criada uma missão em Benguela e promovida uma aliança com o rei local, havendo então relatos de avultadas riquezas minerais na região, em particular de cobre. Cerveira Pereira terá escolhido este local por aqui se encontrar uma baía com algumas dezenas de quilómetros de praia que constituiria abrigo e embarcadouro adequado para dezenas de navios.

Castilho (1866) sugere que a Baía do Lobito, cuja entrada se encontra hoje cerca de 35 km mais para norte, não terá sido escolhido por não haver água doce; refere ainda que ela não é perceptível a 4 milhas ao largo, facto que também poderá justificar a não opção por este local. Entretanto, Benguela revelou-se um local insalubre, acabando mesmo por ser conhecida como a “sepultura do homem branco”. A frequência de paludismo, entre outras doenças, a escassez de água, a presença de feras que chegavam a divagar pela cidade e os conflitos com as populações indígenas terão contribuído para este epíteto.

Parece particularmente surpreendente a escolha de um local condicionado por um rio com carácter torrencial onde a disponibilidade de água era difícil de assegurar quando a foz do Catumbela estava tão próxima. Sugerimos aqui que condições geomorfológicas locais distintas das atuais condicionaram as opções dos primeiros colonos e que a rejeição de um ponto mais próximo do rio Catumbela para os primeiros assentamentos coloniais se deve à grande instabilidade da foz deste rio, num período de grande humidade em que havia uma forte tendência para migração do canal para sul (como se discutiu acima).

Apesar das dificuldades encontradas em Benguela, ela continuou a ocupar um papel fulcral para as trocas comerciais no Atlântico Sul. A sua relativa proximidade do Brasil, em particular do Rio de Janeiro, que se encontrava muito necessitado de mão-de-obra e a cerca de metade da distância de Lisboa e, mais tarde, as invasões francesas com a transferência da corte para o Brasil, contribuíram para dar a Benguela uma vocação de porto escravagista. A economia regional acaba por sofrer uma alteração quando se dá a proibição de entrada de escravos no Brasil, passando a promover-se o comércio de produtos agrícolas e minerais dos sertões de Angola. É de admitir que esta alteração terá tido consequências no uso de solos e na produção de sedimentos, sendo acompanhada de um incremento na progradação do delta e de um claro crescimento da restinga do Lobito, que está geneticamente associada ao delta. No que respeita à restinga, uma planta de 1842 (mandada levantar pelo Governador Geral da Província de Angola, José Bressane Leite) mostra uma

restinga com cerca de 2 km, surgindo depois nas cartas topográficas da década de 1950 já com cerca de 5 km, comprimento que se manteve praticamente inalterado até à atualidade. O delta também progradiu de forma clara durante o último século, mas, com os dados disponíveis, não é claro se os volumes depositados por unidade de tempo sofreram de facto um aumento.

Com o tempo, a construção deltaica e a restinga do Lobito viram crescer a sua importância regional. Em meados do século XIX considerava-se a transferência da sede da província de Benguela para o Lobito, tendo havido uma disposição régia nesse sentido, e propunham-se diversas medidas de beneficiação do delta, como a artificialização do canal do rio e a destruição do mangal (Portaria de 28 de março de 1843, assinada pela Rainha D. Maria II). No início do século XX, a construção do Caminho de Ferro de Benguela e do porto do Lobito, beneficiando da excelente baía natural gerada com o desenvolvimento da restinga do Lobito, foram fundamentais para o crescimento económico que se seguiu (Cecílio, 2013). Para além das condicionantes físicas acima referenciadas, a presença de massas de água doce, quer superficiais (ligadas aos rios) quer subterrâneas, serão uma condição fundamental à ocupação e evolução das comunidades humanas nesta região litoral. Facilmente se reconhece que numa fase inicial terá havido preferência pelo aproveitamento direto do escoamento superficial. Contudo, com o aumento de consumos e com a procura de maior estabilidade e qualidade dos recursos hídricos, multiplicaram-se as captações de águas subterrâneas.

4.2.2. Condições atuais de uso e ocupação

A relação entre meio ambiente e desenvolvimento da actividade humana deve estar ligada à necessidade da adopção de atitudes fundamentadas e sustentáveis aos valores sociais, económicos e ambientais.

No que se refere à ocupação do solo, de modo geral, a superfície da aluvião é ocupada com actividades agrícolas e, dispersamente, intercaladas com aglomerados habitacionais e vias de comunicação, infra estruturas industriais,

infra estruturas de apoio aos serviços de camionagem, estabelecimentos comerciais, entre outros (Fig. 4.11).

Tendo em conta as características da ocupação do solo, a área em estudo pode ser dividida em três sectores (Fig. 4.12):

1. Setor norte: corresponde à zona que fica entre o casco urbano da cidade do Lobito e a vala de drenagem das águas residuais da cidade do Lobito. Neste sector destacam-se as salinas, os mangais, a Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) do Lobito, os campos agrícolas e algumas residências dos agricultores.

2. Setor central: è caracterizado por duas formas de ocupação antrópica. (i) subsector centro leste, ocupado por habitações, estações de serviços de camionagem (parques de estacionamento, estações de serviço, oficinas, etc.), armazéns, estabelecimentos comerciais, indústrias de bebidas (Coca Cola e Cuca). Neste subsector - extremo este - onde localizam-se alguns sistemas de abastecimento de água para o consumo (Sistema de captação do campo de 4 furos da Zona Velha, Sistema de captação do campo de 5 furos do Tchiúle e a captação superficial através de açude implantado no canal do rio Catumbela). (ii) Subsector centro oeste, distingue-se pela ocupação da atividade agrícolas, desenvolvida em sistema de regadio com uso de fertilizantes.

3. Sector sul: compreende toda zona que fica na margem esquerda do rio Catumbela. Neste sector desenvolve-se mais a actividade agrícola. A parte do seu espaço que contacta com o mar é ocupado pelo Aeroporto Internacional da Catumbela e no seu contacto com o soco situam-se aglomerados habitacionais, infra-estruturas industriais e comerciais (Industria cerâmica, bombas de combustível, estações de serviço, etc.).

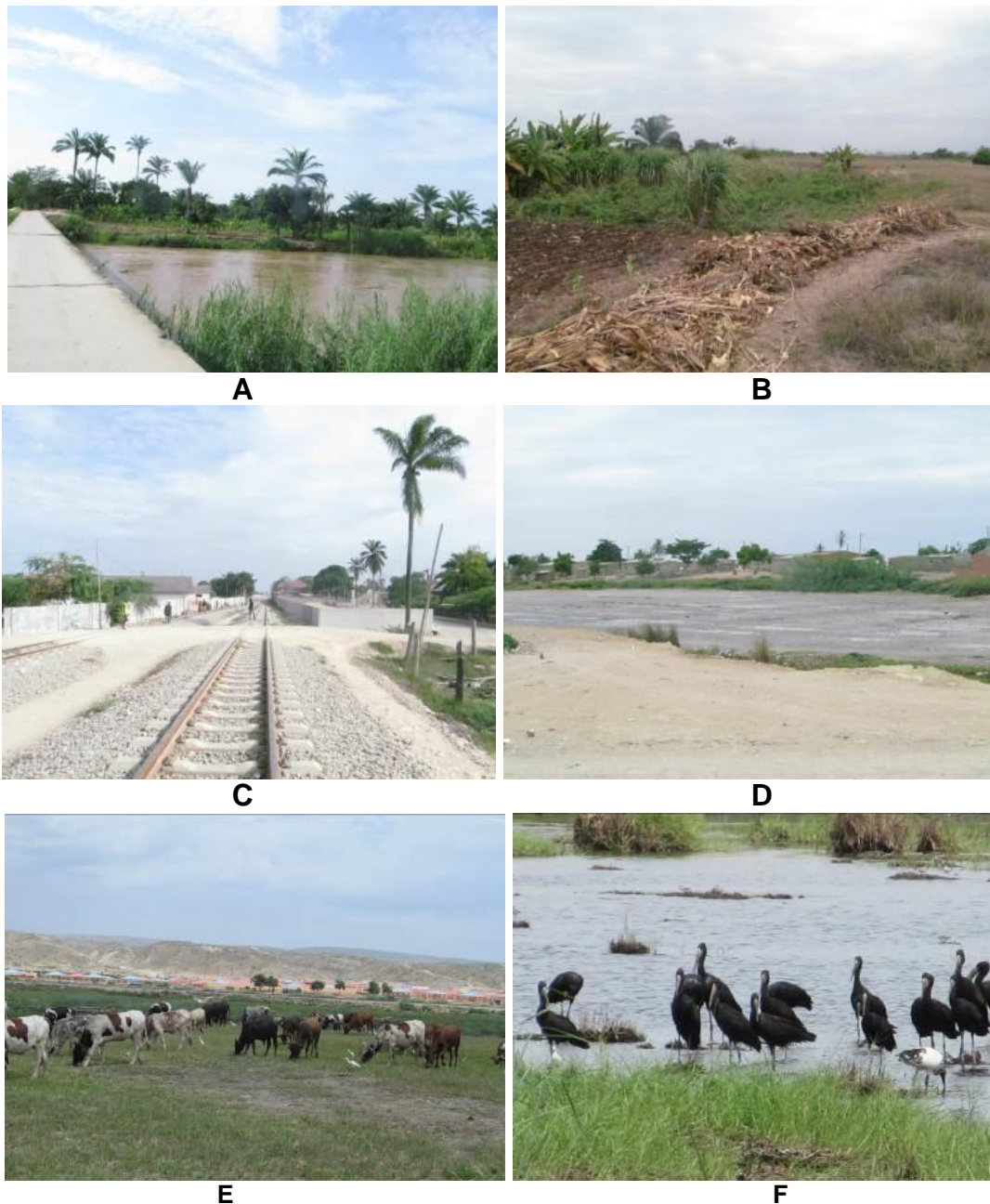


Figura 4. 11.Exemplos das forma de ocupação do solo no DDRC. (A) Sector do canal do rio Catumbela atravessado pela ponte que serve de via de comunicação entre as duas margens no transporte de produtos agrícolas. (B) Campos agrícolas. (C) setor do polo de desenvolvimento industrial da Catumbela atravessado pela via internacional do Caminho de Ferro de Benguela. (D) Mangal que serve de evacuação de resíduos domésticos produzidos na comuna da Praia Bebê. (E) Ocupação por habitações e desenvolvimento pecuário (F) Aves sazonais do ambiente deltaico.

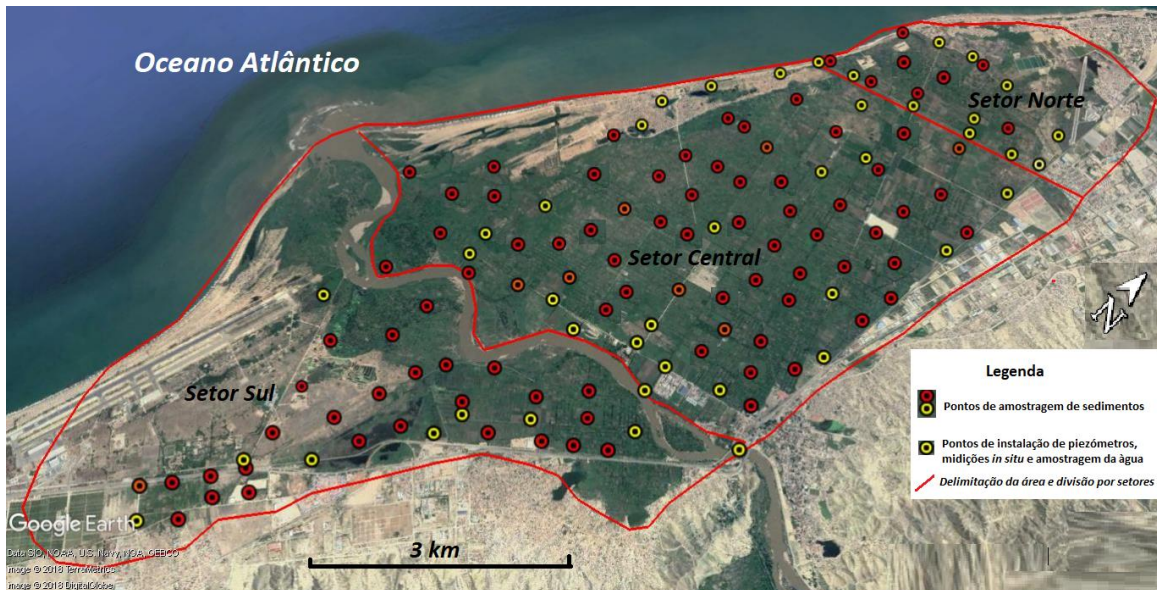


Figura 4. 12. Fotografia aérea (in Google Earth) expressando o uso, a ocupação do solo e a distribuição espacial dos pontos que serviram de estudo no DDRC.

4.2.3. Atividades e fontes potencialmente contaminantes

A qualidade de vida do homem é uma consequência directa da qualidade ambiental (Seiffert, 2009). Antes de referir as actividades e fontes potencialmente contaminantes da água, recordamos que, a Lei de Base do Ambiente em Angola (Lei nº 5/98 de 19 de junho) define “impacto ambiental” como sendo qualquer mudança ambiental, positiva ou negativa, especialmente com efeitos no ar, na terra, na água, na biodiversidade e na saúde das pessoas, resultante de actividades humanas.

A Resolução Conama - Resolução 001/86 -, define como “impacto ambiental” qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das actividades antrópicas que, directa ou indirectamente, afectam: I – a saúde, a segurança e o bem-estar da população; II – as actividades sociais e económicas; III – a biota; IV – as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e V – a qualidade dos recursos ambientais.

De acordo com a Lei Base da Política de Ambiente de Portugal (Lei n.º 19/2014) considera-se “ofensa ecológica” todo o acto ou facto humano, culposo ou não,

que causa a poluição atmosférica, perturbação dos níveis de luminosidade, a poluição hídrica, a danificação do solo ou do subsolo, a danificação da flora, a ofensa da paisagem, a poluição sonora, e a poluição química.

Ao olhar para estes conceitos, chama-nos a atenção de que todas as actividades que o homem desenvolve devem ser analisadas cuidadosamente e buscar alternativas que concorram para a protecção, preservação e conservação do meio ambiente.

Como factores potencialmente impactantes do meio ambiente e particularmente das massas de água do DDRC destacam-se:

- A actividade agropecuária, que ocupa a maior parte do espaço e, de forma pontual;
- A actividade salineira;
- Os serviços de tratamento de águas residuais;
- O esvaziamento de águas residuais nos mangais;
- A instalação de fossas sépticas;
- A instalação de parques de estacionamento;
- Os serviços de lavagem de viaturas e oficinas;
- As indústrias transformadoras, a instalação da Indústria cerâmica;
- As bombas de combustível, estações de serviço, etc;

De modo geral, de entre as várias consequências ambientais que podem resultar dos elementos antrópicos que ocupam o DDRC, destacam-se as seguintes:

- A progressiva degradação do ambiente ecológico de mangais situados junto à cidade do Lobito contribui grandemente para a extinção das espécies. Os mangais são zonas de elevada produtividade costeira local, como sustenta Schaeffer-Novelli (1982). As áreas de mangais são representantes de todos os elos da cadeia alimentar.

- A poluição das águas superficiais e subterrâneas devido ao destino incorrecto de parte das águas residuais domiciliar. Este facto deve-se à urbanização e saneamento básico deficientes em alguns bairros emergentes nos municípios do Lobito e Catumbela.

A ETAR desempenha um grande papel na acomodação de resíduos, tendo em conta a sua função mitigadora como rede colectora de esgotos, mas é necessário avaliar os impactos que pode causar para as populações vizinhas. Como já referido, a zona está afectada pelo crescimento de infraestruturas habitacionais. Actualmente há maior proximidade entre as habitações residenciais e a ETAR. Este facto promove a afectação de solos com boa aptidão agrícola, afectação de áreas de elevado interesse ecológico e contribui para a degradação da qualidade do ar em áreas residenciais.

- O impacto ambiental da actividade agrícola generaliza-se para todos os sectores definidos neste trabalho devido à erosão hídrica promovida pelas práticas inadequadas de manejo agrícola e pelo facto de serem utilizados processos de irrigação inadequados e quantidades excessivas de produtos químicos (herbicidas e fertilizantes químicos), pode ser considerada como a grande responsável pela degradação intensa do solo e das águas. Os produtos químicos usados contaminam os solos e, conseqüentemente, através da infiltração, contaminam-se as águas subterrâneas.

- O escoamento superficial proveniente da rede rodoviária e das zonas urbanas constitui também outra fonte a considerar na contaminação de solos e águas subterrâneas.

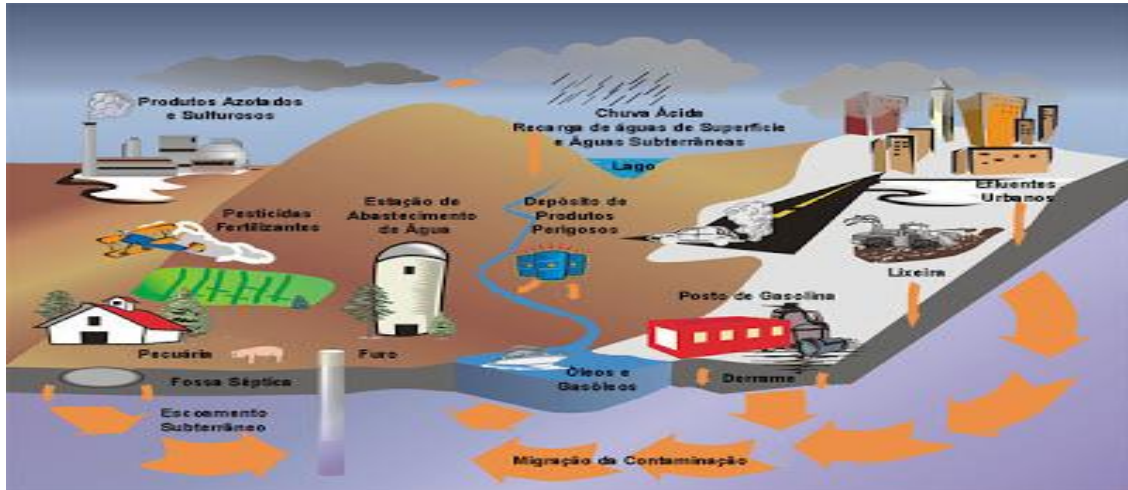


Figura 4. 13. Processos mais comuns de poluição das águas (The World Bank, 2002).

A vulnerabilidade ambiental das águas subterrâneas do aluvião do rio Catumbela está dependente dos processos comuns de poluição das águas (Fig. 4.13). Tendo como base as formas de ocupação do solo (Tabela 4.1), conjugadas com a classificação feita pelo The World Bank (2002) referente aos problemas de qualidade da água subterrânea, destacam-se os impactos relativos à poluição dos aquíferos que podem ocorrer nos pontos em que a carga contaminante gerada no subsolo por emissões e lixiviados produzidos pela actividade humana (provenientes de actividades urbanas, industriais e agrícolas) é inadequadamente controlada e, em certos componentes, excede a capacidade de atenuação natural dos solos e das camadas de cobertura.

Tabela 4. 1. Atividades e factores potencialmente contaminantes da água subterrânea na área em estudo

Potencial contaminante	Tipo de contaminante (segundo <i>The World Bank</i> , 2002)
Atividade agrícola	Nitrato; amônio; pesticidas; organismos fecais
Águas residuais domésticas	Nitrato; hidrocarbonetos halogenados; microorganismos
Águas residuais de estações de serviço	Hidrocarbonetos aromáticos e halogenados; benzeno; fenóis
Disposição de resíduos sólidos a céu aberto	Amônio; salinidade; hidrocarbonetos halogenados; metais pesados
Resíduos de indústrias transformadoras	Tricloroetileno; tetracloroetileno; hidrocarbonetos halogenados; fenóis; metais pesados

Baseando-se nos indicadores de impacto ambiental acima descritos, é possível aferir que no DDRC podem ocorrer diversos processos comuns de poluição da água subterrânea. Estes podem levar a contaminação em microrganismos peptógenos, nitrato ou amónio, cloreto, sulfato, boro, arsénico, metais pesados, carbono orgânico dissolvido, hidrocarbonetos aromáticos e halogenados, certos pesticidas principalmente microrganismos patogénicos principalmente cloreto de sódio, fluoreto e ferro solúvel, sulfato de magnésio, arsénico, manganês, selénio, crómio entre outros.

CAPITULO 5. CARACTERIZAÇÃO SEDIMENTOLÓGICA DOS DEPÓSITOS ALUVIONARES

Apresentam-se aqui os resultados da investigação sobre a arquitetura deposicional do delta do Catumbela, com enfoque especial para os padrões de variação textural e composicional. Estes resultados são fundamentais para reconstruir a sua evolução histórica e obter um bom entendimento das relações entre a dinâmica marinha e fluvial do delta do Catumbela, contribuindo assim para melhor prever a evolução futura e definir estratégias de planeamento das ações do Homem.

5.1. Unidades sedimentares

As unidades sedimentares identificadas no depósito deltaico do rio Catumbela (DDRC). foram classificadas em oito fácies (A-H) com base em: (1) distribuição granulométrica (Tabela 5.1), (2) grau de arredondamento da fração arenosa, (3) composição mineralógica e (4) estruturas sedimentares identificáveis. Dentro de alguns agrupamentos definidos existem amostras com características específicas que levaram a uma sub-classificação.

5.1.1. Fácies de canal fluvial ou distributário (A e B)

5.1.1.1. Descrição

Os sedimentos de fácies A e B, foram amostrados maioritariamente a profundidades superiores a 1 m e encontram-se em quase todo o depósito aluvionar, tanto nas proximidades como a grandes distâncias do canal fluvial atual. São especialmente frequentes próximo do limite interior do depósito deltaico e em duas faixas principais: uma em torno do canal atual e outra num corredor que se desenvolve para o norte e que liga o Lobito ao local onde o rio deixa o vale encaixado em unidades da Bacia de Benguela e entra na planície flúvio-deltaica (Fig. 5.1).

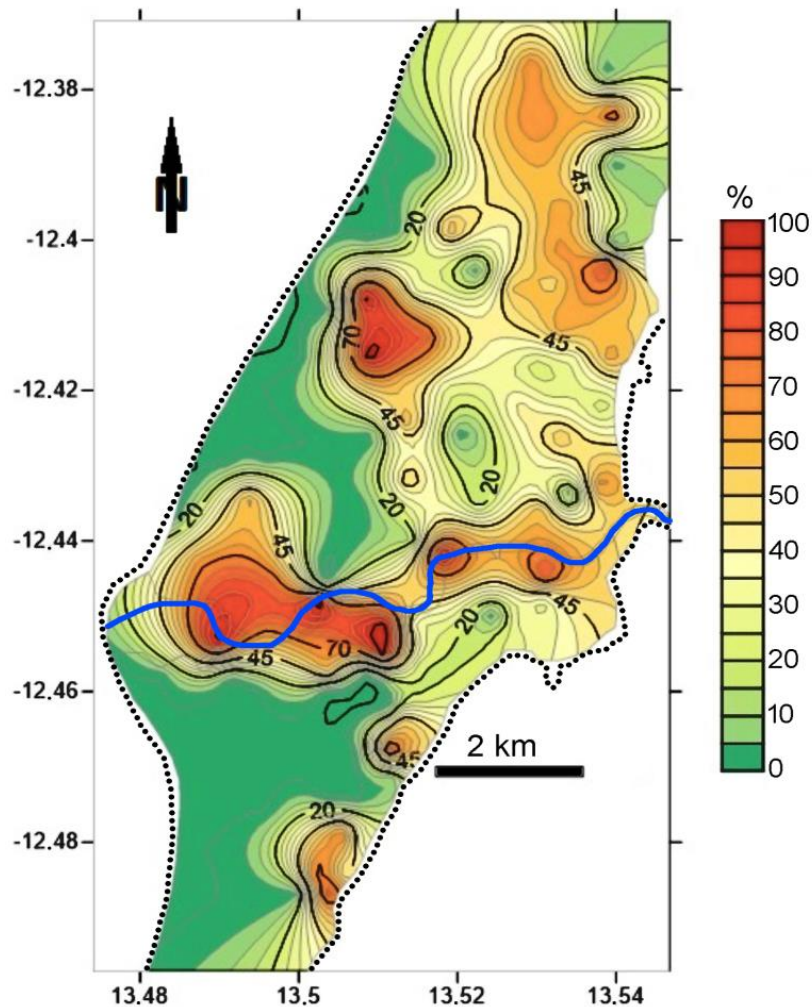


Figura 5. 1. Percentagem de sedimentos fluviais (fácies A e B) nos níveis superiores do depósito deltaico, a linha verde, representa o canal do rio Catumbela.

Os sedimentos de fácies A são os mais grosseiros amostrados no delta (Tabela 5.1 e Fig. 5.2). São compostos maioritariamente pela fração areno-cascalhenta (geralmente superior a 95%), apresentando uma moda principal na gama da areia grossa e incluindo frequentemente quantidades significativas de seixo e cascalho (até 17 %) que constitui uma segunda moda. Trata-se de sedimentos mal calibrados e com partículas arenosas sub-arredondadas a angulosas. Não foi feita análise por DRX destes sedimentos, mas a análise à lupa revelou, para além de um domínio de quartzo, quantidades significativas de feldspatos e fragmentos líticos.

Tabela 5. 1. Valores estatísticos da fácies sedimentares da área estudada (dados originais no anexo 1)

Fácies		Enchimento do Canal		Inundação/lacustre			Laguna	Praia	
Granulometria (%)		A	B	C	D	E	F	G	H
Argila	Mínimo	0,0	0,0	1,9	2,0	17,0	3,6	1,4	0,5
	Máximo	0,7	3,6	7,1	15,0	44,7	15,2	4,3	2,0
Silte	Mínimo	0,0	0,0	16,5	22,0	55,3	33,8	8,8	1,7
	Máximo	5,6	30,6	33,4	70,9	73,9	44,4	36,2	7,5
Areia	Mínimo	0,0	0,0	62,3	13,9	0,0	40,4	59,6	82,1
	Máximo	98,3	96,8	81,7	75,0	10,8	62,0	84,0	97,8
Cascalho	Mínimo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Máximo	39,5	27,6	0,0	7,6	0,0	4,4	5,8	13,6
Argila e Silte	Mínimo	0,0	0,0	18,4	24,0	89,2	38,0	10,2	2,2
	Máximo	6,3	33,6	37,6	85,8	100,0	59,6	40,5	8,5
Areia -Cascalho	Mínimo	0,0	0,0	62,3	13,9	0,0	40,4	59,6	91,5
	Máximo	100,0	96,8	81,7	76,0	10,8	62,0	89,8	97,8
Total de amostras		9	34	8	49	9	4	3	9

Os sedimentos da fácies B são mal calibrados, com predomínio de areia grossa a média (até 97%), integrando também quantidades significativas de fração silto-argilosa (até 34%) e, por vezes, algum seixo (até 28 %).

É possível reconhecer duas populações, identificadas por modas granulométricas próximo de 1 mm e de 0,125-0,063 mm. Com base nas distribuições granulométricas, considera-se uma subdivisão em dois sub-grupos: B1, em que a componente areno-cascalhenta é claramente dominante (82-96 %); B2, que geralmente apresenta mais de 20% de fração silto-argilosa e, em alguns casos, quantidades significativas de matéria orgânica que lhes confere cor cinzenta.

De um modo geral esta fácies caracteriza-se por um domínio de partículas sub-arredondadas ou angulosas. Trata-se de sedimentos enriquecidos em quartzo, podendo apresentar ocasionalmente grandes quantidades de filossilicatos, geralmente dominantes na fração silto-argilosa, feldspatos e carbonatos (sobretudo calcite e dolomite). A fração argilosa apresenta composição diversa, podendo predominar mica-ilite, caulinite ou esmectite (Fig. 5.3).

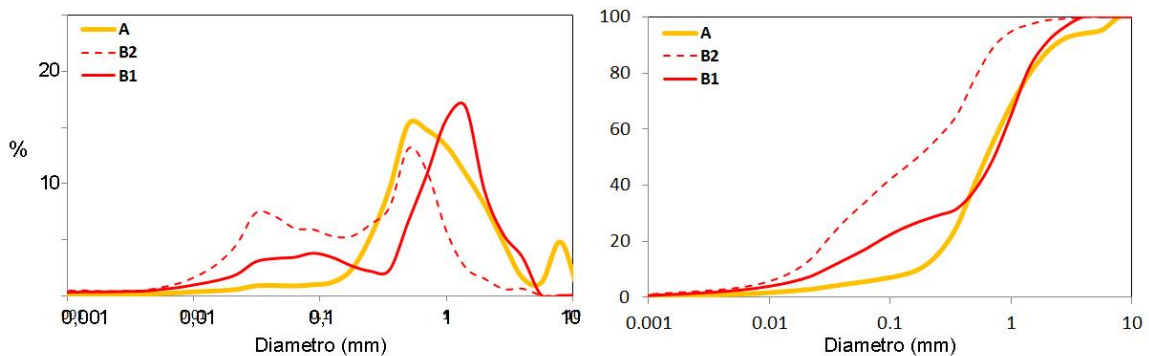


Figura 5. 2. Curvas de distribuição granulométrica características dos sedimentos de canal fluvial ou distributário (fácies A e B).

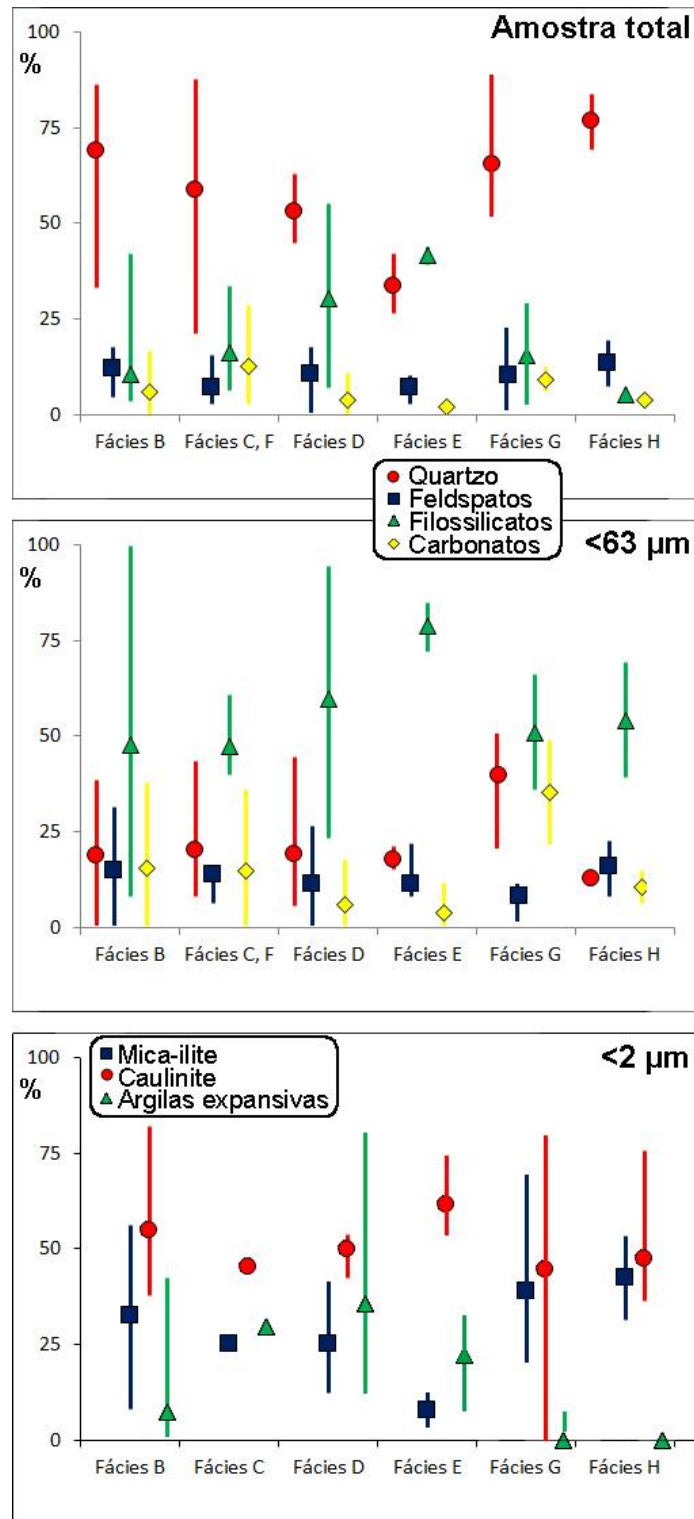


Figura 5. 3. Composição mineralógica, obtida por DRX, das fácies identificadas. Apresentam-se os valores médios e a gama composicional entre máximos e mínimos (dados originais no anexo 2) (Huvi et al., 2018).

5.1.1.2. Interpretação

O carácter grosseiro e mal calibrado e o predomínio de elementos pouco arredondados da fácies A sugerem fluxos energéticos em canais fluviais. Em contrapartida, a presença de uma população silto-argilosa na fácies B e o carácter menos grosseiro da população areno-cascalhenta apontam para deposição em posições menos expostas à corrente fluvial.

Localizações próximo da margem dos canais, eventualmente nas suas motas, a jusante de formas de fundo ou protegidas por áreas vegetadas podem promover condições menos hidrodinâmicas que favoreceram a deposição de partículas finas. Independentemente da posição no canal, o carácter bimodal aponta para uma mistura de populações associadas a condições dinâmicas distintas.

A grande variabilidade composicional, em particular em termos de quartzo e filossilicatos, deve refletir contributos variáveis de sedimento proveniente de diferentes áreas da bacia de drenagem a par de fracionamento hidráulico em função das condições dinâmicas locais.

5.1.2. Fácies de planície de inundação (C a F)

5.1.2.1. Descrição

As fácies de planície de inundação são encontradas em diferentes posições do corpo deltaico, tanto no interior como próximo da linha de costa, e predominam no enchimento sub-superficial (primeiros 1-2 m). São particularmente comuns entre as faixas onde os sedimentos de enchimento de canal se revelam dominantes (Fig. 5.4). Foram consideradas 4 fácies (C, D, E e F).

Os sedimentos de fácies C apresentam uma distribuição granulométrica relativamente simples (Fig. 5.5), fundamentalmente arenosos (62-82% areia), e sem fração cascalhenta. A classe modal é variável, mas sempre na gama de areia fina a muito fina. São geralmente dominadas por quartzo, na amostra total, e por filossilicatos, na fração argilosa (Fig. 5.3).

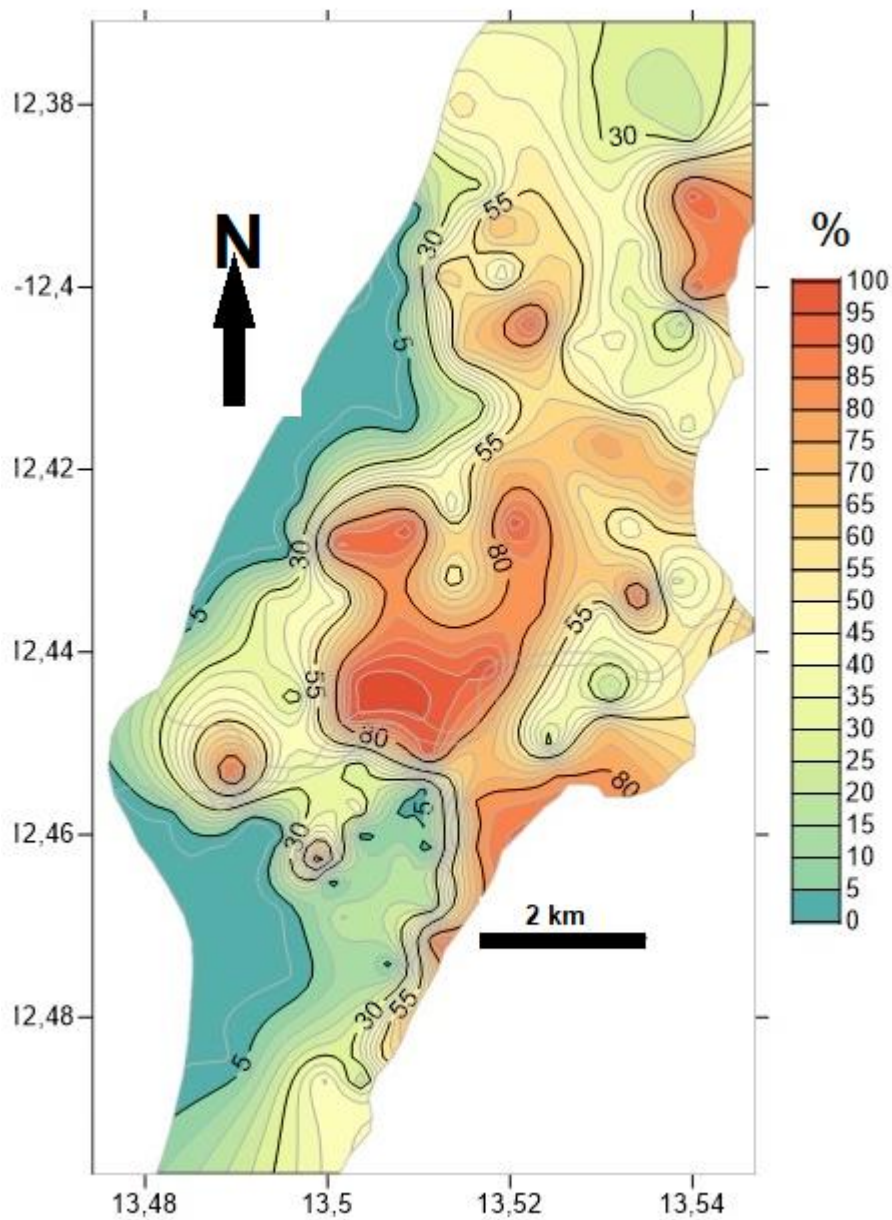


Figura 5. 4. Percentagem de sedimentos de planície de inundação (fácies C, D, E, F) no depósito deltaico.

A fácies D é a mais comum de entre o conjunto dos sedimentos de grão fino. Distribui-se por quase todo o depósito aluvionar, com maior destaque no sector centro-norte, e é particularmente comum no topo do enchimento. Trata-se frequentemente de sedimentos bimodais, integrando uma população bem

pronunciada na gama de areia muito fina a silte e outra, menos relevante, na gama de areia média a grosseira (Fig. 5.5). É possível considerar 3 sub-grupos.

O sub-grupo D1 caracteriza-se por apresentar uma moda da população silto-arenosa na gama de areia fina (~0,1-0,125 mm) e maiores quantidades de areia (53-75%) que da fração silto-argilosa (24-47%).

O sub-grupo D2 apresenta uma moda da população silto-arenosa mais fina, já na gama de silte, integrando geralmente menores quantidades de areia (24-53 %) que as amostras do sub-grupo D1.

O terceiro sub-grupo, D3, pode ser unimodal ou bimodal, com a(s) moda(s) posicionada(s) sempre na transição areia-silte, apresentando quantidades similares destas duas frações.

Os sedimentos apresentam cores variáveis. Por vezes é possível reconhecer estruturas laminares sub-horizontais marcadas por contrastes granulométricos. As fácies D são geralmente dominadas por quartzo, apresentando quantidades muito variáveis de filossilicatos, que se revelam mais abundantes nas frações silto-argilosa (Fig. 5.3). A fração argilosa é geralmente dominada por ilite e caulinite.

A fácies E é encontrada em diferentes posições da acumulação sedimentar. Quando próximo da superfície surge associada a canais abandonados ou outras depressões no seio do delta. Tratam-se dos sedimentos mais finos amostrados no delta (Fig. 5.5). Destacam-se pela presença duma moda única da ordem de 16 μm , sendo compostos sobretudo por silte (55%-74%), argila (17-45%) e quantidades menores de areia (<11%). São tendencialmente maciços e apresentam tonalidade acinzentada, mais ou menos escuras, ou avermelhadas. Tratam-se de sedimentos compostos fundamentalmente por filossilicatos e quartzo (Fig. 5.3). Na fração argilosa nota-se um claro domínio da caulinite sobre as argilas expansivas e a mica-ilite.

Os sedimentos de fácies F são encontrados pontualmente em diferentes posições do delta. São sedimentos tendencialmente finos (Fig. 5.5), por regra

sem fração maior que 2 mm, que tanto podem ser dominados por partículas arenosas (40-62%), como silto-argilosas (38-60%). As curvas de distribuição parecem resultar de mistura de sedimentos com fácies B, D e E.

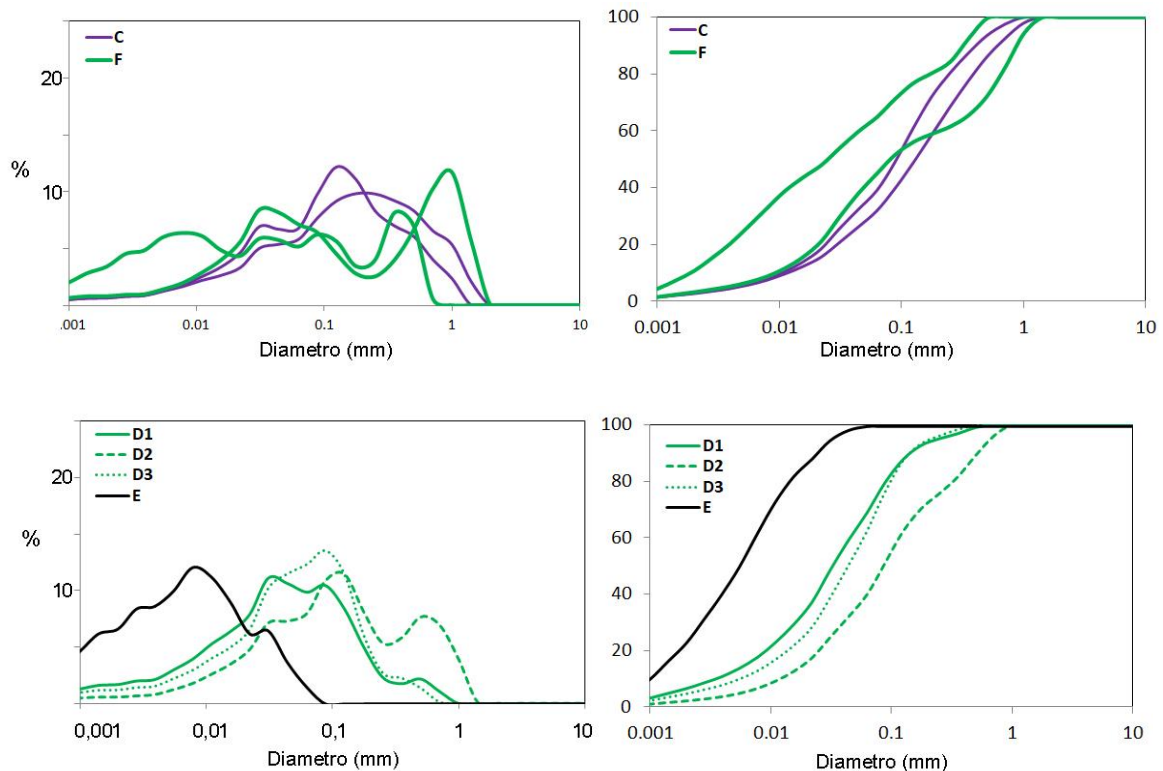


Figura 5. 5. Curvas de distribuição granulométrica dos sedimentos de planície de inundação (Fácies C, D, E e F).

5.1.2.2. Interpretação

As fácies C a F estão relacionadas com deposição em planície de inundação. As unidades de fácies D, com o seu carácter frequentemente bimodal e a presença de laminação horizontal são características de depósitos de inundação das áreas envolventes dos principais canais (Bridge 2003; Miall 2013).

A fácies E é atribuída a deposição por decantação lenta em regiões deprimidas de muito baixo hidrodinamismo no seio da planície deltaica, como pequenos lagos ou lagunas destacadas dos canais. O facto de surgirem próximo da

superfície topográfica em associação com meandros abandonados suporta esta hipótese.

A fácies C e F são menos comuns, sendo encontradas apenas esporadicamente, surgindo, por vezes associadas entre si. Atribuímos a fácies C ao transporte por correntes pouco competentes em locais onde a altura da coluna de água é muito reduzida, eventualmente em pequenos canais efémeros na zona de transição da planície de inundação para os canais distributários ou fluviais maiores.

As características granulométricas da fácies F também apontam para deposição em ambientes de transição, da planície de inundação proximal (fácies D) para posições protegidas dos canais fluviais (fácies B) ou para áreas ocasionalmente alagadas de baixo hidrodinamismo (fácies E). É provável que no primeiro caso se associem à formação de depósitos do tipo lóbulo de derrame (“crevasse splay”; Miall, 2013). Estes depósitos seriam alimentados por pequenos canais formados aquando do galgamento das motas marginais e materializados por sedimentos de fácies C.

A presença de quantidades elevadas de caulinite na fácies E, contrastando com os sedimentos mais grosseiros (C, D e F) resultará de alimentação a partir de diferentes áreas de drenagem. A deposição da fácies E acontecerá após grandes cheias, tendo este mineral sido derivado das áreas interiores da bacia de drenagem onde a precipitação e as condições de alteração química são muito superiores que às no litoral, favorecendo a sua formação (Dinis et al., 2016, 2017). Os sedimentos de planície de inundação mais grosseiros integrariam maiores quantidades de partículas com alimentação proximal onde ilite e argilas expansivas são abundantes.

5.1.3. Fácies de mangal ou laguna costeira (G)

5.1.3.1. Descrição

Os sedimentos com esta fácies foram amostrados em zonas deprimidas entre cordões litorais e na extremidade norte no delta, próximo do mangal do Lobito.

A fácies G individualiza-se pela presença de fragmentos de conchas de moluscos marinhos e/ou de ambientes de transição, quantidades significativas, mas muito variáveis, de material silto-argiloso (> 10%), a presença de uma população de areia média a fina que se assemelha à observada em sedimentos de praia e a concentração de matéria orgânica de grão fino que lhes confere tons cinza. As distribuições granulométricas destes sedimentos são muito variáveis, mas, de modo geral, bimodais (Fig. 5.7).

Do ponto de vista mineralógico, estes sedimentos, em particular os mais grosseiros, são muito ricos em quartzo; a fração silto-argilosa mostra predomínio repartido de filossilicatos, quartzo e, por vezes, carbonatos (aragonite, dolomite e calcite) enquanto a fração argilosa tanto pode ser dominada pela caulinite como pela illite.

5.1.3.2. Interpretação

Os depósitos desta fácies registam deposição em pontos baixos do delta, próximo da linha de costa, associados a pequenas lagunas costeiras, geneticamente ligadas a cavas entre cordões, onde tende a haver aprisionamento dos sedimentos finos (Dominquez, 1996; Bhattacharya e Giosan, 2003).

As lagunas serão inundadas periodicamente em função do ciclo de maré ou promovidas por fenómenos de sobrelevação do nível do mar aquando de tempestades e é de prever que a estes espaços possam afluir sedimentos arenosos derivados das praias e cordões litorais envolventes e sedimentos finos ou grosseiros transportados pelos fluxos fluviais. As quantidades de material destas duas proveniências podem ser muito variáveis em função da posição relativa na laguna, das condições de agitação marítima, do ciclo de maré e do regime fluvial, justificando-se assim a grande variabilidade granulométrica.

5.1.4. Fácies de praia (H)

5.1.4.1. Descrição

Distribuem-se a norte e a sul do leito atual do rio (Fig. 5.6), em posições ocidentais da acumulação deltaica, mas também são encontrados mais para o interior, em associação com cordões litorais. À superfície, são particularmente comuns a sul do canal fluvial, onde os cordões litorais surgem amalgamados e não se encontram faixas com sedimentos finos (de planície de inundação ou lagunares) intercalares ou estas são muito estreitas.

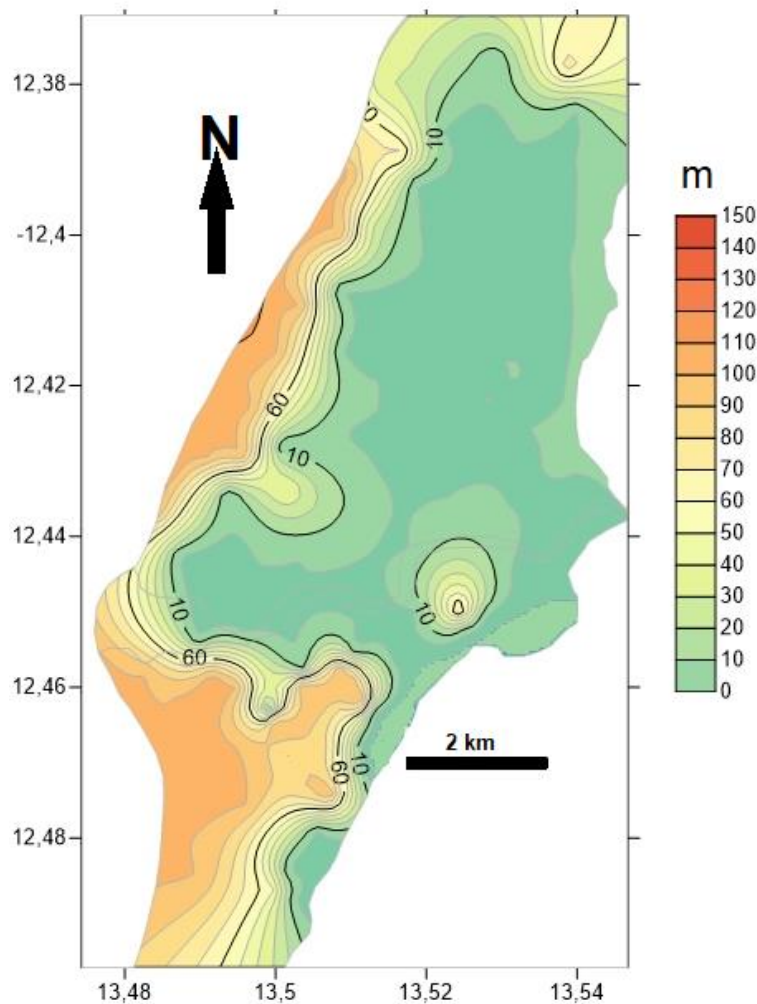


Figura 5. 6. Espessura de sedimentos de praia nos níveis superiores do DDRC. Como os furos com trado manual não alcançaram a base do depósito, a imagem não reflete a espessura real dos sedimentos de praia. Diz respeito apenas à posição mais superficial do depósito (de 1 a 4 m, dependendo do furo). Em níveis mais profundos ainda ocorrem sedimentos de praia.

As unidades de fácies H são claramente dominantes na sucessão deltaica mais profunda (> 2 m profundidade). Nestes sedimentos domina a componente arenosa (91-98%). A fração silto-argilosa é diminuta (< 9%) (Fig. 5.7), apresentando os valores mais elevados em cordões de praia mais interiores ou em locais onde estas fácies foram amostradas a maiores profundidades. São sedimentos fundamentalmente quartzosos, mas a fração silto-argilosa é dominada por filossilicatos (Fig. 5.3). Regra geral, quando comparada com as restantes fácies arenosas, os grãos de quartzo encontram-se ligeiramente mais arredondadas, mas ainda são comuns elementos sub-angulosos. É frequente encontrar fragmentos de conchas de lamelibrânquios e gastrópodes marinhos.

5.1.4.2. Interpretação

Esta fácies tem correspondência com os conjuntos sedimentares de praia caracterizados por uma arquitetura em forma de cordões litorais que se dispõem em alinhamentos múltiplos na planície do Catumbela e registam antigas configurações da linha de costa. Sucessões de cordões litorais similares são comuns em planícies deltaicas, podendo estar associados à ação das ondas ou dos ventos (Otvos, 2000; Tamura, 2012).

Todavia, no caso presente, não havendo evidências de ação eólica significativa e, em virtude das distribuições granulométricas e formas dos grãos serem comparáveis às dos depósitos de praia atuais, do predomínio de estruturas sub-horizontais ou inclinadas para o mar e de formas assimétricas em perfil, com a face virada ao continente menos inclinada, dos depósitos, considera-se que estão associados predominantemente à ação das ondas na praia.

A história das variações do nível do mar pode desempenhar um papel fundamental nos estilos de sedimentação em sucessão de cordões (ver, p. ex., Otvos, 2000; Tamura, 2012; Rossetti et al., 2015). Esta hipótese não pode ser excluída no caso do delta do Catumbela, sendo de admitir que os cordões mais interiores, cuja superfície ultrapassa os 5 m de cota (dados de satélite ISIS-CNES), se formaram numa altura em que o nível do mar estava mais elevado que presentemente.

A semelhança entre a mineralogia destes sedimentos e dos fornecidos pelo rio Catumbela (Dinis et al., 2016) indica um reduzido contributo de areias transportadas por deriva litoral de outros troços costeiros.

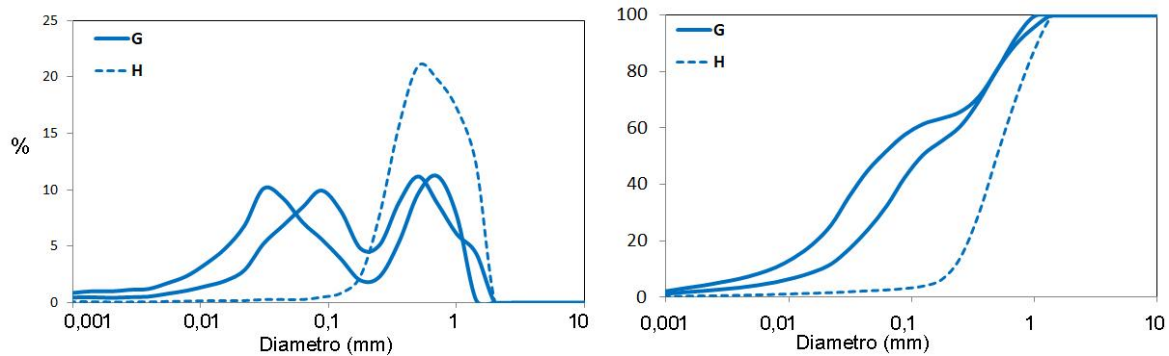


Figura 5. 7. Curvas de distribuição granulométrica características de sedimentos de laguna (fácies G) e praia (fácies H).

5.2. Arquitetura deposicional

A sucessão sedimentar do DDRC comporta sedimentos de praia, intercalados por vezes, sobretudo próximo do topo, com corpos de mangal/laguna. Estes conjuntos litorais são cobertos por sedimentos de planície de inundação e de canal fluvial/distributário (Fig. 5.8). Nas zonas mais ocidentais dominam os sedimentos de praia e lagunares, sendo os lagunares particularmente comuns na extremidade norte do delta, em associação com o mangal do Lobito. Esta organização configura uma situação clara de progradação do delta.

Os sedimentos de praia associados a cordões litorais mais interiores alcançam cotas próximas de 10 m junto do local onde o rio Catumbela deixa o canal encaixado e entra na sua planície flúvio-deltaica (Fig. 5.9), não tendo sido possível alcançar, nem mesmo com os furos mais longos o limite inferior destas unidades.

Estratigrafia e Hidrogeologia do Depósito Deltaico do Rio Catumbela (Angola)

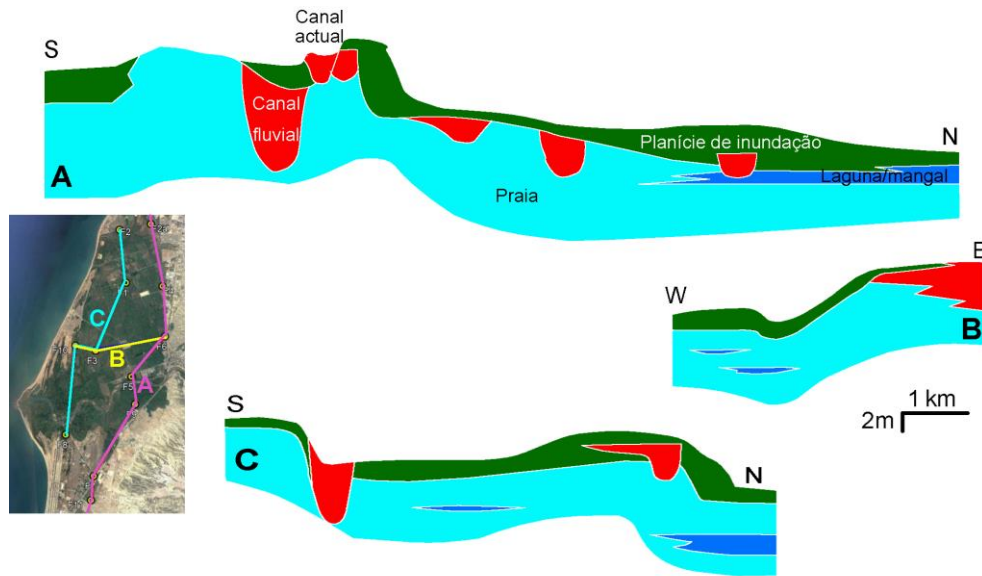


Figura 5. 8. Organização espacial das principais unidades estratigráficas baseada nos dados das sondagens mecânicas (Huvi et al., 2018).

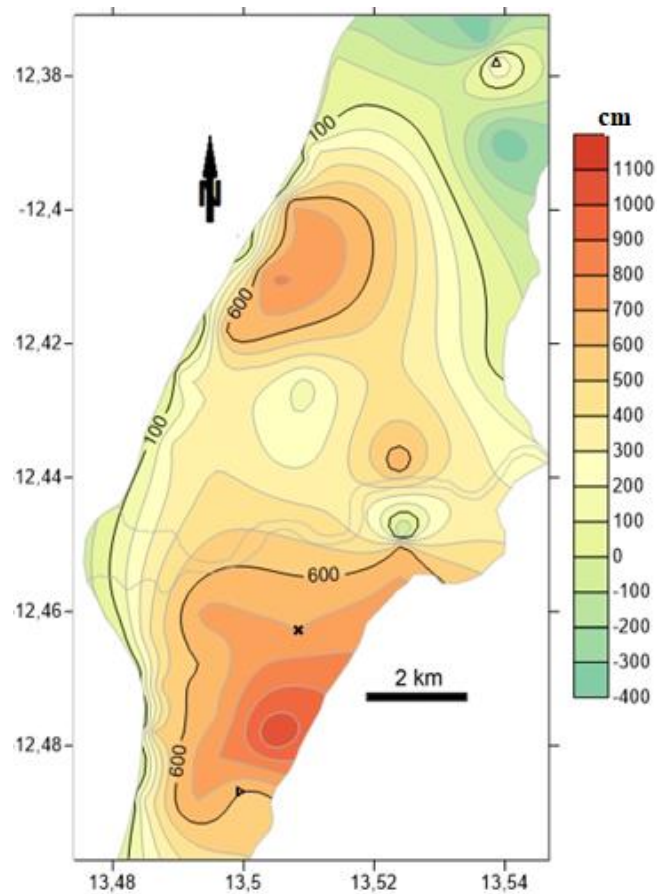


Figura 5. 9. Altimetria (cm) da superfície de teto do conjunto sedimentar de praia (Huvi et al., 2018).

Desta forma, não conseguimos estabelecer com rigor a espessura média destas unidades arenosas, sabendo-se apenas que ela será superior a 20 m. A cota máxima da superfície de teto dos sedimentos de praia diminui à medida que se avança para norte e oeste. Os sedimentos de mangal definem corpos pouco espessos entre conjuntos de praia ou na passagem destes para as unidades superiores com maior influência fluvial.

Na generalidade da planície deltaica observa-se à superfície sedimentos de grão fino, definindo uma cobertura que geralmente não ultrapassa os 2 m de espessura (Fig. 5.8). A sucessão superficial de planície de inundação engloba por vezes várias camadas que no conjunto alcançam mais de 5 m ou que surgem intercaladas com corpos pouco espessos de enchimento de canal (Figs. 5.10 e 5.11). De um modo geral, os depósitos de canal fluvial mais espessos, que podem alcançar perto de 10 m, são encontrados sob os de planície de inundação e tendem a ser mais circunscritos lateralmente, definindo corpos incisos no conjunto de praia inferior (Fig. 5.8).

Como se disse acima, os depósitos de canal fluvial ou distributário são particularmente comuns em duas faixas relativamente estreitas (Fig. 5.1): uma onde presentemente se posiciona o rio Catumbela e outra de orientação geral NNW-SSE, a norte do canal atual e dirigida à região do Lobito. Entre estas encontram-se à superfície sobretudo sedimentos de grão fino (Fig. 5.4).

A faixa de orientação NNW-SSE está sublinhada pelas menores altitudes da superfície de muro da porção fluvial do enchimento em resposta à incisão do Catumbela nos sedimentos de praia (Fig. 5.9), sendo separados por uma zona onde dominam sedimentos finos de planície de inundação (Fig. 5.10). Dado o caráter meandriforme do canal fluvial e as evidências de que os meandros, nas suas porções mais distais, se deslocaram na planície flúvio-deltaica por algumas centenas de metros em escalas de poucas décadas (Dinis et al., 2012), os depósitos de canal fluvial acabam por poder ser encontrados em cinturões com cerca de 1-2 km de largura.

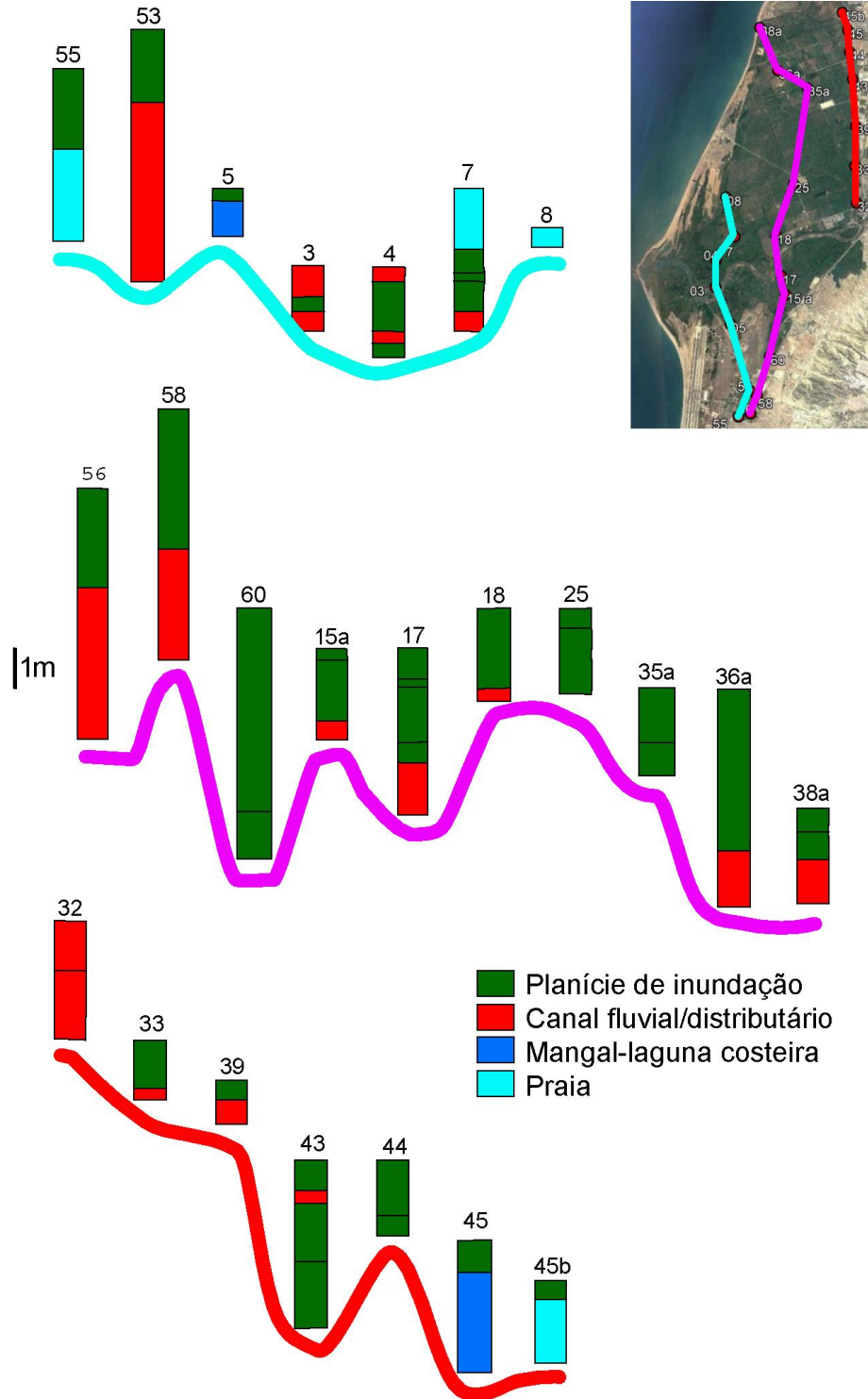


Figura 5. 10. Perfis N-S mostrando a sucessão sedimentar nos domínios mais superficiais do DDRD (Huvi et al., 2018).



Figura 5. 11. Perfis E-W mostrando a sucessão sedimentar nos domínios mais superficiais do DDRC. Legenda de cores como na Fig. 5.10 (Huvi et al., 2018).

5.3. Factores responsáveis pela distribuição das unidades sedimentares

5.3.1. Deriva litoral

A influência das ondas sobre os deltas varia consideravelmente consoante a morfologia e a batimetria costeira (p. ex., Ashton e Giosan, 2011; Anthony, 2015). No caso do delta do Catumbela, a orientação do litoral em relação ao rumo da ondulação origina uma corrente regional de deriva litoral maioritariamente de sul para norte. Esta apenas apresenta sentido contrário no troço a sul da embocadura devido à alteração no rumo do litoral em resposta ao crescimento do delta (Fig. 5.12).

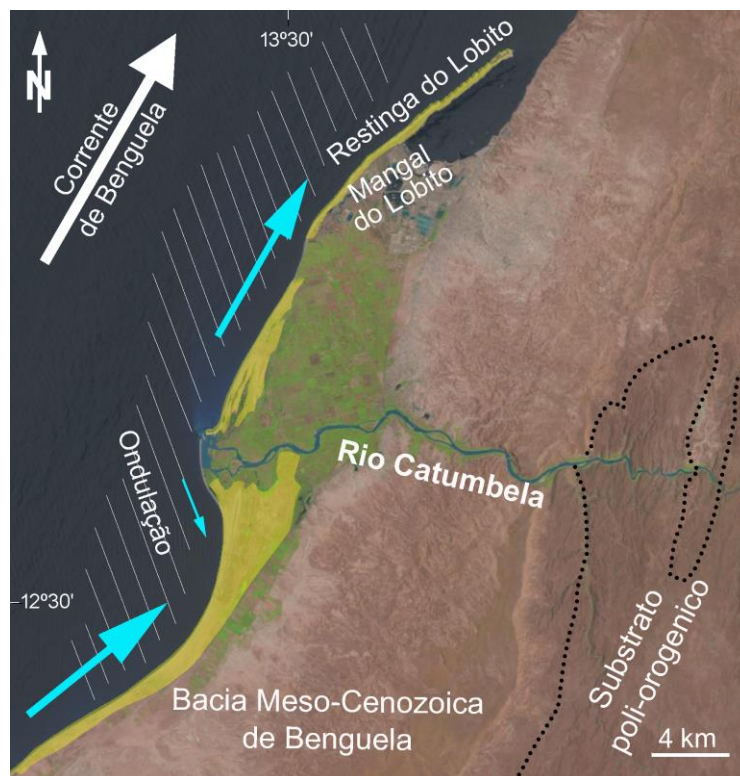


Figura 5. 12. Hidrodinâmica costeira e o delta do Catumbela. As faixas amarelas destacam-se as faixas com cordões litorais na planície deltaica (geralmente em tom verde). Setas azuis indicam o rumo da corrente de deriva litoral (tamanho proporcional à intensidade prevista para a corrente) (Huvi et al., 2018).

A morfologia de um delta influenciado pela ondulação reflete a descarga fluvial e a forma de redistribuição destes materiais por ação das ondas (Kirk, 1991; Bhattacharya e Giosan, 2003; Nienhuis, Ashton & Giosan, 2016), sendo de prever uma assimetria entre os dois lados do canal no caso de deltas fortemente influenciados pela deriva litoral em resposta ao esporão hidráulico definido pela descarga fluvial (Bhattacharya e Giosan, 2003). Korus e Fielding (2015) demonstram que a assimetria na distribuição de sedimentos arenosos e de grão fino é mais complexa, dependendo da posição mais os menos distal do delta, mas que é geralmente válida nas suas partes emersas. Ela é bem patente no delta do Catumbela, com corpos de praia (fácies H) amalgamados, praticamente sem níveis argilosos intercalares, no lado barlamar do delta (i.e., a sul do canal atual) e alternados com sedimentos de grão fino, de planície de inundação (fácies C a F) ou lagunares (fácies G), no lado sotamar (i.e., a norte do canal atual).

As correntes de deriva litoral também condicionam a estabilidade das protuberâncias litorais que se formam no ponto de descarga dos caudais fluviais no mar. Aquando de um abandono ou migração do canal estas protuberâncias são erodidas e os sedimentos redistribuídos preferencialmente para norte ao longo do litoral (Dinis et al., 2017).

5.3.2. Abandono e migração de canais

A abundância de depósitos de canal fluvial (fácies A e B) num cinturão que se estende do ponto onde o rio deixa o seu vale inciso até à região do Lobito, a referência a associações de moluscos característicos de ambientes de água doce obtidas aquando da escavação de poços junto ao Mangal do Lobito (Maia, 1937) e alguns mapas dos séculos XVII e XVIII mostram que o rio teve o seu rumo desviado para norte, encontrando a foz próximo do local onde depois se desenvolveu a cidade do Lobito. Aqui é ainda hoje possível reconhecer meandros abandonados na planície de inundação que podem estar ligados a antigos canais do Catumbela.

Outros potenciais eixos de drenagem do rio Catumbela, entretanto abandonados, são identificados a aproximadamente 8 km e 5 km ao norte da foz atual do rio (Carvalho, 1963; Dinis et al., 2017). Cartas antigas (p. ex., o mapa de Angola coordenado pelo Visconde de Sá da Bandeira, datado de 1863) mostram que em meados do século XIX o troço do rio Catumbela na sua planície flúvio-deltaica já se posicionava segundo uma direção grosseiramente E-W, tendo permanecido assim até à atualidade.

Tem sido demonstrado que a relação entre o caudal sólido transportado por deriva litoral e os caudais fluviais debitados pelos rios são determinantes para a orientação dos canais na planície deltaica (Pranzini, 2001; Bhattacharya e Giosan, 2003; Nienhuis et al., 2016). Com a diminuição desta relação, observa-se uma tendência para a migração para barlamar do canal, promovendo-se a assimetria do delta; com o seu aumento promove-se uma migração no sentido oposto à deriva litoral e o delta torna-se menos assimétrico.

A migração do Catumbela para sul, revelada por dados geológicos e geomorfológicos e em sintonia com o que parecem indicar os documentos históricos disponíveis para os últimos três séculos, na ausência de dados que suportem alterações no padrão de ondulação, poderá ter respondido a um aumento dos caudais fluviais.

A migração periódica do canal do Catumbela está intimamente ligada aos processos de avulsão e ao desenvolvimento de meandros abandonados. No seu troço mais distal (últimos 5 km) e para o período de 1950 a 2010 têm-se verificado situações de avulsão com os meandros a divagar e a assumir diferentes níveis de sinuosidade (Dinis et al., 2012).

Em consequência, a foz do Catumbela tanto se deslocou para norte como para sul numa faixa próxima da foz, sendo acompanhada por tendências locais prográdantes ou erosivas à medida que o ponto de descarga dos caudais fluviais se afastava ou aproximava, respetivamente, de um determinado troço litoral. Em alguns dos meandros abandonados encontram-se hoje sedimentos de grão muito

fino (fácies E) associados à decantação lenta em ambientes de muito baixo hidrodinamismo.

5.3.3. Inundação da planície deltaica

Os processos de inundação tiveram um papel fundamental para a distribuição de sedimentos e construção da acumulação deltaica sub-aérea a norte do canal atual do Catumbela. Com a descarga de grandes volumes detríticos pelos canais fluviais estes tendem a posicionar-se a cotas mais elevadas do que as da planície envolvente. Este fato, associado à presença de uma estreita faixa com cordões de praia na zona ocidental da acumulação sub-aérea do delta, também ela soerguida, terá promovido a deposição de finos de inundação na generalidade do lado norte do delta.

Como se disse acima, as características granulométricas dos sedimentos de planície de inundação permitem diferenciar conjuntos formados nas proximidades dos principais canais, eventualmente em associação a pequenos sulcos onde se faz o extravase dos canais principais (fácies C), de outros, associados à expansão dos fluxos e perda de capacidade de transporte, que ocorre quando os fluxos deixam de estar canalizados, ou quando há decantação de partículas finas em pontos mais afastados dos canais (sobretudo fácies D e E). Estes são particularmente comuns e espessos no domínio entre as duas faixas de circulação preferencial do Catumbela.

Os sedimentos mais grosseiros terão sido formados quando a carga sólida de menor calibre e enriquecida em caulinite ainda se mantinha em suspensão. A componente de grão mais fino acabaria por ficar aprisionada em depressões isoladas e de menor hidrodinamismo na planície flúvio-deltaica.

CAPITULO 6 - HIDROGEOLOGIA

No presente capítulo apresentam-se os resultados do trabalho de campo bem como a caracterização, o tratamento e interpretação de resultados da hidrogeologia que levaram à definição do modelo hidrogeológico conceptual e à avaliação de reservas hídricas do depósito deltaico do rio Catumbela (DDRC).

6.1. Fundamentos teóricos gerais

Do ponto de vista hidrogeológico, os depósitos aluvionares constituem maioritariamente bons aquíferos uma vez que apresentam um conjunto de características hidrogeológicas, nomeadamente a porosidade (n), a condutividade hidráulica (K) e o coeficiente de armazenamento (S), muito favoráveis para o armazenamento e circulação das águas subterrâneas.

Como referido no Capítulo anterior, o domínio em estudo (DDRC) é constituído por uma sucessão de depósitos aluvionares, cujos materiais derivam do desmonte de rochas ígneas e metamórficas do interior da bacia hidrográfica do rio Catumbela, pelo que, são constituídos maioritariamente por silicatos sendo

que se destacam com maior percentagem o quartzo, o feldspato e os minerais argilosos.

Como referido nos Capítulos 4, os depósitos deltaicos sub-aéreos formaram-se fundamentalmente no Holocénico . Estes materiais ocorrem em todo sector distal do Lobito a Benguela e no seu extremo leste contactam com formações do Cretácico. Nestas litologias aluvionares a circulação hídrica é simultaneamente superficial e subterrânea e geralmente ocorre uma grande infiltração. Assim, é frequente a formação de aquíferos e as superfícies freáticas acompanham frequentemente a topografia superficial.

6.1.1. Propriedades hidrogeológicas

6.1.1.1. Porosidade (n e ne)

A porosidade total (n) de uma rocha ou depósito corresponde à percentagem de espaços vazios existentes numa rocha. É determinada pela relação entre o volume de espaços vazios (Vv) e o volume total (Vt) de uma rocha (Custódio e Llamas, 1976, Roque e Missagia, 2012). [6.1]

$$n = \frac{Vv}{Vt} \quad [6.1]$$

A porosidade efectiva (n_e) é menor ou igual à porosidade total e corresponde à relação entre o volume de espaços vazios interconectados (Vve) e o volume total (Vt) de uma rocha. Na Tabela 6.1, apresentam-se os valores mais comuns da porosidade total e efetiva das formações sedimentares na área estudada.

Tendo em conta ao tempo de formação das rochas sedimentares, a porosidade pode ser subdividida, em primária e secundária, segundo Murray (1960) citado por Suguio (2003). A porosidade primária é que uma rocha apresenta antes de sofrer qualquer alteração ou no caso das rochas sedimentares logo após a deposição, isto é depois de sofrer a litificação ou diagénese (Almeida et al, 2005; Suguio, 2003). A porosidade primária depende muito do ambiente deposicional pelo facto de este exercer a sua influência na granulometria, no grau de seleção, na forma dos grãos, no arredondamento dos grãos e na textura (Suguio 2003).

A porosidade secundária é a que resulta de processos posteriores à formação da rocha, e tem como origem, por exemplo, os processos de dissolução, movimentação tectónica, compactação ou desidratação e diaclasamento (Almeida et al, 2005).

Tabela 6. 1. Características hidrogeológicas das formações semelhantes às do Depósito Deltaico do Rio Catumbela (os valores baseiam-se em Custódio e Llamas (2001) e Johnson (1967).

Material	Porosidade total (n) (%)			Porosidade efetiva (n _e) (%)			Condutividade Hidráulica-K (m/s)	Classificação Hidrogeológica
	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo		
Argila	45	60	34	2	10	0	10 ⁻⁶ ou mais	Aquicluso
Silte	40	61	34	10	20	2	5x10 ⁻⁶ a 5x10 ⁻⁵	Aquitardo
Areia	35	53	20	25	35	10	5x10 ⁻² a 1x10 ⁻²	Aquífero
Cascalho	30	40	25	25	35	15	1,0 ou mais	Aquífero
Argila e silte	-	61	34	-	-	-	<10 ⁻⁶ a 5x10 ⁻⁵	Aquicluso
Areia e Cascalho	-	53	10	-	-	-	1 a 10 ⁻²	Aquífero

6.1.1.2. Condutividade hidráulica (K)

A condutividade hidráulica é uma propriedade hidrogeológica que expressa a facilidade com que a água se movimenta numa rocha ou depósito. A K pode ser determinada através da equação de Darcy [6.2].

$$K = \frac{-Q}{A \left(\frac{dh}{dl} \right)} \quad [6.2]$$

Na equação Q representa o caudal de descarga, A representa a área da secção transversal ao fluxo e dh/dl o gradiente hidráulico.

A condutividade hidráulica depende das propriedades do meio geológico e do fluido. Suguio (2003) destaca a granulometria e seleção, a morfometria dos grãos e a petrofábrica. Domenico e Schwartz, (1990) e Custódio e Llammas (1976) ressaltam o tamanho dos poros, a distribuição, a forma e arranjo das partículas, a compactação e a calibração, assim como as propriedades do fluido. Cintra (1997) sustenta que a condutividade hidráulica está relacionada com a permeabilidade intrínseca (que relaciona o volume total e a distribuição do tamanho de poros) e com a viscosidade dinâmica do fluido.

Na Tabela 6.1 apresentam-se valores de condutividade hidráulica das formações e depósitos sedimentares da área estudada.

6.1.1.3. Transmissividade (T)

A transmissividade (T) pode ser definida como a capacidade que uma unidade aquífera saturada possui em transmitir horizontalmente a água numa extensão unitária e sob um gradiente hidráulico unitário. É o produto da condutividade hidráulica horizontal pela espessura do aquífero. A respectiva equação está demonstrada em [5.4]. As unidades são dadas em área/tempo (L^2/T), geralmente m^2/d ou m^2/s .

$$T = K.b \quad [6.3]$$

Em que K é a condutividade hidráulica em m/s, b é a espessura do aquífero confinado ou a espessura saturada, no caso de aquíferos não confinados, em m.

6.1.1.4. Coeficiente de armazenamento (S) e Cedência específica (Sy)

Este parâmetro indica a razão entre o volume de água liberado por uma coluna com secção unitária do aquífero aquando de uma descida unitária do nível piezométrico.

Os valores médios de armazenamento específico (S_s) nos depósitos aluvionares podem variar entre $(0,26-9,2) \times 10^{-4} m^{-1}$ nos domínios grosseiros (areia e cascalho) e $(0,1-4,9) \times 10^{-4} m^{-1}$ nos domínios siltíticos e argilíticos (Batu, 1998).

A cedência específica (Sy) correspondente nos depósitos aluvionares pode variar entre 0,23 a 0,28 nos domínios grosseiros (areia e cascalho) e 0,03 a 0,08 nos domínios siltíticos e argilíticos (Domenico e Schwartz, 1990).

6.2. Pontos de água e resultados de campo

6.2.1. Pontos de estudo

Para a caracterização da hidrodinâmica subterrânea e da hidrogeoquímica dos DDRC foram selecionados 41 pontos distribuídos quase uniformemente em todo aluvião. Estes 41 pontos dividem-se em:

Estratigrafia e Hidrogeologia do Depósito Deltaico do Rio Catumbela (Angola)

- 29 furos: 21 de reduzida profundidade (piezómetros); e 8 furos de maior profundidade (Tabela 6.2 e Fig. 6.1A);
- 3 poços pré-existentes e próximos da linha da costa;
- 6 pontos seleccionados ao longo da vala de drenagem das águas residuais urbanas;
- 3 pontos seleccionados ao longo do canal principal do rio Catumbela (Tabela 6.3 e Fig. 6.1B).

Para a instalação de piezómetros, foram seleccionados 21 pontos (Tabela 6.2). Na Tabela 6.4 apresentam-se apenas os piezómetros utilizados em todas as campanhas e que serviram de análise neste estudo. A exclusão dos outros pontos deveu-se principalmente a apresentarem quase sempre o nível de água abaixo da base do furo, terem sofrido inundações periódicas ou ter ocorrido a destruição do furo.

Tabela 6. 2. Caracterização geral dos piezómetros e furos executados no DDRG.

Pontos	Longitude	Latitude	Material de construção	Diâmetro do tubo (in)	Profundidade total (m)	Altura do tubo superficial (m)	Cota superficial (m)	Distância ao mar (m)	Distância ao rio (m)	Distância a vala (m)
Pz1a	13.539722	-12.383222	PVC	2,5	3,97	0,67	5	2810	5886	44
Pz1b	13.523252	-12.376383	PVC	2,5	1,5	0,26	4	851	7125	1284
Pz2	13.532165	-12.385919	PVC	2,5	2,83	0,43	8	2202	6069	18
Pz1c	13,51867	-12,3779	PVC	2,5	1,4	0,6	4	176	7026	1326
Pz3	13,51853	-12,3931	PVC	2,5	2,4	0,2	5	1077	5293	399
Pz5	13.522185	-12.404813	PVC	2,5	2,2	0,2	8	1970	3968	1776
Pz6	13.534408	-12.415619	PVC	2,5	6,2	0,34	10	3794	2592	3280
Pz8	13.530739	-12.434901	PVC	2,5	2	0,3	11	4801	535	5259
Pz9	13.522846	-12.434130	PVC	2,5	2,4	0,47	8	4103	686	4948
Pz10	13.518613	-12.419694	PVC	2,5	4	0,35	5	2473	2312	3317
Pz12	13.509250	-12.426139	PVC	2,5	2,8	0,85	6	1968	1952	4012
Pz13	13.502334	-12.439062	PVC	2,5	3,55	0,95	6	1739	948	5747
Pz14	13.502861	-12.442861	PVC	2,5	0,8	0,37	5	1923	408	5885
Pz15	13.514139	-12.439833	PVC	2,5	2,3	0,98	8	3108	341	5462
Pz 17	13.538250	-12.422194	PVC	2,5	1,5	0,3	10	5002	624	5277
Pz18	13.531222	-12.444349	PVC	2,5	6,3	0,43	11	4588	1675	4210

Estratigrafia e Hidrogeologia do Depósito Deltaico do Rio Catumbela (Angola)

Pz19	13.516222	-12.461072	PVC	2,5	2,3	0	6	5263	314	-
Pz20	13.510602	-12.472318	PVC	2,5	6,3	0	8	3788	1104	-
Pz21	13.494505	-12.460383	PVC	2,5	5	0,1	6	2808	2293	-
Pz22	13.522257	-12.452041	PVC	2,5	1,3	0,6	6	1475	460	-
Pz23	13.516631	-12.457374	PVC	2,5	4,6	1,16	6	4683	941	-
F1	13.524343	-12.398654	PVC	4	11,6	0,23	5	3848	767	-
F2	13.523252	-12.376383	PVC	2,5	13,5	0,3	4	1813	4869	1098
F3	13.509250	-12.426139	PVC	2,5	12	0,22	6	800	7139	1292
F4	13.539694	-12.389500	PVC	4	12	0	7	1968	1952	4012
F5	13.523750	-12.438056	PVC	2,5	12	0	8	3445	4091	1829
F6	13.539314	-12.422295	PVC	2,5	12	0,23	8	4131	270	5595
F7	13.504492	-12.478419	PVC	2,5	14,4	0	8	4588	1675	4210
F8	13.493850	-12.460336	PVC	2,5	12	0	6	259	294	NA

Como referido no sub-capítulo 4.4, dividiu-se o domínio estudado em três sectores Fig. 4.12): (I) sector norte que abrange a zona de mangais e está sendo progressivamente ocupado por habitações e estruturas comerciais; (II) sector centro, onde se implantou a maioria dos piezómetros; está ocupado principalmente pela atividade agrícola, pecuária e industrial e (III) sector sul ocupado pela atividade agrícola, pecuária, habitações e estruturas comerciais.

Tabela 6. 3. Características gerais de pontos superficiais (poços, valas e rio) seleccionados para o estudo no DDRC.

Ponto	Longitude	Latitude	Cota superficial (m)
V1	13,5401	-12,383633	6
V2	13,536432	-12,384595	6
V3	13,530783	-12,386075	5
V4	13,523131	-12,388186	5
V5	13,514636	-12,390381	4
V6	13,510272	-12,391548	3
P1	13,501035	-12,406417	4
P2	13,501663	-12,407917	3
P3	13,5018	-12,408012	3
R1	13.540550	-12.437225	10
R2	13.528386	-12.440269	10
R3	13.517197	-12.441344	7

Legenda: V- Vala; P- Poço; R- Rio

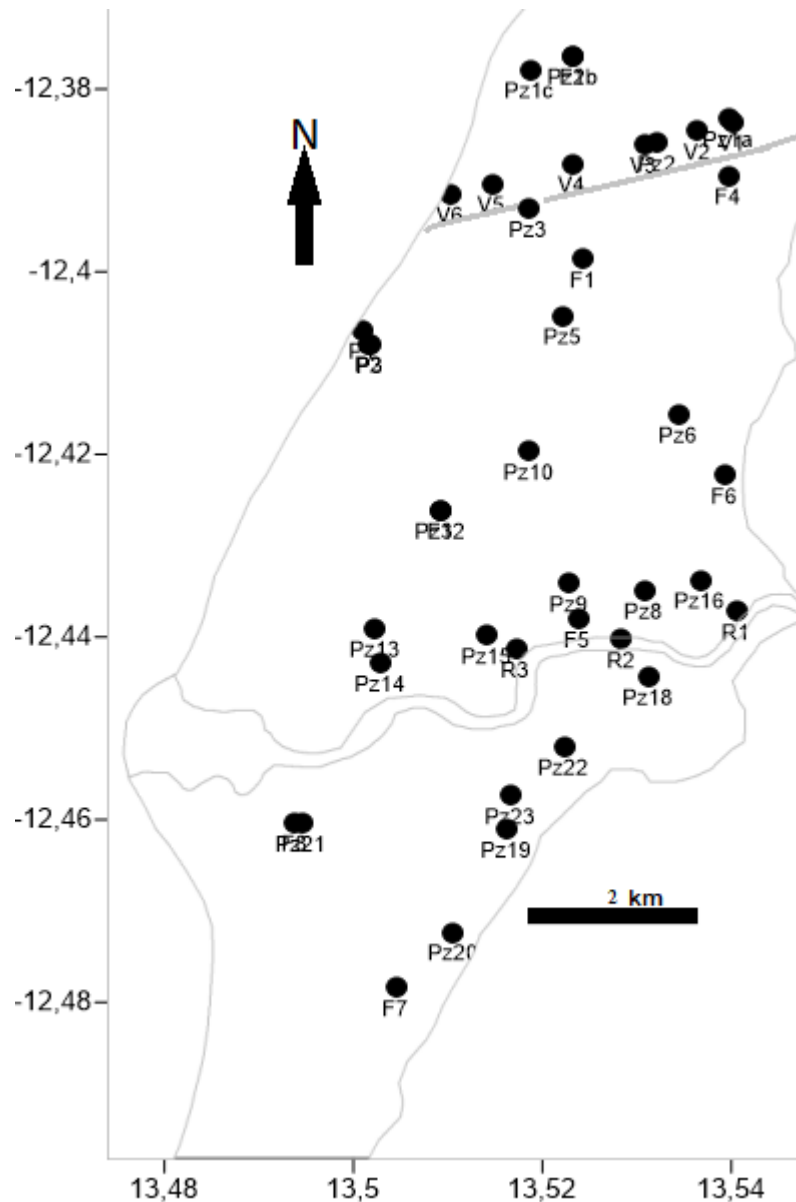


Figura 6. 1. Domínio estudado (DDRC) com localização dos pontos de água seleccionados. Pontos utilizados para o estudo da hidrodinâmica e hidrogeoquímica subterrânea (Pz=Piezómetros, R=Rio, P= Poço, V=Vala, F=Furo).

6.2.2. Medições e ensaios

Nos pontos de estudo referidos anteriormente realizaram-se as seguintes medições e ensaios:

- medições do nível da água;

- medições de outros parâmetros físico-químicos da água (estudados no capítulo seguinte);
- amostragem de água;
- ensaios hidráulicos dos tipos “ensaio de bombagem” e “ensaio de rebaixamento simples ou slug test”.

As campanhas de medições piezométricas tiveram início em março de 2013 e terminaram em março de 2015. As medições foram efectuadas em 21 pontos, cuja localização apresenta-se na Figura 6.1B.

Em cada ano foram efetuadas duas campanhas (março e novembro). No entanto, importa realçar que, de um modo geral, no território angolano as precipitações atmosféricas ocorrem na época de verão (setembro a abril). Especificamente na região da Catumbela a estação chuvosa decorre de novembro a março (Cruz, 1940, GURN, 2003 – 2004).

Optou-se por efectuar as medições dos níveis piezométricos nos meses de novembro e março de cada ano, porque são estas épocas em que se observaram os mais baixos (novembro) e os mais elevados (março) níveis de água no rio Catumbela, cuja influência na hidrodinâmica local é determinante.

Os níveis piezométricos foram controlados periodicamente com uma sonda de níveis acústica (da Geotechnical instruments) (Fig. 6.2).



Figura 6. 2. Aspectos da medição de níveis piezométricos utilizando o Geotechnical instruments (2011).

Os valores obtidos apresentam-se na Tabela 6.4 e foram tratados estatisticamente e graficamente (Figs. 6.3, 6.4 e 6.5).

Tabela 6. 4. Resultados (em m) das medições dos níveis freáticos (NF) registados durante as campanhas de campo no DDRC (dados completos ver anexo 3)

Ponto	Março de 2013	Novembro de 2013	Março de 2014	Novembro de 2014	Março de 2015
Pz1a	2	3,6	3	3,3	3,3
Pz1b	3,4	3,1	3,1	3,4	3,6
Pz1c	3,3	3,4	3,2	3,2	3,8
Pz3	3,3	3,4	3,2	3,7	3,5
Pz6	9,2	9,1	9,1	9,1	8,1
Pz9	7	7	7,2	7,1	6,8
Pz10	4,1	4,2	4,2	4,4	3,9
Pz12	5,8	5,7	6	5,6	5,3
Pz13	5,3	5,4	5,7	5,4	5
Pz15	6,6	6,4	6,4	6,6	6,5
Pz18	9,4	8,9	9,6	8,6	9
Pz19	4,9	4,8	4,1	5,4	5,4
Pz20	5,6	5,4	6,4	5,7	6,4
Pz22	4,9	4,6	5	5,2	5
Pz23	4,2	4,3	5,7	5,7	5,8
F1	N.D	3	1,9	2,8	3,2
F2	N.D	3,2	3	3,4	3,5
F4	N.D	4,6	4,1	4,5	3,1
F5	N.D	5,1	6,4	5,6	5,8
F6	N.D	6,4	6,5	6	6,6
F7	N.D	5,6	3,9	5,1	5,7

Legenda: Pz = piezómetro; R = Rio; ND = Não determinado

6.3. Piezometria e hidrodinâmica subterrânea

Considerando que a maior parte dos pontos de água selecionados estão implantados nos domínios superiores do DDRC, a caracterização hidrodinâmica a seguir apresentada reporta-se maioritariamente ao aquífero superior de natureza freática.

Os resultados piezométricos apresentados no ponto anterior expressam uma variação muito heterogénea e variável de ponto para ponto (Figs. 6.3 e 6.4) o que aponta para importantes variações locais na hidrodinâmica subterrânea.

Estratigrafia e Hidrogeologia do Depósito Deltaico do Rio Catumbela (Angola)

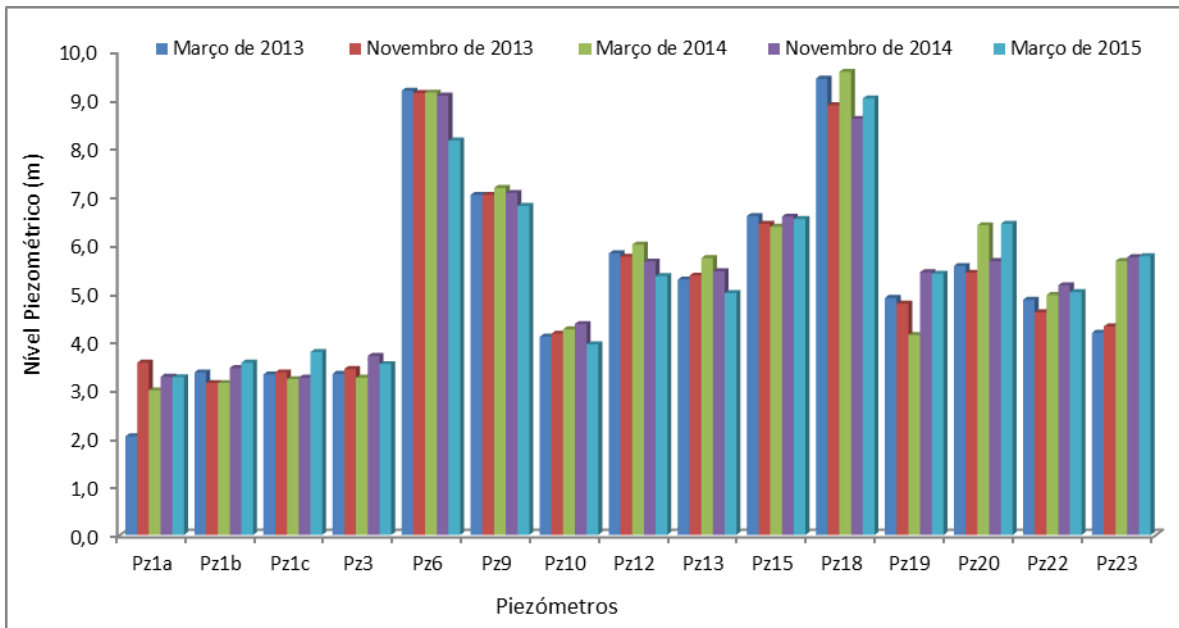


Figura 6. 3. Variação hidrostática durante as 5 campanhas piezométricas feitas no DDRC

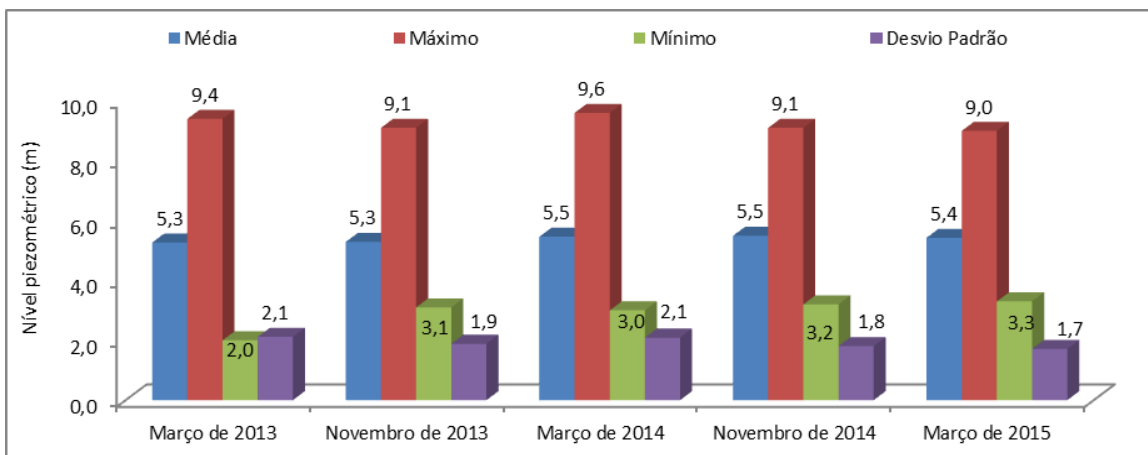


Figura 6. 4. Variação dos níveis piezométricos registados nas 5 campanhas feitas no DDRC.

Desde a foz até cerca de 9 km do curso principal do rio foram efectuadas medições do nível do rio em 3 pontos que permitiram um registo das oscilações da água no rio e nas cinco campanhas (março de 2013, novembro 2013; março de 2014, novembro 2014 e março de 2015). Na Figura 6.5 apresentam-se os resultados estatísticos da variação do nível do rio registados nas 5 campanhas.

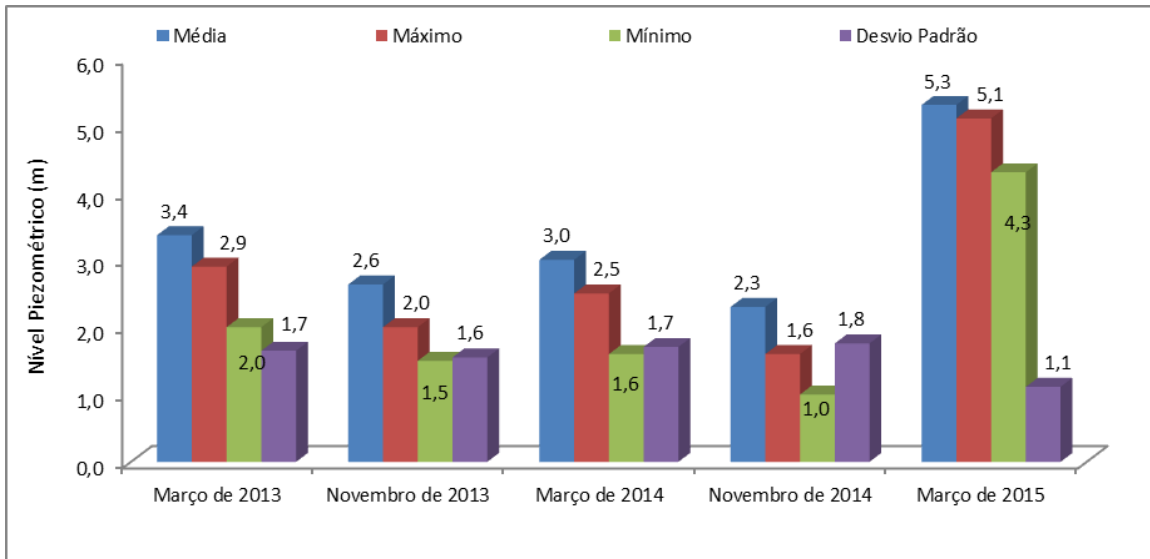


Figura 6. 5. Variação do nível hidrostático em três pontos no canal do rio Catumbela, num sector aproximado de 9000 metros a partir da foz (campanhas de março de 2013 a março de 2015).

Para o processamento dos resultados obtidos e análise de fluxo hídrico subterrâneo no domínio em estudo recorreu-se ao *software* Surfer 10 -32 bit-2011, à construção de mapas de superfície potenciométrica e de fluxo hídrico subterrâneo. As cartas obtidas para cada campanha efectuada estão representadas nas Figuras 6.6, 6.7 e 6.8.

De modo geral, os resultados revelam maiores níveis freáticos no setor centro interior do depósito deltaico sendo o sentido geral de fluxo E-W.

6.3.1. Piezometria de março e novembro de 2013

Na Figura 6.6 apresentam-se as cartas de fluxo e na Tabela 6.5 a descrição e interpretação da hidrodinâmica subterrânea do DDRC nos meses de março e novembro 2013.

Estratigrafia e Hidrogeologia do Depósito Deltaico do Rio Catumbela (Angola)

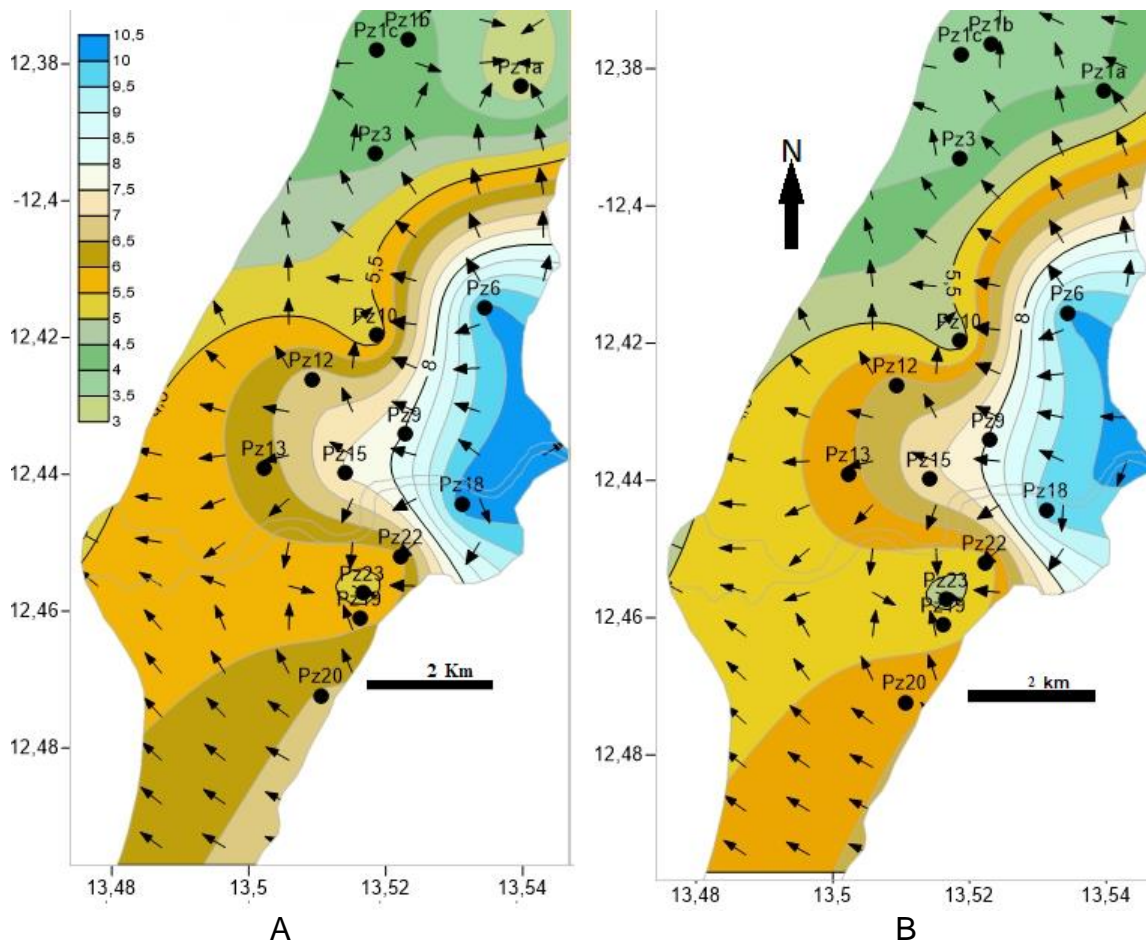


Figura 6. 6. Cartas piezométricas (isopiezias em m) e de fluxo da zona de estudo referentes às medições efetuadas em março 2013 (A) e novembro 2013 (B).

Tabela 6. 5. Interpretação das cartas de fluxo (em m) das campanhas de março 2013 e novembro 2013.

Elemento	Março 2013	Novembro 2013
Valor máximo e mínimo do NF / local	- 9,4 m no interior centro - 2 m no litoral N e S	- 9 m em dois locais do interior centro (margem N e S do rio) - Cerca de 3 m no litoral N e S
Sentido geral de fluxo	- E→W - Aproximadamente paralelo à topografia local	- De E→W
Sentido local de fluxo (por setores)	- No setor N, o fluxo tem o sentido S→N e NNW; neste setor o aquífero está a "alimentar" a zona de mangal - No setor centro-interior: fluxo E→W cujo nível freático acompanha a topografia do terreno - No setor centro-litoral: fluxo irregular, sentido E→W	- No setor N: SE→NW; influência da topografia e intensa passagem de água do centro-interior para norte. - No setor centro-interior: o fluxo é muito irregular; pode ser justificado pela importante entrada/circulação de água a partir de dois locais. - No setor centro-litoral: ocorre fluxo "em leque", interrompido por: a) um local de elevação do NF b) um cone de

Estratigrafia e Hidrogeologia do Depósito Deltaico do Rio Catumbela (Angola)

	<ul style="list-style-type: none"> - No setor S: o fluxo é mais irregular, com o sentido E→W no geral (no extremo mais a sul o sentido é SE→NW); neste contexto, embora de modo geral ocorrerá transferência de águas subterrâneas a partir do "maciço antigo 	<p>rebaixamento. A circulação "em leque" deve-se à transferência de água rio-aquífero; o ponto de maior elevação do NF estará relacionado com a presença de um domínio lagunar e a vala que alimentam o aquífero; e o de maior rebaixamento estará relacionado com pontos de exploração.</p> <ul style="list-style-type: none"> - No setor sul: fluxo convergente para o eixo central. Pode haver transferência hídrica a partir da margem do rio e/ou da vala de irrigação a partir do extremo sul (neste extremo não ocorre maior captação da água subterrânea)
Relação hidrodinâmica Aquífero-Rio	<ul style="list-style-type: none"> - No setor centro-interior, o fluxo subterrâneo é paralelo ao rio, pelo que não há maior transferência Rio→Aquífero - No setor centro-litoral, o fluxo é divergente do rio, evidenciando a passagem de água Rio→Aquífero 	<ul style="list-style-type: none"> - No troço inicial o fluxo é aproximadamente paralelo ao rio (período de pouca transferência de água Rio-Aquífero) - Nos troços intermédios e terminal o rio funciona como uma zona de passagem da água subterrânea
Situações anómalas - Reação do aquífero a pontos de captação	<ul style="list-style-type: none"> - No setor centro-litoral: ocorre um cone de rebaixamento; este fato poderá estar relacionado com presença de pontos de captação (furos) neste setor 	<ul style="list-style-type: none"> - Um local de elevação do NF, devido a presença da laguna como ponto de recarga - Dois cones de rebaixamento e um local de elevado gradiente hidráulico; devido a existência de pontos de captação mais intensa
Variações espaciais de gradientes hidráulicos / velocidades de fluxo	<ul style="list-style-type: none"> - No setor norte, o gradiente hidráulico é mais baixo (a velocidade de circulação é mais lenta); deverá estar relacionado com a presença de massas de água superficiais da vala e dos mangais - No setor centro-interior: o gradiente hidráulico é mais acentuado, (a velocidade de circulação é mais rápida. estará relacionado com a recarga mais intensa a partir do rio e, eventualmente influenciado pela transferência do "maciço antigo" - No setor centro-litoral: o gradiente hidráulico é menos acentuado e estará relacionado com a proximidade ao mar - No setor sul, o gradiente 	<ul style="list-style-type: none"> - No geral o gradiente hidráulico é suave (velocidade de escoamento baixa) - Constituem exceções: a) Os pontos recarregantes da laguna e do interior-centro; b) os locais de rebaixamento devido a captação mais acentuada

Estratigrafia e Hidrogeologia do Depósito Deltaico do Rio Catumbela (Angola)

	hidráulico é o mais baixo. Pode ser justificado com a proximidade ao mar e a menor entrada de água no aquífero devido ao seu afastado do rio e a topografia do terreno	
--	--	--

(*) Quanto mais próximas estiverem as isopiezas maior o gradiente hidráulico e maior a velocidade de fluxo.

6.3.2. Piezometria de março e novembro de 2014 e de março de 2015

O comportamento hidrostático e de fluxo referente as campanhas de março de 2014, novembro de 2014, e março de 2015, estão ilustrados na Figura. 6.7. A descrição e interpretação baseada nas três cartas de fluxo apresenta-se na Tabela 6.6, na qual, continua a evidencia dos altos níveis hidrostáticos no setor centro interior do depósito aluvionar com a direção de fluxo geral E-W, com exceção da carta de março de 2015 que apresenta um sentido contrário (W-E).

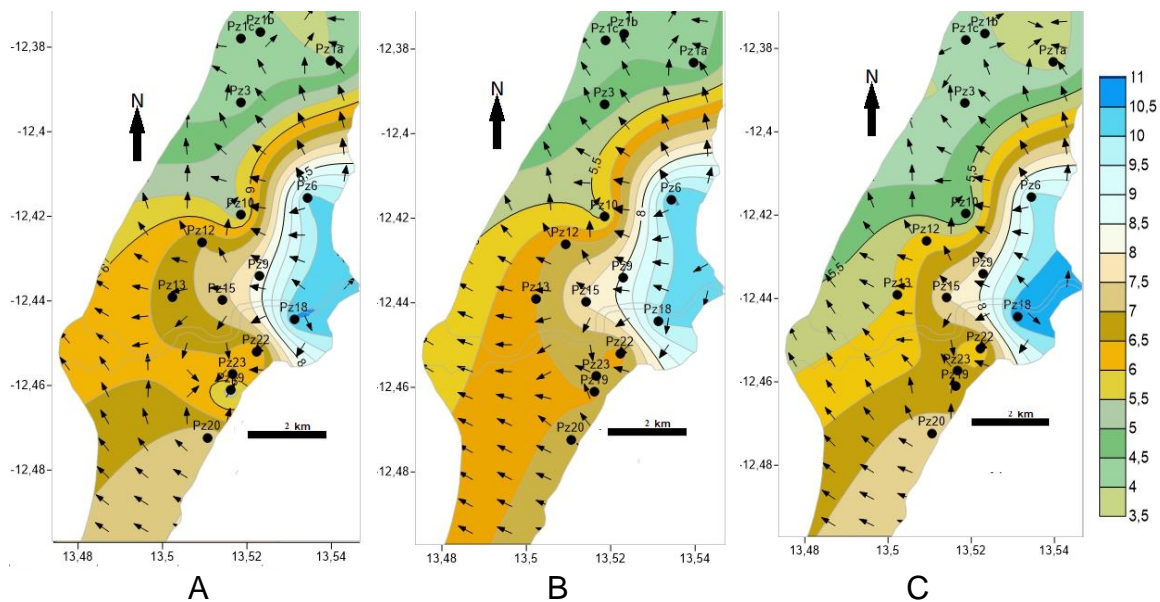


Figura 6. 7. Cartas piezométricas (isopiezas em m) e de fluxo da zona em estudo de acordo com as medições efetuadas em março de 2014 (A), novembro de 2014 (B) e março de 2015 (C).

Estratigrafia e Hidrogeologia do Depósito Deltaico do Rio Catumbela (Angola)

Tabela 6. 6. Interpretação das cartas de fluxo da campanha de março e novembro 2014 e março de 2015.

Elemento	Março de 2014	Novembro de 2014	Março de 2015
Valores máximo e mínimo do NF / local	- Cerca de 9,6 m em dois locais do interior centro (margem N e S do rio) - Cerca de 1,9 m no litoral N	- Cerca de 9 m em dois locais do interior centro (margem N e S do rio) - Cerca de 2,8 m no litoral N	- Cerca de 9 m em dois locais (centro norte e centro litoral) - Cerca de 3 m a N e SE
Sentido geral do fluxo	- De E→W, em sintonia com a topografia local	De E→W, de acordo a topografia local	Sentido W→E devido à influência da intrusão marinha
Sentido de fluxo local (por setores)	- No setor norte: SE→NW devido à influência da topografia e intensa passagem de água do centro-interior para N - No setor centro-interior: o fluxo é muito irregular e, se destaca, a importante entrada/circulação de água a partir de dois locais - No setor centro-litoral: o fluxo "em leque", interrompido por: a) um local de elevação do NF; b) dois cones de rebaixamento A circulação "em leque" deve-se à transferência hídrica a partir da margem do rio. A elevação do NF estará relacionada com a presença de um domínio lagunar; o rebaixamento estará relacionado com a falta de abastecimento da vala de irrigação neste período - No setor sul: o fluxo é convergente para o eixo mais a S; é Interrompido por um local de elevação do NF e por um cone de rebaixamento	- No setor norte: SE→NW Interrompido por um local de baixo NF, devido a influência dos mesmos fatores e captação em furos - No setor centro-interior: o fluxo é muito irregular, devido a importante entrada/circulação de água a partir de dois locais (cor azul) - No setor centro-litoral: há ocorrência do fluxo "em leque" devido a mesmo fator anterior - No setor sul: fluxo no sentido E-W e convergente para o eixo centro costeiro.	- No setor norte: SE→NW (mesmos fatores) - No setor centro-interior: sentido N-S Neste período verifica-se intrusão da água do mar devido a elevação da temporal e antecedida de inundações ocorridas na região - No setor centro-litoral: fluxo muito irregular. (2) um local de elevação do NF. Isto justifica-se pela recarga do rio e ocorrência de chuva direta neste canal abandonado e na vala de irrigação - No setor S: fluxo W-E, Pode estar relacionado com a recarga marinha.
Relação hidrodinâmica Aquífero-Rio/vala	- No troço inicial o fluxo é aproximadamente paralelo ao rio - Nos troços intermédios e terminal o fluxo é de NE-	- No troço inicial o fluxo é divergente ao canal do rio. Neste período o rio promove uma importante recarga do aquífero	- Em todo troço o fluxo é N-S Neste período o rio serve de passagem de água para o sector S e promove a recarga do

Estratigrafia e Hidrogeologia do Depósito Deltaico do Rio Catumbela (Angola)

	SW Neste período o rio promove uma importante recarga do aquífero no extremo S	- Nos troços intermédios e terminal o rio funciona como uma zona de passagem da água subterrânea	respetivo aquífero
Situações anómalas - Reação do aquífero a pontos de captação de	- Três locais de elevação do NF, explicados pela presença da laguna e da vala como pontos recarregastes - Dois cones de rebaixamento, devido a existência de pontos de captação mais intensa - Um local de elevado gradiente hidráulico, devido a ausência de água na vala de irrigação	- A Norte há dois cones de rebaixamento (F1 e Pz10), situados nos potenciais pontos de captação de água	- Três locais de elevação do NF a norte, devido a presença da laguna como ponto recarregante (Pz13) e a vala de irrigação (Pz5 e Pz10) - Um cone de rebaixamento a N e dois no interior; justificam-se pela existência de pontos de captação mais intensa a N e à pouca recarga pluvial ocorrida neste período no setor S.
Variações espaciais de gradientes hidráulicos / velocidades de fluxo*	- No geral o gradiente hidráulico é suave Constituem exceções: - os pontos recarregantes que promovem a elevação do NF devido a existência de lagunas e à vala de águas urbanas - os locais de rebaixamento promovidos pela captação de água e a fraco abastecimento de água na vala de irrigação	- No geral o gradiente a velocidade de escoamento é baixo (suave). Constituem exceções a N os locais de rebaixamento do NF devido a captação acentuada de água	- No geral o gradiente hidráulico é maior (velocidade de escoamento alta); isto justifica-se pela ocorrência de inundações neste período, devido a grandes quedas pluviométricas Constitui exceção a S onde o gradiente hidráulico é suave devido à baixa pluviometria neste extremo

(*) Quanto mais próximas estiverem as isopiezas maior o gradiente hidráulico e maior a velocidade de fluxo.

6.3.3. Evolução do nível freático

Baseando-se nas cartas de fluxo anteriormente apresentadas, foi possível construir três cartas (Figs. 6.8) que ilustram a variação do nível freático entre as três campanhas.

Estratigrafia e Hidrogeologia do Depósito Deltaico do Rio Catumbela (Angola)

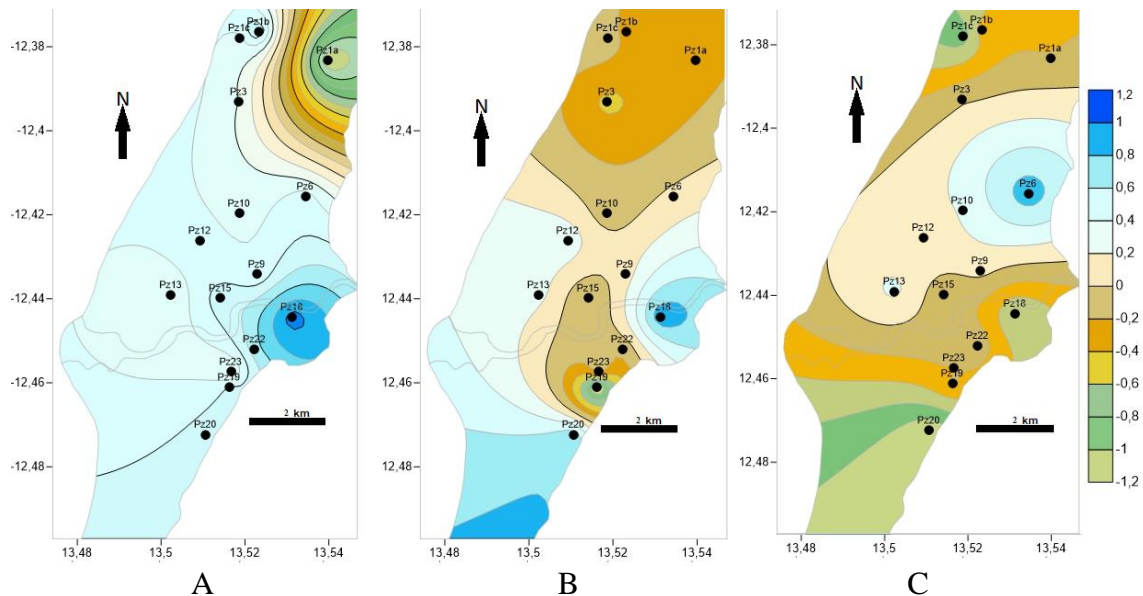


Figura 6. 8. Cartas expressando as variações espaciais dos níveis freáticos (em m) entre os meses de: A-março 2013-novembro 2013; B-março 2014-novembro 2014 e C-novembro de 2014-março de 2015.

A interpretação detalhada das cartas apresenta-se na Tabela 6.7, na generalidade é possível observar que:

- Nos diversos períodos das campanhas realizadas os domínios de fluxo e refluxo no domínio aquífero estudado foram variando tendo a subida máxima ocorrida no intervalo de novembro 2014/março 2015 no domínio interior centro. O rebaixamento máximo ocorreu no intervalo de março/novembro 2014 em um ponto (pz21) da costa sul.

-A subida máxima pode estar relacionada com a recarga direta das altas precipitações ocorridas na região em estudo (março 2015) e causaram inundações na área estudada assim como a morte de mais de 20 pessoas e desabamento de mais de 100 habitações.

Estratigrafia e Hidrogeologia do Depósito Deltaico do Rio Catumbela (Angola)

Tabela 6. 7. Interpretação das variações espaciais dos níveis freáticos expressos nas cartas da Figura 6.8.

Elementos	Março-Novembro 2013	Março-Novembro 2014	Novembro 2014 a Março 2015
Subida máxima / local	Cerca de 1 m na costa norte e em dois pontos no interior centro (Pz2b, Pz1c e Pz10)	Cerca de 1 m no interior centro e em um ponto a sul (Pz18 e Pz 20)	Cerca de 1 m no interior centro (Pz 20 e Pz18)
Rebaixamento máximo / local	-0,5 m a NE e interior centro (F4, F6 e F5)	-1 m em um ponto da costa sul (Pz21)	- 1 m em um ponto da costa centro (Pz13)
Análise geral por setor	<p>- A norte: subida a NW rebaixamento a NE</p> <p>- No centro: subida a centro costeiro e rebaixamento no interior centro</p> <p>-No sul: subida máxima a SSE e rebaixamento em todo setor mais a sul</p> <p>Entre março 2013 e Novembro 2013 ocorreu maior transferência de água da costa norte para o centro sul do aluvião</p>	<p>- No centro: subida no interior centro e rebaixamento no centro costeiro</p> <p>- No sul: maior rebaixamento em quase todo setor costeiro sul</p> <p>Neste período ocorreu transferência hídrica subterrânea do interior centro para o extremo norte.</p>	<p>Exceções:</p> <p>a) subida máxima em um ponto do interior centro</p> <p>b) rebaixamento máximo em um ponto do interior costeiro</p> <p>De modo geral, o período é caracterizado por subida de nível freático. Este comportamento justifica-se pela maior transferência de água devido a grandes quedas pluviométricas que ocorreram neste período, causando até inundações, principalmente no sector norte</p>

De modo geral os resultados das variações e da evolução anual dos níveis piezométricos no DDRRC mostram que os níveis são mais altos no setor E e mais baixos no sector W. Este facto justifica-se pela morfologia superficial da área em análise que apresenta cotas superiores a 12 m no sector E no contacto com as formações cretácicas de muro (soco). Contrariamente ao setor W que está preenchido com materiais detríticos do Holocénico apresenta cotas inferiores a 12 m.

As cartas de fluxo evidenciam claramente a influência do canal principal do rio na hidrodinâmica subterrânea. Assim, constata-se que a drenância hídrica subterrânea é tendencialmente acentuada para o setor N e pouco para S. Como abordado no capítulo 5 este comportamento corresponde à evolução histórica da morfologia do canal do rio Catumbela, no qual, o setor N era o antigo sentido de fluxo do rio onde foi desembocando alternadamente para S até a posição atual.

O sentido geral do fluxo hídrico no aquífero freático (E→W) é consequência da topografia local que se caracteriza pela cota máxima no sector E a mínima no sector W. No entanto, os valores dos níveis freáticos (máximos, mínimos, médios e desvio padrão) oscilaram quase na mesma proporção na maioria dos pontos de observação.

O canal principal do rio, as valas de irrigação e o mar destacam-se como fatores fundamentais de recarga e de condicionamento da direção de fluxo da água subterrânea no DDRC, sendo que o mar exerce a maior influência na época de verão (ocorrência de precipitações), o rio e as valas de irrigação na época de inverno (baixas ou nulas precipitações).

6.4. Ensaio hidrodinâmicos

De acordo com as possibilidades de realização de ensaios (condições de introdução da sonda acústica, disponibilidade da bomba e ausência de exploração de água subterrânea próximo do ponto do ensaio) selecionaram-se os pontos descritos na Tabela 6.8 (localização na Fig. 6.1) para a realização de ensaios hidráulicos do tipo ensaios de bombagem (*pumping tests*) e ensaios de recuperação simples (*slug-tests*). Com o desenvolvimento destes ensaios procurou-se confirmar algumas características hidrogeológicas dos aquíferos freáticos estudados.

No Anexo 6 apresentam-se as características gerais dos ensaios efetuados. Na Tabela 6.8 estão expressos os resultados obtidos.

Estratigrafia e Hidrogeologia do Depósito Deltaico do Rio Catumbela (Angola)

Tabela 6. 8. Valores da Condutividade hidráulica (K) estimados para as diversas Formações do DDRC com base nos resultados de ensaios hidráulicos (slug-tests e pumping tests) e na comparação com os valores expressos na bibliografia especializada (Hipólito, et al., 2011).

Ensaio hidrodinâmico	Ponto ensaiado	Domínio hidrogeológico (ponto 6.5) Fácies granulométrica (vd. Cap. 5)	Características hidrodinâmicas Condutividade hidráulica K (m/s)
Ensaio de recuperação simples (<i>slug-tests</i>)	F2	Mlc e P´ Areia e cascalho (59 a 98%)	Circulação moderada $10^{-4} < K < 10^{-3}$
	Pz1a	P´ Areia e cascalho (92 a 98%)	Circulação muito rápida $10^{-2} < K < 10^{-1}$
	F7	P´ Areia e cascalho (92 a 98%)	Circulação rápida $10^{-3} < K < 10^{-2}$
Ensaio de bombagem (<i>pumping test</i>)	F1	P´ Areia e cascalho (92 a 98%)	Circulação rápida $10^{-3} < K < 10^{-2}$
	F2	Mlc e P´ Areia e cascalho (59 a 98%)	Circulação moderada $10^{-4} < K < 10^{-3}$
	F3	P´ Areia e cascalho (92 a 98%)	Circulação rápida $10^{-3} < K < 10^{-2}$
	F4	Cfd Areia (0 – 98%)	Circulação moderada $10^{-4} < K < 10^{-3}$
	F5	P´ Areia e cascalho (92 a 98%)	Circulação moderada a rápida $10^{-4} < K < 10^{-2}$
	F6	P´ Areia e cascalho (92 a 98%)	Circulação moderada a rápida $10^{-4} < K < 10^{-2}$
	F7	P´ Areia e cascalho (92 a 98%)	Circulação moderada a rápida $10^{-4} < K < 10^{-2}$
	F8	P´ Areia e cascalho (92 a 98%)	Circulação rápida $10^{-3} < K < 10^{-2}$

Os ensaios hidrodinâmicos efectuados apresentaram muitas limitações e dificuldades operacionais (escasso número de pontos de medição do rebaixamento em cada ensaio, os tempos muito reduzidos de cada ensaio, as deficientes condições hidrodinâmicas dos furos ensaiados, nomeadamente por não serem furos totalmente penetrantes no aquífero freático, a pouca possibilidade de registo de todos os parâmetros de campo, etc.). Estas razões permitiram que os resultados obtidos apresentem uma margem de erro elevada e foram interpretados apenas semi-quantitativamente a qualitativamente através da comparação com os valores expressos na bibliografia de especialidade.. Assim, os valores expressos na Tabela 6.9 permitem adiantar as seguintes conclusões:

- existe uma correlação clara entre os valores de K e a fácies granulométrica do meio aquífero ensaiado.

- de uma forma geral, os ensaios hidrodinâmicos apontam para uma circulação rápida e valores de K elevados (10^{-4} a 10^{-1} cm.s⁻¹).
- todos os testes desenvolveram-se com a formação de cones de rebaixamento muito reduzidos.

6.5. Domínios hidrogeológicos do DDRC

Nesta fase do presente estudo e considerando os conhecimentos adquiridos através (1) da consulta bibliográfica, (2) da caracterização sedimentológica e estratigráfica (apresentada no Capítulo 4 e 5), (3) do reconhecimento de campo, nomeadamente a caracterização de pontos de água (superficiais e subterrâneos), (4) da implantação de piezómetros e medição de níveis da água, (5) do desenvolvimento de ensaios hidráulicos é possível organizar espacialmente o Depósito Deltaico do Rio Catumbela em vários domínios hidrogeológicos com características bem diferenciadas (Figs. 6.10): (I) Planície de inundação (Pi), (II) Canal fluvial/distributário (Cfd) (III) Mangal-laguna costeira (Mlc) e (IV) Praia (P'). Nas Tabelas 6.9, 6.10, 6.10 e 6.11 descrevem-se as principais características de cada domínio.

6.5.1. Planície de inundação (Pi)

Este domínio (Fig. 6.10 ver Perfil SN interno) distribui-se por quase todo depósito aluvionar, com maior destaque no sector centro-norte, e predomina no enchimento sub-superficial (primeiros 1-2 m). Trata-se de um domínio hidrogeológico com uma distribuição granulométrica fundamentalmente argila-siltosa (46-93%). Assim, este domínio (Tabela 6.8) tem um comportamento do tipo aquitardo, e promove o semi-confinamento das camadas aquíferas subjacentes. Localmente está intercalado por lentículas arenosas que permitem a recarga por drenância vertical das massas de água mais profundas. Nas saídas de campo efetuadas foi registado um número significativo de poços pouco profundos (< 3 m), implantados neste domínio hidrogeológico os quais servem no regadio de pequenas culturas agrícolas.

Tabela 6. 9. Caracterização geral do domínio hidrogeológico de Planície de inundação (Pi).

Característica/Parâmetro	Descrição
Geometria/dimensão [morfologia; espessura (m); extensão (m)]	Enchimento sub-superficial, em quase todo depósito aluvionar, com maior destaque no sector centro-norte (espessura 1-2 m, extensão máxima de cerca de 12000 m)
Litologia	Argila (2-45%), silte (22-71%) e areia (0-82%)
Porosidades - n; ne (%)	Co-aluvionares: n= 40-50; ne=2-10 Arenosos: n=35; ne= 25
Condutividade hidráulica – K (cm/s)	Não determinado
Recarga aquífera	A partir da infiltração direta sobre o depósito aluvionar, A partir do rio e valas de drenagem urbana;
Descarga aquífera	Para as unidades aquíferas adjacentes: Cfd, Mlc, P' e mar
Classificação hidrogeológica	Aquitardo com lentículas aquíferas

6.5.2. Canal fluvial/distributário (Cfd)

Trata-se de um domínio hidrogeológico que ocupa maioritariamente os níveis do DDRC com profundidades superiores a 1 m. Assim, está localizado próximo do limite interior do depósito deltaico e em duas faixas principais, sendo uma em torno do canal actual, e a outra num corredor que se desenvolve para a norte a partir do canal atual (Fig. 6.10 ver Perfil SN interno).

A litologia deste domínio hidrogeológico (Tabela 6.10) é composta maioritariamente pela fração areno-cascalhenta (geralmente superior a 95%) que se destaca por um predomínio de partículas sub-arredondadas ou angulosas. O domínio contém os melhores níveis produtivos constituídos por unidades aquíferas não-confinadas (livres) e semi-confinadas quando subjacentes aos domínios da planície de inundação (Pi). Nos trabalhos de campo foram registados furos de captação de água que nesta unidade que servem de abastecimento para a rega e consumo doméstico para algumas comunidades locais.

Tabela 6. 10. Caracterização geral do domínio hidrogeológico do Canal fluvial/distributário (Cfd).

Característica/Parâmetro	Descrição
Geometria/dimensão	Situado a profundidades > 1 m, em torno do canal atual, no corredor que se desenvolve para norte e próximo do limite interior do depósito deltaico (espessura de 1-3m; extensão máxima de cerca de 8.000 m)
Litologia	Areia (0-98%) e cascalho (0-40%)
Porosidades - n; ne (%)	n=20-45; ne=10-35
Condutividade hidráulica - K (m/s)	10-4 < K < 10-3
Recarga aquífera	Precipitação direta, drenância vertical através dos domínios Pi, Mlc e/ou P' A partir do rio e valas de drenagem urbana
Descarga aquífera	Para os domínios Mlc, P' e para o mar
Classificação hidrogeológica	Maioritariamente aquífero não-confinado (livre)

6.5.3. Mangal-laguna costeira (Mlc)

É um domínio hidrogeológico superficial e sub-superficial (Fig. 7.10 ver Perfil SN externo). Localiza-se em zonas topograficamente deprimidas situadas entre cordões litorais posicionados na extremidade norte do Delta, próximo do mangal do Lobito. Este domínio caracteriza-se (Tabela 6.11) pela: (1) Presença de fragmentos de conchas de moluscos marinhos e/ou de ambientes de transição, e por possuir quantidades significativas, mas muito variáveis, de material silto-argiloso (> 10%); (2) A presença de areia média a fina que se assemelha à observada em sedimentos de praia e a concentração de matéria orgânica de grão fino. De um modo geral a unidade é constituída maioritariamente por areia (75%) pelo que constitui um domínio hidrogeológico produtivo funcionando como aquífero livre poroso nas zonas onde aflora, passando a semi-confinado á medida que se encaminha para o interior do depósito deltaico.

As visitas de campo realizadas nesta área confirmaram a existência de furos de abastecimento das salinas locais, de mangais por vezes contaminados com resíduos domésticos, fossas sépticas das residências locais e uma Estação de Tratamento de Águas Residuais.

Apesar de esta unidade apresentar um potencial hidrogeológico considerável, as características acima descritas, constituem um fator negativo como fonte pontual ou linear de poluição das unidades aquíferas existentes na área.

Tabela 6. 11. Caracterização geral do domínio hidrogeológico do Mangal-laguna costeira (Mlc).

Característica/Parâmetro	Descrição
Geometria/dimensão	Localiza-se nos domínios superficiais e sub-superficiais, em zonas deprimidas entre cordões litorais e na extremidade norte do Delta (espessura ~ 5m; extensão máxima ~ 4000m)
Litologia	Areia (50-84%) com fragmentos de conchas de moluscos marinhos; silte (9-36%) e argila (2-4%)
Porosidades - n; ne (%)	n=20-45; ne=10-35
Condutividade hidráulica – K (cm/s)	$10^{-2} < K < 10^{-1}$
Recarga aquífera	Precipitação direta, drenância vertical a partir dos domínios Cfd e P' A partir do rio e valas de drenagem urbana
Descarga aquífera	Para o domínio Cfd, P' e para o mar
Classificação hidrogeológica	Maioritariamente aquífero não-confinado (livre)

6.5.4. Praia (P')

Nos quatro domínios hidrogeológicos que evoluem no Delta do rio Catumbela, este apresenta o maior interesse do ponto de vista hidrogeológico porque ocupa a maior extensão e espessura com a litologia dominante arenosa (91-98%). Distribui-se a norte e a sul do leito atual do rio, (Figs. 6.10), regra geral, quando comparada com os restantes domínios hidrogeológicos arenosos, os grãos de quartzo encontram-se ligeiramente mais arredondados. Contudo, ainda são comuns elementos sub-angulosos. É frequente encontrar fragmentos de conchas de lamelibrânquios e gastrópodes marinhos.

Ocorrem unidades aquíferas em níveis sobrejacentes a este domínio P'. São do tipo semi-confinado e evoluem nas formações hidrogeológicas da Planície de inundação (Pi), do Canal fluvial/distributário (Cfd) e do Mangal-laguna costeira (Mlc). Estas formações (Pi, Cfd e Mlc), são essencialmente do tipo detrítico, constituídas por areias, argilas e silte. Uma vez sobrejacentes à unidade de Praia (P'), funcionam como barreira hidráulica de tipo aquitardo. São recarregadas a

partir da precipitação e infiltração locais e, por conseguinte, promovem a recarga do domínio hidrogeológico de Praia (P').

Neste domínio hidrogeológico existem captações de abastecimento público nomeadamente o Sistema de Captação da Zona Velha e Sistema de Captação do Tchiúle, cujos furos atingem a profundidade de 40 m (Jesus, 2012).

Durante as visitas de campo foram registados alguns furos que se distribuem alternadamente no depósito deltaico, cuja profundidade varia de 10 a 80 m. Neste conjunto, os furos com as profundidades inferiores a 15 m, em geral são de proprietários singulares e servem para o abastecimento doméstico assim como para rega. Os furos mais profundos (50 a 80m) são propriedade de empresas privadas (agrícolas, industriais, comerciais, etc.) e servem para o abastecimento daquelas empresas.

Tabela 6. 12. Caracterização geral do domínio hidrogeológico da Praia (P').

Característica/Parâmetro	Descrição
Geometria/dimensão	Localizado em níveis sub-superficiais (> 1m) e superficiais, distribui-se a norte e a sul do leito atual do rio (espessura > 50m; extensão máxima cerca de 15000m)
Litologia	Areia (82-98%) e cascalho (0-14%)
Porosidades - n; ne (%)	n=20-45; ne=10-35
Condutividade hidráulica - K (cm/s)	$10^{-3} < K < 10^{-2}$
Recarga aquífera	Precipitação direta; drenância vertical das unidades aluvionares e a partir do soco cretácico Por drenância horizontal e vertical a partir do rio e valas de drenagem urbana A partir do mar (intrusão salina no setor E do Depósito Deltaico)
Descarga aquífera	Para o mar
Classificação hidrogeológica	Aquífero semi-confinado

6.6. Modelação hidrogeológica conceptual

Os conhecimentos e resultados atrás obtidos, nomeadamente os elementos sedimentológicos e estratigráficos, os elementos piezométricos e de natureza hidrodinâmica, assim como a organização espacial do depósito, permitem avançar com a construção de um modelo hidrogeológico conceptual para o

DDRC. Com este modelo pretende-se descrever os processos de recarga e descarga das massas de água subterrâneas que evoluem naquele domínio, assim como a hidrodinâmica subterrânea.

6.6.1. Recarga aquífera

Tendo em conta o volume total e as variações anuais das massas de água subterrâneas que evoluem no DDRC, assim como as fracções que poderão ser exploradas - recursos hídricos - é importante que se proceda ao estudo de recarga aquífera. Para Eduardo, Francês e Ribeiro (2007) a correta avaliação da recarga aquífera é fundamental no cálculo das disponibilidades hídricas para abastecimento público e agricultura, e a recarga tem também implicações no balanço hídrico dos sistemas aquíferos e das bacias hidrográficas, ao nível dos caudais ecológicos, em especial nos aquíferos freáticos pouco profundos, com comportamento sazonal efluente sobre as linhas de água e ribeiras.

No DDRC, com uma área plana de 71,8 km², a recarga aquífera decorre de processos naturais e não-naturais (ou induzidos).

Na recarga natural destaca-se:

- A transferência hídrica a partir de massas de água superficiais. Designadamente: (1) o escoamento superficial a partir do canal principal do rio, (2) das linhas de água sazonais alimentadas pelas precipitações no verão, (3) de lagoas e mangais locais e a recarga marinha.
- A infiltração resultante da precipitação atmosférica directa no DDRC. Os volumes de recarga aquífera associados a este processo são reduzidos devido aos baixos valores anuais da precipitação atmosférica (cerca de 395mm) e ocorrem com maior eficiência nos locais da superfície ocupados com depósitos grosseiros, nomeadamente com sedimentos de areia fluvial e sedimentos de areia da praia (ver Figs. 5.1 e 5.9). Neste processo destaca-se o sector interior norte e oeste (costeiro), caracterizado por materiais de areno-cascalhentas do

enchimento de canal que, predomina no interior sul, e de praia, que ocupa todo sector oeste.

- A transferência hídrica profunda a partir do soco cretácico. Este processo é difícil de quantificar.

Na recarga artificial destacam-se os seguintes processos de- transferência e infiltração de água que evolui (1) no sistema das valas de irrigação agrícola que se estende em quase todo depósito deltaico, assim como (2) no sistema de drenagem de efluentes urbanos que afeta principalmente o setor norte do canal do rio onde ocorre o crescimento habitacional, industrial e comercial das cidades do Lobito e Catumbela.

De todos os processos de recarga aquífera do DDRRC acima referidos, destaca-se claramente a transferência de água a partir do escoamento hídrico superficial. Assim, apresentam-se seguidamente as principais características daquele segmento do ciclo hidrológico local:

- O escoamento superficial na área em estudo, é mais acentuado na época de elevadas precipitações atmosféricas (fevereiro a abril) com sentido geral E-W, e está condicionado pela altimetria e relativa impermeabilidade do terreno.

- O caudal e a velocidade de escoamento superficial diminuem e estabilizam nos domínios do DDRRC, havendo facilmente a formação de pequenos charcos (lagunas e mangais) que acentuam e prolongam a recarga aquífera;

- De um modo geral, o escoamento superficial conflui para as zonas mais a W do setor em estudo, progredindo para NW, junto a cidade do Lobito, podendo-se aferir que nos meses mais secos e quentes há uma contribuição das unidades aquíferas diretamente para o rio Catumbela, e nos meses de maior precipitação, ocorre a recarga aquífera a partir das linhas de água e das valas de drenagem urbana.

6.6.2. Descarga aquífera

A descarga aquífera do sistema hidrogeológico implantado no DDRC, à semelhança da recarga aquífera, engloba processos naturais e induzidos.

Os processos naturais incluem:

- Descarga para o mar no setor W do DDRC. Este constituirá o processo mais importante e regular em termos quantitativos; - descarga para os mangais no setor NE. Ocorrerá nos períodos do ano em que os níveis piezométricos estão mais elevados.

- Transferência de água para a atmosfera por evapotranspiração.

Quanto à descarga induzida, destaca-se claramente a captação das massas de água subterrânea através de poços (cacimbas) e furos. Esta captação processa-se em toda a extensão do DDRC. Contudo, são particularmente importantes no setor centro-leste, com os furos de captação de água de abastecimento público, e no do setor N do canal do rio, com os furos de captação de água destinada a rega e consumo doméstico. Não há registos regulares e públicos dos volumes captados.

6.6.3. Circulação e armazenamento hídricos subterrâneos

No enquadramento hidrogeológico em estudo, o sentido geral do fluxo hídrico subterrâneo tendencialmente aproxima-se do fluxo hídrico superficial em destaque nos setores com a topografia mais alta. Assim, a circulação subterrânea principal efectua-se de leste (interior) para oeste (linha de costa). Contudo, a circulação hídrica no DDRC também têm uma componente vertical e sub-vertival que resulta da transferência hídrica por drenância vertical e lateral das unidades aquíferas superiores para as mais profundas.

De acordo com as cartas piezométricas apresentadas anteriormente (Figs. 6.6, 6.7 e 6.8) a hidrodinâmica no DDRC apresenta as seguintes características gerais:

- O fluxo geral da água subterrânea faz-se no sentido E-W, facto que promove a maior descarga natural do aquífero para o mar;
- O sentido de fluxo no setor norte, faz-se de SE-NW devido à influência da topografia e à intensa passagem de água do centro-interior para norte;
- No setor centro-interior o fluxo é muito irregular e observa-se a entrada/circulação de água a partir de alguns pontos específicos possivelmente relacionados com a recarga profunda a partir do soco cretácico;
- No setor centro-litoral o fluxo “em leque” é interrompido por locais de elevação do nível freático e cones de rebaixamento possivelmente relacionados com a captação de água para rega.
- No setor S o fluxo evolui de E-W (regra geral da formação deltaica).
- É usual ocorrer circulação “em leque” a qual se deve à transferência hídrica a partir da margem do rio;
- A elevação do nível freático no setor norte e costeiro centro deve-se à presença de domínios lagunares;
- O rebaixamento registado em alguns piezómetros do setor norte, época de fracas chuvas (novembro), estará relacionado com a falta de abastecimento da vala de irrigação no período de pouca recarga hídrica.

6.6.4. Modelos hidrogeológicos setoriais

Os elementos sedimentológicos e hidrogeológicos adquiridos e interpretados possibilitaram a construção de 3 perfis hidrogeológicos: S-N interno, S-N externo e W-E (localização na Fig. 6.9). Estes perfis são ilustrativos do modelo conceptual acima descrito. A localização dos perfis deveu-se à seleção de locais com maior disponibilidade de elementos de natureza geológica e hidrogeológica e ao objetivo de fornecer o maior volume de informação sobre a hidrogeologia do DDRC. Na Figura 6.10 apresentam-se respetivos perfis realizados. Os furos que estão inseridos nos cortes estão distanciados de 500 a 1000 m e possuem uma profundidade ≥ 11 m.



Figura 6. 9. Localização dos três perfis hidrogeológicos construídos para a área de estudo: S-N interno, S-N externo e W-E.

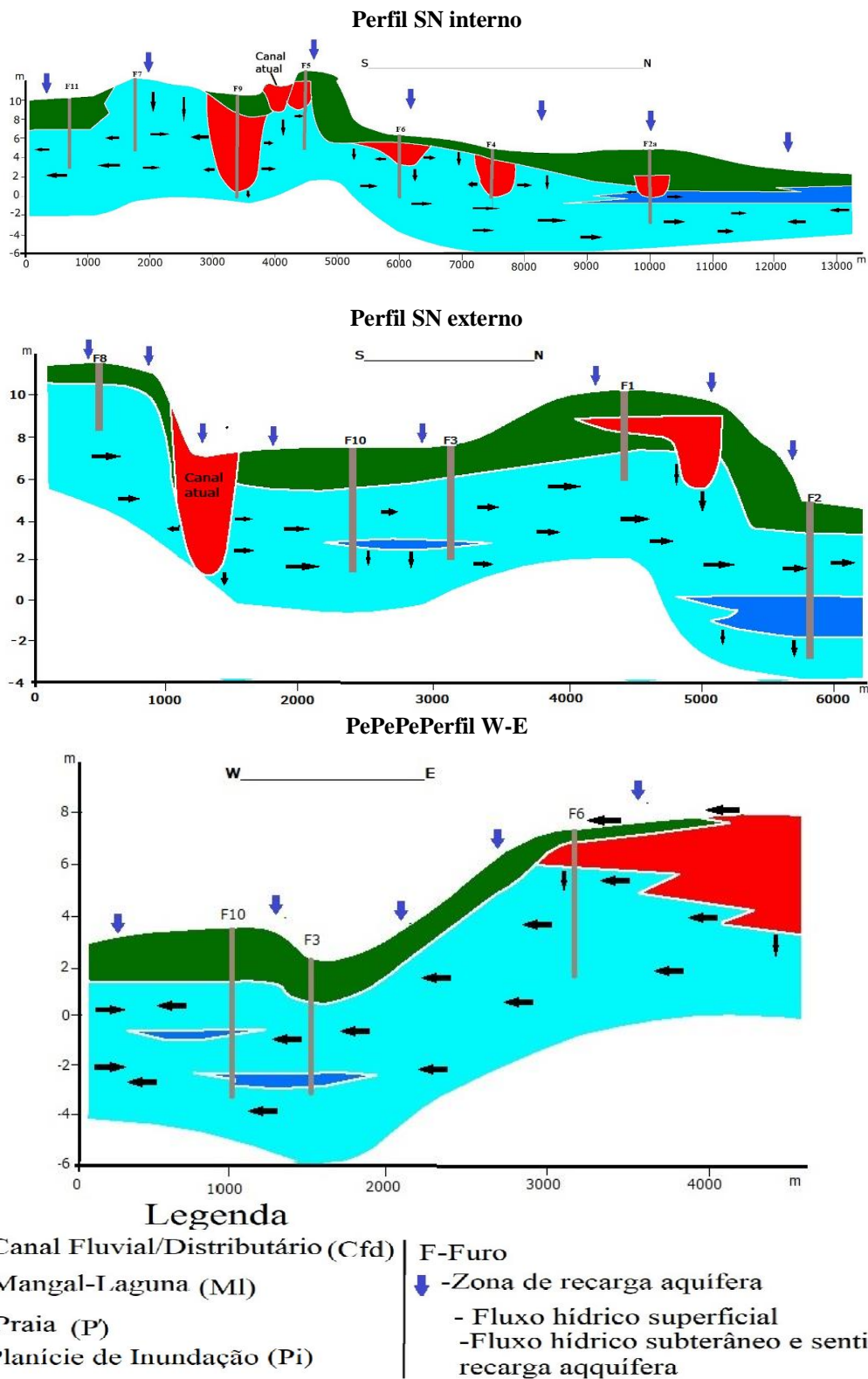


Figura 6. 10. Perfis hidrogeológicos (S-N-interior, SN externo, e W-E) interpretativos da hidrogeologia do DDRC.

A leitura dos perfis efectuados permite as seguintes ilações:

- O perfil S-N interno tem cerca de 13 km de comprimento incluindo todas unidades aquíferas definidas para o depósito em estudo e comporta 7 furos. A morfologia do perfil mostra que o ponto mais alto corresponde ao sector do canal atual e apresenta a declividade mais acentuada no sentido N e menos acentuada no sentido S.
- O perfil S-N externo com 5 furos, atravessa o canal principal do rio, percorre cerca de 6 km de comprimento. A morfologia do perfil apresenta um desnível suave (cerca de 2 m) sendo os pontos (F1 e F8) apresentam cotas mais altas e F2 tem a cota mais baixa (3 m).
- O perfil W-E começa quase na separação da aluvião com o soco (Cretácico) e termina próximo do Oceano Atlântico. Abrange 3 furos ao longo de uma linha com cerca de 5 km de comprimento. Comparado com os outros perfis, este apresenta um desnível relativamente mais acentuado (cerca de 3 m) sendo que os pontos F1 e F8 apresentam cotas mais altas e F2 tem a cota mais baixa (3 m);
- A unidade de Planície de Inundação (Pi) é uma camada com a espessura aproximada 2 ± 5 m, faz parte do sistema hidrogeológico superficial não produtivo, estando alternadamente adjacente à unidade de Canal fluvial/distributário (Cfd);
- A unidade de Canal fluvial/distributário (Cfd) com a espessura cerca de 10 m em faixas estreitas, destaca-se pela geometria em lentículas arenosas que, muito embora estejam adjacentes a pacotes de camadas argilosas com grandes espessuras, podem ter alguma capacidade produtiva;
- A unidade de Mangal-laguna Costeira (Mlc) se desenvolve mais na extremidade norte do delta e também apresenta algum indicador de capacidade hidrogeológica quantitativamente produtiva;
- A unidade de Praia (P´) é a mais importante do ponto de vista hidrogeológico. Ela distingue-se pela maior extensão, maior espessura, melhor porosidade e melhor qualidade ambiental.

Na generalidade da planície deltaica observa-se à superfície a unidade hidrogeológica da Planície de Inundação que se destaca por litologia de grão fino com até cerca de 5 m de espessura, definindo uma cobertura hidrogeológica não produtiva (aquicluso).

As camadas do canal fluvial/distributário, por sua vez, são mais circunscritas, mas podem alcançar perto de 10 metros de espessura em faixas estreitas. Nas zonas mais ocidentais dominam as unidades hidrogeologicamente mais produtivas de praia, surgindo em alguns pontos intercalados com fácies de Mangal-Laguna.

6.7. Avaliação geral de reservas hídricas subterrâneas

Com base nos elementos e interpretações de natureza geomorfológica, sedimentológica e hidrogeológica apresentados anteriormente, é possível estimar os volumes de água subterrânea armazenados no domínio estudado (DDRC). Assim, determinaram-se os valores da reserva reguladora e da reserva permanente (Tabelas 6.13, 6.14 e 6.15).

Entende-se por: (1) Reserva reguladora (Rr): o volume de água correspondente à variação sazonal no meio aquífero, ou seja, o volume correspondente à variação sazonal do nível piezométrico. (2) Reserva permanente (Rp): o volume de água subterrânea armazenado nos domínios do aquífero e situados abaixo do nível piezométrico mínimo.

A Rr e a Rp determinam-se através de (segundo Costa, 1998):

$Rr = A.\Delta h.n_e$	$Rp = A.b.n_e$
-----------------------	----------------

A- Área plana do aquífero

Δh - Variação do nível piezométrico (= nível médio máximo. – nível médio mínimo.)

n_e - Porosidade eficaz do aquífero

b- espessura média saturada do aquífero (m)

Estratigrafia e Hidrogeologia do Depósito Deltaico do Rio Catumbela (Angola)

Tabela 6. 13. Características morfológicas do sistema aquífero do DDRC.

Área plana do aquífero (A)	71,8 km ²
Espessura média saturada do aquífero (h ou b)	50 m
	40 m
	40 m
Varição média do nível piezométrico (Δh ou Δb) (2) Nível máximo = 1,8m Nível mínimo = 0,6m	1,2 m
Porosidade eficaz do aquífero (n_e) (3)	20%
	15%
	10%

(¹) A espessura média saturada foi determinada com base nos dados de furos executados para este estudo e em informações genéricas dos furos pré-existentes, nomeadamente as profundidades máximas, a cota de exploração.

(²) A variação média do nível freático foi determinada a partir das variações médias anuais dos níveis freáticos registados nos diversos pontos de medição durante as campanhas realizadas neste estudo.

(³) A porosidade eficaz foi estimada em função das características litológicas do aluvião e por comparação com valores apresentados na bibliografia especializada.

Tabela 6. 14. Cálculo de Rr e Rp do sistema aquífero do DDRC.

Considerando $n_e = 0,20$ (ou 20%); $b = 50$ m e $\Delta h = 1,2$ m	
Reserva reguladora (Rr)- m ³	Reserva permanente (Rp)- m ³
Rr = 17 239 160,4 m ³	Rp = 718 298 350 m ³
Considerando $n_e = 0,15$ (ou 15%) e $b = 40$ m e $\Delta h = 1,2$ m	
Reserva reguladora (Rr)- m ³	Reserva permanente (Rp)- m ³
Rr = 12 929 370,3 m ³	Rp = 430 979 010 m ³
Considerando $n_e = 0,10$ (ou 10%) e $b = 30$ m e $\Delta h = 1,2$ m	
Reserva reguladora (Rr)- m ³	Reserva permanente (Rp)- m ³
Rr = 8,619 580,2 m ³	Rp = 215 489 505 m ³

Na Tabela 6.15 apresentam-se os valores da reserva permanente e da reserva reguladora estimados para o sistema aquífero do DDRC.

Estratigrafia e Hidrogeologia do Depósito Deltaico do Rio Catumbela (Angola)

Tabela 6. 15. Valores da reserva permanente e da reserva reguladora estimados para o sistema aquífero do DDRC.

Reserva permanente	(b=50m e ne=20%) Melhor cenário	718 298 350 m ³
	(b=40m e ne=15%) Cenário médio	430 979 010 m ³
	(b=30m e ne=10%) Pior cenário	215 489 505 m ³
Reserva reguladora	Melhor cenário ($\Delta h = 1,2$ m e ne=20%)	17 239 160,4 m ³
	Cenário médio ($\Delta h = 1,2$ m e ne=15%)	12 929 370,3 m ³
	Pior cenário ($\Delta h = 1,2$ m e ne=10%)	8,619 580, 2 m ³

Os valores apresentados apontam para a ocorrência no DDRC de uma massa de água subterrânea com enorme relevância, nomeadamente ao nível de recursos hídricos. Contudo, recomenda-se que os valores explorados anualmente não ultrapassem o volume estimado para a Reserva reguladora.

CAPITULO 7 - HIDROGEOQUÍMICA

As características físico-químicas de uma massa de água subterrânea resultam de variados factores e processos que decorrem da interacção água-aquífero, mas também do processo de recarga aquífera. Estes processos podem ser naturais ou induzidos pela actividade humana.

Neste capítulo apresentam-se e interpretam-se os resultados das análises físico-químicas das massas de água subterrâneas e superficiais (furos, poços e linhas de água) que evoluem no depósito deltaico do rio Catumbela (DDRC), nomeadamente: (1) resultados as análises de campo (*in situ*) e (2) resultados de análises laboratoriais. Devido a limitações logísticas (nomeadamente de equipamento laboratorial) e financeiras (elevado custo por análise laboratorial) não foi possível determinar todos os elementos maiores e alguns traço. No entanto, permitiu contribuir para a caracterização físico-química das massas de água presentes no DDRC e para o entendimento dos processos hidrogeoquímicos ativos na génese das suas *fácies*.

7.1. Pontos de amostragem

O critério da seleção dos pontos de amostragem teve em conta a cobertura representativa de amostras de água a nível da área, facto analisado em função das características ambientais e a forma de ocupação humana, pelo que, em todo aluvião foram seleccionados (41) pontos de amostragem de água, sendo 29 furos, 3 poços, 6 vala e 3 rio). que serviram para medições no campo e amostragem para análise no laboratório (Fig. 7.1A).

7.1.1. Águas subterrâneas

Foram seleccionados 32 pontos (29 furos, 3 poços) para análise *in situ* (Fig. 7.1A): A sua distribuição no aluvião é mais densa no extremo direito do leito do rio e menor à esquerda, cuja distribuição não é tão uniforme, devido às dificuldades de acesso e à interferência humana nomeadamente na destruição de muitos furos previamente seleccionados. Como já referido no ponto 3.4, a distribuição dos furos no aluvião distingue-se em três sectores (norte, centro e sul), cujas características de cada um já foram resumidas no ponto 3.4.

As profundidades dos furos executados propositadamente para esta investigação (piezómetros) variaram de 2 a 14 m. Neste conjunto, os de profundidade superior a 7 metros (num total de 5 furos) depois de executados e encamisados foram oferecidos aos agricultores locais servindo assim para a rega e outros fins.

7.1.2. Águas superficiais (rio e vala)

Os pontos seleccionados (6 vala e 3 rio) localizam-se no curso do rio Catumbela e na vala de drenagem de águas urbanas que se localiza a norte do DDRRC. Para a monitorização e amostragem destas águas, foram seleccionados três pontos ao longo do rio e seis pontos ao longo da vala (Fig. 7.1A).

De montante para jusante o ponto R1 fica junto da ponte 4 de Abril, próximo do afloramento dos calcários dolomíticos (formações do soco), o R2 distancia-se cerca de 1200m do anterior e fica próximo da fábrica de cerveja CUCA (Soba-

Catumbela); o último ponto (R3) situa-se a 1340m do anterior e a 4130 m da foz. De modo geral, nos três pontos predomina a vegetação palustre local e as culturas de milho, bananeira, cana-de-açúcar, etc. A litologia enquadrante é basicamente constituída por argila, areia e silte, castanha e cinzenta. Como é óbvio, a intervenção humana é predominante nestes pontos, motivada pelo desenvolvimento da agricultura, a indústria de bebidas, a circulação rodoviária, exploração de inertes, etc.

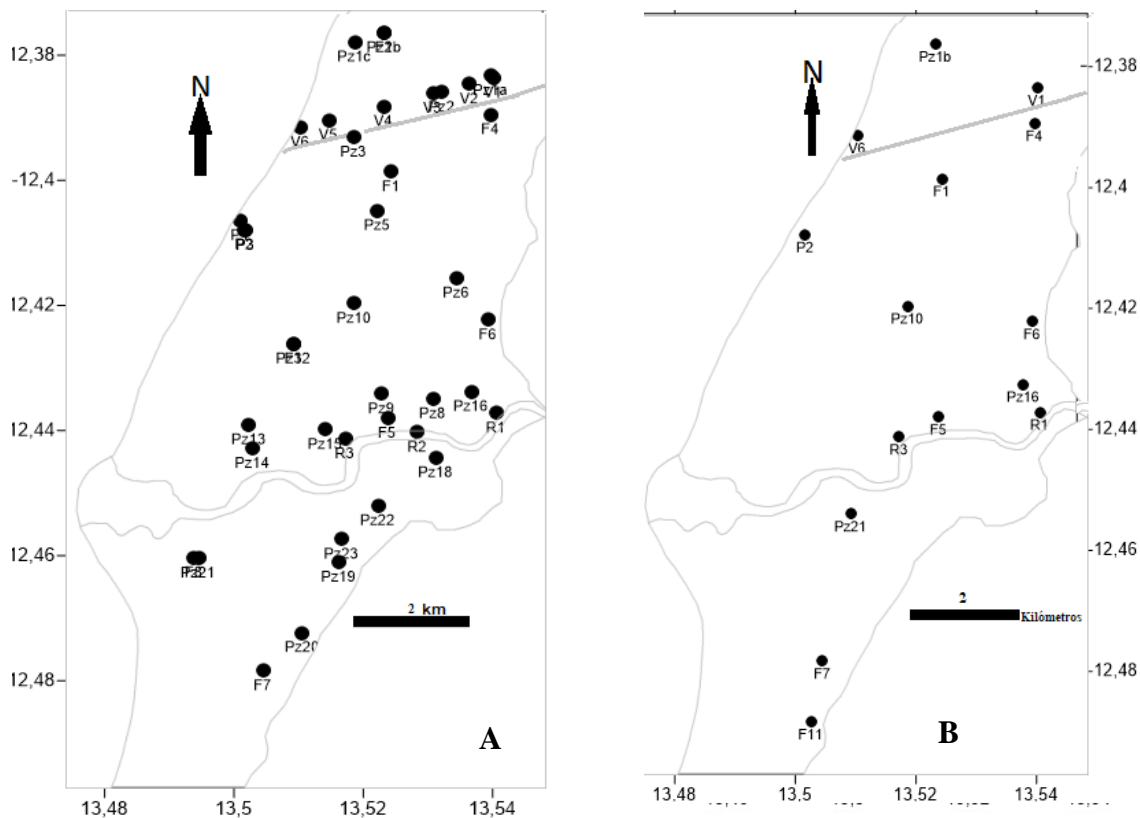


Figura 7. 1. Localização dos pontos de medição *in situ* dos parâmetros físico-químicos (A) e químicos (B) na área em estudo (Pz=Piezômetros, R=Rio, P= Poço, V=Vala, F=Furo).

Os pontos situados na Vala norte têm um enquadramento caracterizado por canal de evacuação de águas urbanas que desemboca junto o mar. Esta característica tem proporcionado à cobertura vegetal intensa da vala principalmente na época de chuvas (verão) e, por conseguinte, na época seca (inverno) devido a influência da água marinha, em períodos de elevação da onda, ocorre a extinção massiva de cobertura vegetal.

7.2. Medições, parâmetros e métodos analíticos

Como referido no ponto anterior as campanhas de medições *in situ* e de amostragem da água decorreram de 2013 a 2015, nos meses de março e novembro de cada ano.

7.2.1. Medições de campo (*in situ*)

Foram 41 pontos seleccionados (Fig. 7.1A) para as medições de campo (*in situ*) e utilizou-se o medidor Multiparamétrica de água Marca HANNA, modelo HI9828 (Fig. 7.2). Nos furos a água foi recolhida com um amostrador, No caso dos poços e linhas, a medição foi feita directamente na massa de água. Os resultados foram gravados no disco interno do aparelho, posteriormente descarregados no computador e processados no programa Excel. Os parâmetros físico-químicos analisados e métodos utilizados estão indicados na Tabela 7.1. Os procedimentos de medição foram os mesmos em todos os momentos de amostragem e análise durante a investigação



Figura 7. 2. Momentos de medição *in situ* dos vários parâmetros físico-químicos utilizando o equipamento multiparamétrico HANNA, modelo HI9828.

Tabela 7. 1. Parâmetros físico-químicos analisados *in situ* nas águas subterrâneas e superficiais recolhidas no DDCR.

Parâmetros físico-químicos	Unidades	Método	Equipamento
Temperatura	(°C)	4 Eléctrodos AC	Sonda Multiparamétrica HANNA/HI9828
Potencial hidrogeniónico			
Potencial de oxidação-redução (ORP)	(mV)		
Oxigénio Dissolvido	ppm		
Condutividade Eléctrica	µS/cm		
Sólidos Dissolvidos Totais	ppm		
Pressão Atmosférica	mbar		

7.2.2. Análises de laboratório

No caso da amostragem para a análise químicas em laboratório utilizou-se o seguinte procedimento: em cada fase de amostragem recolheram-se 15 amostras de água nos respectivos pontos sendo: 6 amostras de furos, 4 amostras de piezómetros, 2 amostras de rio, 2 amostras da vala 1 amostra de poço (Fig. 7.1B).

Os frascos de amostragem e de conservação da água tinham capacidade de 1,5 L, foram previamente lavados com a água desmineralizada e postos a secar em ambiente natural. No campo, os mesmos recipientes foram passados por água do ponto a amostrar. Após o enchimento as amostras foram conservadas a baixa temperatura numa mala-térmica. Seguidamente, as amostras foram levadas ao laboratório e submetidas a filtração. Por razões logísticas para a conservação das amostras de água, em cada campanha, recolhia-se somente 5 amostras por dia.

Na análise laboratorial foi utilizado um fotómetro de bancada Multiparâmetros de marca Hanna de modelo HI83200 (Fig. 7.3). Este equipamento usa uma lâmpada de tungsténio e radiação UV-visível.

As análises foram realizadas seguindo o procedimento operacional padrão da fotometria. Os parâmetros químicos determinados e a metodologia estão descritos na Tabela 7.2.

No sentido de assegurar a melhor qualidade dos resultados, começou-se pelos parâmetros mais críticos: alcalinidade (mg/L de CaCO_3), nitratos (mg/L), nitritos, (mg/L), amoníaco (mg/L) e fosfato (mg/L).



Figura 7. 3. Equipamento e momentos da análise química dos vários parâmetros utilizando o fotómetro de bancada Multiparâmetros de marca Hanna de modelo HI83200.

Tabela 7. 2. Parâmetros químicos analisados nas águas subterrâneas e superficiais recolhidas no DDCR.

Parâmetros	Símbolo	Gama	Unidade	Método	Equipamento
Alcalinidade	CaCO ₃	0 a 500	mg/L	Colorimétrico	Fotómetro de bancada - Hanna/HI83200
Cloro	Cl ⁻	0,00 a 2,70	mg/L	DPD	
Sulfato	SO ₄ ²⁻	0 a 150	mg/L	Turbidimétrico	
Nitrato	NO ₃ ⁻	0,0 a 30	mg/L	Redução cádmio	
Cálcio	Ca ²⁺	0 a 2,70	mg/L	Calmagite	
Magnésio	Mg ²⁺	0,0 a 2	mg/L	EDTA	
Manganês	Mn	0,0 a 20	mg/L	Periodato	
Potássio	K ⁺	10 a 100	mg/L	Turbidimétrico	
Fosfato	PO ₄ ³⁻	0,0 a 2,5	mg/L	Aminoácido	
Nitrito	NO ₂ ⁻	0,0 a 0,35	mg/L	Diazotização	
Amoníaco	NH ₃	0,0 a 3,0	mg/L	Nessler	
Crómio	Cr	0,0 a 300	mg/L	Difenilcarboidrazida	
Molibdénio	Mo ⁶⁺	0,0 a 40	mg/L	Ácido mercaptoacético	
Iodo	I	0,0 a 12,5	mg/L	DPD	

7.3. Resultados obtidos

O ano de 2013 marcou o início das campanhas de amostragem e análises, as quais prolongaram-se até 2015. Os resultados obtidos então expressos no Anexo 5.

Nas sucessivas campanhas ocorreram falhas na amostragem em alguns pontos de medição devido a três factores fundamentais: (1) o domínio em estudo é muito frequentado pela comunidade local, causando a destruição de alguns furos; (2) na época de inverno, principalmente nos meses de outubro e novembro, ocorreu pouca recarga no aluvião pelo que os níveis hidrostáticos de alguns furos

baixavam demasiado e por vezes secaram; (3) em algumas épocas do ano, principalmente em Fevereiro e Março, havia muita recarga no aluvião e causou a inundação dos terrenos junto de alguns furos.

7.3.1. Parâmetros físico-químicos *in situ*

Em vários pontos de amostragem (Fig. 7.1A) foram realizadas cinco campanhas de análises físico-químicas da água. As medições foram realizadas em furos executados para esta investigação, poços pré-existentes e pontos de linhas de água. Durante as campanhas foram observados alguns furos destruídos, pelo que os resultados se reportam a um número variável de medições: março de 2013 com 21 medições, novembro de 2013 com 30 medições, março de 2014 com 29 medições, novembro de 2014 com 27 medições e março de 2015 com 33 medições. Na Tabela 7.3 apresentam-se os tratamentos estatísticos dos resultados obtidos.

Tabela 7. 3. Valores estatísticos dos parâmetros físico-químicos da água dos pontos seleccionados na área de estudo (DDRC). Campanhas de março de 2013 a março de 2015.

Campanha de março 2013							
	Média	Máximo	Mínimo	DP	Moda	Mediana	Total medições
T (°C)	29,7	33,3	26,9	1,6	30,6	29,5	21,0
pH	7,7	12,5	6,1	1,6	6,3	7,3	21,0
ORP (mV)	-14,6	130,0	-378,2	171,3	#N/D	68,1	21,0
OD (%)	14,2	58,4	0,0	15,9	0,0	10,6	21,0
CE (µS/cm)	6260,4	73380,0	76,0	15947,3	#N/D	800,0	21,0
SDT (ppm)	3131,5	36690,0	38,0	7973,4	#N/D	400,0	21,0
Campanha de novembro 2013							
T (°C)	31,3	25,0	1,7	29,3	28,0	28,0	29,0
pH	9,0	6,5	0,6	7,4	7,3	7,3	29,0
ORP (mV)	75,9	-162,2	52,9	#N/D	23,0	23,0	29,0
OD (%)	130,6	0,0	36,9	0,0	0,5	0,5	29,0
CE (µS/cm)	107000,0	13,0	22993,0	#N/D	2976,5	2976,5	29,0
SDT (ppm)	53510,0	6,0	11498,6	#N/D	1488,0	1488,0	29,0
Campanha de março 2014							
T (°C)	32,3	24,5	1,8	29,7	27,9	27,9	28,0
pH	9,3	6,9	0,7	7,6	7,6	7,6	28,0
ORP (mV)	124,9	-295,1	108,7	#N/D	-6,0	-6,0	28,0
OD (%)	82,2	0,0	27,6	0,0	6,6	6,6	28,0
CE (µS/cm)	16210,0	26,3	4305,4	#N/D	474,0	474,0	28,0
SDT (ppm)	8106,0	13,2	2153,9	#N/D	237,0	237,0	28,0
Campanha de novembro 2014							
T (°C)	27,0	31,4	24,0	1,8	28,2	26,8	27,0
pH	7,4	8,7	6,6	0,6	7,4	7,3	27,0
ORP (mV)	-262,1	-45,5	-551,4	152,4	#N/D	-225,4	27,0
OD (%)	18,9	117,8	0,0	31,7	0,0	0,0	27,0

Estratigrafia e Hidrogeologia do Depósito Deltaico do Rio Catumbela (Angola)

CE ($\mu\text{S/cm}$)	9970,3	96360,0	15,0	23478,4	#N/D	929,0	27,0
SDT (ppm)	4985,1	48180,0	0,0	11739,7	#N/D	464,0	27,0
Campanha de março 2015							
T ($^{\circ}\text{C}$)	27,8	32,9	24,7	1,9	27,2	27,5	33,0
pH	7,4	8,4	6,1	0,7	7,3	7,4	33,0
ORP (mV)	-154,7	58,8	-473,4	179,3	#N/D	-67,6	33,0
OD (%)	15,7	90,6	0,0	25,2	0,0	0,0	33,0
CE ($\mu\text{S/cm}$)	5755,1	48230,0	32,0	12043,6	#N/D	704,0	33,0
SDT (ppm)	2877,9	24120,0	16,0	6022,9	#N/D	352,0	33,0

7.3.2 Parâmetros químicos

De 2013 a 2015, foram realizadas quatro campanhas de amostragem e análises químicas da água dos diversos pontos da área em estudo (Fig. 7.1B).

Importa referir que a campanha de 2013 não inclui os valores estatísticos do cloro, nitrato, fosfato, molibdénio e crómio (Tabela 7.4) devido a problemas de conservação dos reagentes laboratoriais.

Tabela 7. 4. Parâmetros químicos da água dos pontos selecionados na área de estudo (DDRC). Campanhas de 2013 a 2015.

Parâmetro (mg/L)	Média	Máximo	D.P	Moda	Mediana	Total Medições
Alcalinidade	164,1	415	136,8	60	135	15
Sulfato	22,5	75	27,8	0	10	15
Cálcio	0,7	10	2,6	0	0	15
Magnésio	16,7	45	15	5	10	15
Manganês	2,6	15	5,4	0,1	0,2	15
Potássio	5,1	18,5	5,4	1,5	2,8	15
Nitrito	0,1	0,5	0,1	0,1	0,1	15
Amoníaco	0,8	3	0,9	0,2	0,3	15
Iodo	0,3	2,2	0,5	0,1	0,2	15
Parâmetro	Média	Máximo	D.P	Moda	Mediana	Total Medições
Alcalinidade	166	375	137	#N/D	117,5	15
Cloro	0	0,1	0	0,1	0	15
Sulfato	19,5	90	32,1	0	0	15
Nitrato	1,3	5,7	1,9	0	0,7	15
Cálcio	0,7	5,5	1,5	0	0,2	15
Magnésio	1,4	5,5	1,5	#N/D	1,2	15
Manganês	0,6	1,8	0,6	0	0,5	15
Potássio	11,3	19,5	6,3	15	12	15
Fosfato	0,5	1,4	0,4	0,2	0,3	15
Nitrito	7,6	33	10,2	0,1	0,1	15
Amoníaco	0,6	1,8	0,4	#N/D	0,6	15
Iodo	0,2	0,3	0,1	0,2	0,2	15
Crómio ((ug/L)	1,5	9	2,6	0	0	15
Molibdénio	6,8	12	3,8	7	7	15
Parâmetro	Média	Máximo	D.P	Moda	Mediana	Total Medições
Alcalinidade	208,3	1800	461,3	0	45	15
Cloro	0,3	3,3	0,8	0,1	0,1	15
Sulfato	25,3	110	31,8	10	10	15

Estratigrafia e Hidrogeologia do Depósito Deltaico do Rio Catumbela (Angola)

Nitrato	3	9,2	3,5	0	1,5	15
Cálcio	0,9	2,2	0,7	0	0,8	15
Magnésio	1,4	9,1	2,2	1,2	1	15
Manganês	0,5	1,8	0,5	0,1	0,3	15
Potássio	44	570	145,6	1,5	4,5	15
Fosfato	1,6	11,2	2,9	0,5	0,6	15
Nitrato	0,6	4,8	1,2	0,2	0,2	15
Amoníaco	0,9	2,7	0,8	0,7	0,7	15
Iodo	0,3	0,8	0,2	0,3	0,3	15
Crómio ((ug/L)	7,1	98	25,2	0	0	15
Molibdénio	9,2	13,5	3,6	12	10,6	15
Parâmetro	Média	Máximo	D.P	Moda	Mediana	Total Medições
Alcalinidade	161,7	830	215,9	60	60	15
Cloro	0,1	0,4	0,1	0,1	0	15
Sulfato	39	90	37	90	30	15
Nitrato	4,6	11,4	3,3	0	4,6	15
Cálcio	0,6	2	0,6	0,4	0,4	15
Magnésio	1,2	2,9	0,8	1	1,1	15
Manganês	0,6	1,5	0,4	0,7	0,6	15
Potássio	16,6	150	37,7	1,5	3	15
Fosfato	0,5	2,1	0,6	#N/D	0,2	15
Nitrito	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	15
Amoníaco	0,9	2,8	1	0,4	0,4	15
Iodo	0,4	2,8	0,7	0,3	0,2	15
Crómio ((ug/L)	8,3	97	25,3	0	0	15
Molibdénio	7,1	13,3	4,3	6,8	7,4	15

7.4. Interpretação dos resultados: caracterização hidrogeoquímica

Neste sub-capítulo apresenta-se: (1) a distribuição espacial dos valores de cada parâmetro quantificado assim como a descrição e a interpretação sintéticas dos valores obtidos e das variações espaciais e temporais sínteses da variação dos resultados estatísticos dos parâmetros físico-químicos e químicos da água analisada.

Simultaneamente adiantam-se hipóteses explicativas dos valores anómalos (por excesso ou defeito) encontrados.

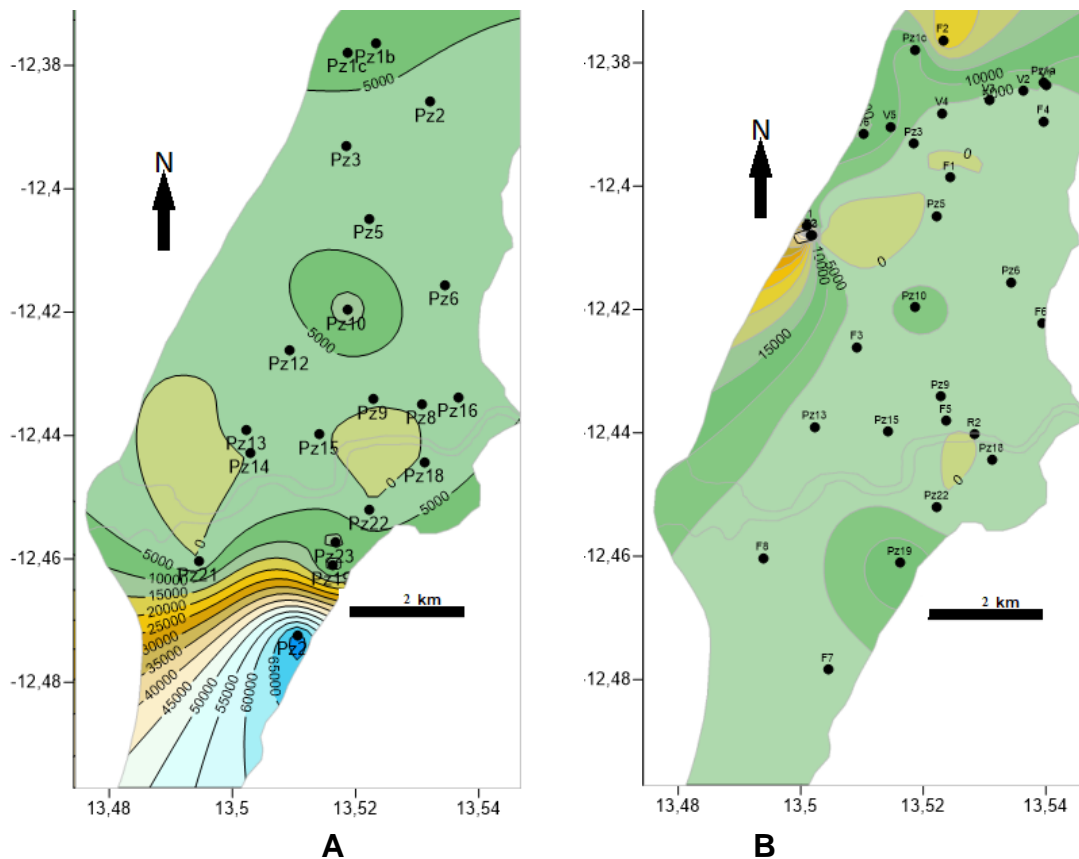
7.4.1. Parâmetros físico-químicos *in situ*

Como foi anteriormente referido realizaram-se quatro (4) campanhas de análises físico-químicas e químicas da água dos diversos pontos de água selecionados no DDRC.

7.4.1.1. Condutividade eléctrica

Este parâmetro permite avaliar, de forma global, o grau de mineralização da água, facto que resulta da relação existente entre o teor em sais minerais dissolvidos e a resistência que ela oferece à passagem da corrente eléctrica. A condutibilidade eléctrica e os TDS da água são parâmetros que estão fortemente condicionados pela temperatura da água (Santos, 2000), e aumenta com a temperatura cerca de 2% a cada °C (Custódio e Llamas 1983).

A origem de sais minerais solubilizados na água pode ser da lixiviação dos solos, (carbonatos, bicarbonatos, sulfatos, cloretos, nitratos, solúveis de cálcio, magnésio, sódio, entre outros (Mendes e Oliveira 2004).



Estratigrafia e Hidrogeologia do Depósito Deltaico do Rio Catumbela (Angola)

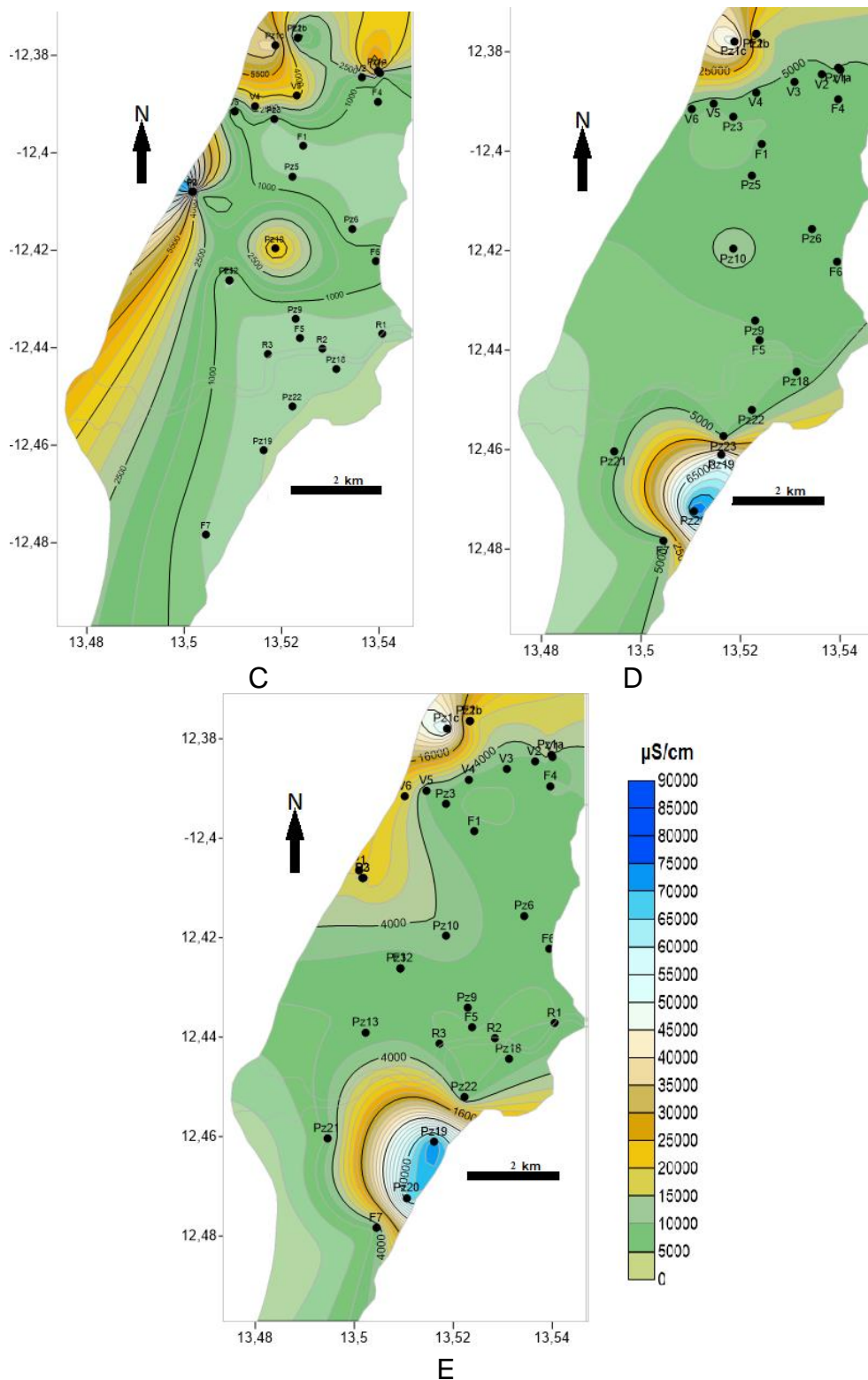


Figura 7. 4. Variação espacial de Condutividade Eléctrica (CE - $\mu\text{S/cm}$) na zona em estudo. Medições efetuadas em (A) março de 2013, (B) novembro de 2013, (C) março de 2014, (D) novembro de 2014 e (E) março de 2015.

Em cada campanha apresentam-se a variação espacial (Figs. 7.4) hidrogeoquímica da condutividade eléctrica.

As normas indicativas não estabelecem o VMA, o DL 74/90 e a directiva 80/778/CEE estabelecem o VMR 400 mS/cm e a directiva 98/83/CE e DL 243/2001 têm como valor paramétrico indicativo de 2500 mS/cm a temperatura de 20°C que corresponde a condutividade máxima estabelecida pelas normas anteriores.

A condutividade eléctrica da água (CE) é fortemente controlada pelos sais dissolvidos totais (STD). Assim os dois parâmetros possuem geralmente uma relação direta (Parron et al. (2011) e, conseqüentemente, a interpretação dos resultados obtidos será equivalente.

De modo geral os resultados de todas as campanhas mostram uma variação espacial pouco acentuada no centro do aluvião, facto que pode estar relacionado com a grande continuidade da massa de água (aquífero único em todo o aluvião) e, no sector norte, a vala funcionará como barreira à progressão para sul das águas salinizadas provenientes das Salinas-Mangal.

As amostras que possuem CE muito altas tendo como referência o valor VMA de 2500 μ S/cm (água para o consumo humano) e 640 mg/L (água para rega) referidos no Decreto-lei 306/2007, foram registadas nas campanhas de novembro (Figs. 7.4B e D), época de maior recarga marinha e baixa recarga do rio e, correspondem a águas de furos localizados maioritariamente na zona de salinas (Pz1a, Pz1b e Pz1c), águas residuais domésticas da vala (V1 a V6) com influencia da água do mar, águas da zona de solo salitroso (pz19, pz20 e pz23), águas de poços localizados junto o mar (Poço 1, Poço2 e Poço3), águas de furos com a profundidade >10 m, destacados por sedimentos de conchas indicando assim um ambiente marinho (F2, F4 e F6).

7.4.1.2 Temperatura da água.

A temperatura é um dos parâmetros importantes na caracterização hidroquímica devido a sua influência na qualidade da água e conseqüente impacto nos ecossistemas.

A World Health Organization (WHO, 2003) refere que o ciclo de vida dos organismos aquáticos está muitas vezes relacionado às mudanças de temperatura da água. Por exemplo, a temperatura de um curso de água pode afetar a quantidade de oxigénio nele dissolvido, o processo de fotossíntese das plantas, a migração dos animais, os padrões da sensibilidade dos organismos, etc. Para a água de consumo humano, a temperatura aumenta o crescimento de microorganismos e pode levantar problemas relacionados ao gosto, odor, cor e corrosão.

Na região de Benguela a estação quente ou chuvosa, em geral, decorre de Setembro a Abril, com as temperaturas médias a oscilar entre 20 a 25°C (Dinis, 1973). Para a Catumbela as precipitações máximas são registadas nos meses de novembro a março e a época quente é de novembro a abril. A temperatura média anual é cerca de 23-24°C, a mínima média anual varia de 18 - 20°C, a média do mês mais quente é 20 - 29°C (Cruz, 1940 e GURN, 2003).

Na Tabela 7.5 apresenta-se a análise estatística dos resultados da temperatura registados em três tipos de pontos de água - furos, poços e linhas de água.

As medições decorreram nos meses de verão, pelo que, os valores registados enquadram-se nas previsões do estado climático da região e, não constituem ameaça para o ecossistema local.

Tabela 7. 5. Tratamento estatístico dos resultados da temperatura (°c) (em furos, poços e linhas de água), obtidos nas campanhas de março de 2013 a março de 2015 (dados originais no anexo 4)

	Março-2013		Novembro-2013			Março -2014		
	Furos		Poço	Linhas		Furos	Poço	Linhas
Média	29,7	28,3	26,4	27,5	28,5	28,7	27,2	
Máximo	33,3	31,3	27,1	29,5	32,3	29	29,3	
Mínimo	26,9	25,2	25,7	25,6	25,5	27,7	24,5	
D.P	1,6	1,6	1	1,6	1,7	1,4	1,7	
Moda	30,6	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	
Mediana	29,5	28,2	26,4	27,7	28,1	28,7	27,6	
Total medições	21	20	2	7	19	2	8	
	Novembro 2014				Março 2015			
	Furos		Linhas		Furos	Poços	Linhas	
Média	26,8		27,7		28,2	28,8	26,5	
Máximo	31,4		28,8		32,9	30,1	28,9	
Mínimo	24,0		26		25,1	26,9	24,7	

Estratigrafia e Hidrogeologia do Depósito Deltaico do Rio Catumbela (Angola)

D.P	1,9	1,1	1,8	1,7	1,4
Moda	#N/D	#N/D	27,2	#N/D	#N/D
Mediana	26,7	28,2	28,2	29,5	26,6
Total medições	20	7	21	3	9
#N/D – Não determinado; D.P = Desvio Padrão					

7.4.1.3. Potencial hidrogeniónico

O pH mede a concentração hidrogeniónica da água ($\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$) (Custódio e Llamas, 1983). Segundo a escala de Sorensen o pH varia de 0 a 14, e indica os níveis de acidez ($\text{pH} < 7,0$), neutralidade ($\text{pH} = 7,0$) ou alcalinidade ($\text{pH} > 7,0$) de uma solução aquosa (Mendes e Oliveira, 2004 e WHO, 2007). Sobre o pH a WHO (2011) enfatiza que, embora normalmente não tem um impacto directo sobre os consumidores, é um dos mais importantes parâmetros operacionais da qualidade da água.

O percurso da água nas rochas, a presença de CO_2 atmosférico ou de outros gases dissolvidos, são dos principais responsáveis pelos valores do pH das águas subterrâneas (WHO, 2007 e Custódio e Llamas, 1983). As águas subterrâneas, na sua maioria, têm o pH entre 6,5 e 8,0 e raramente entre 5,5, e 8,5. Em todo caso, existem casos excepcionais entre valores de 3 e 11. (Custódio e Llamas, 1983).

Na Tabela 7.6 apresenta-se o tratamento estatístico dos resultados obtidos nas cinco campanhas realizadas.

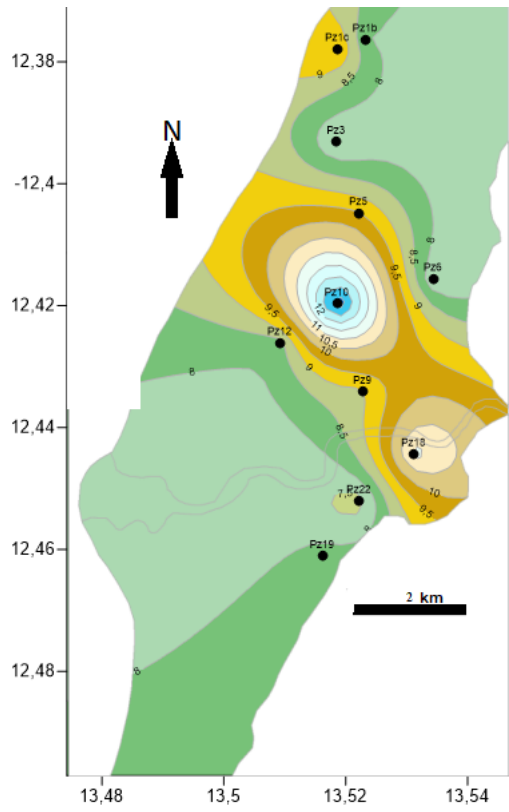
Nas Figuras 7.5 apresenta-se a variação espacial dos valores do pH no DDRC, cuja característica, se destaca pela Influência de resíduos urbanos, a matéria orgânica degradada, a ligação do aquífero com massas de água superficiais ácidas provenientes de campos agrícolas da envolvente, a água da chuva, e o processo de salinização e bioquímico. Merece referência particular o pH do furo Pz 10 (superior a 9,5) em quase todas as campanhas. Este pode justificar-se pelo facto de este furo estar situado num ponto com matéria orgânica degradada cujas amostras da respetiva água apresentam mau cheiro e coloração negra ou verde.

Segundo a WHO, 2007, uma gama de pH de 6,5 - 8 é ideal para a água doce, uma gama de 8-9 é ideal para os estuários e água do mar. Para a água potável a OMS sugeriu que o pH menor a 6,5 ou superior a 9.2 prejudica a potabilidade da água, ou ainda podem causar problemas para a fauna aquática. Assim, face aos limites estabelecidos por autores acima sublinhados, conjugados com as limitações previstas na Legislação da União Europeia, pode-se concluir que, tendo em conta ao ambiente aluvionar e a consequente influência antrópica do mesmo, a variação do pH justifica e muitos estão dentro dos intervalos 6,5-8,0 (valor normal para águas subterrâneas) e 4,5-9,0 (valor máximo admissível) para a rega e no intervalo de 6,5-8,5 valor máximo recomendado para o consumo (Decreto Lei 236/ 1998 de 01 de Agosto). Igualmente estão dentro do intervalo $\geq 6,5$ e ≤ 9 , segundo Decreto-lei 306/2007 de 27 de Agosto e dentro do intervalo 6,5 – 8 dos valores apresentados pela WHO (2007).

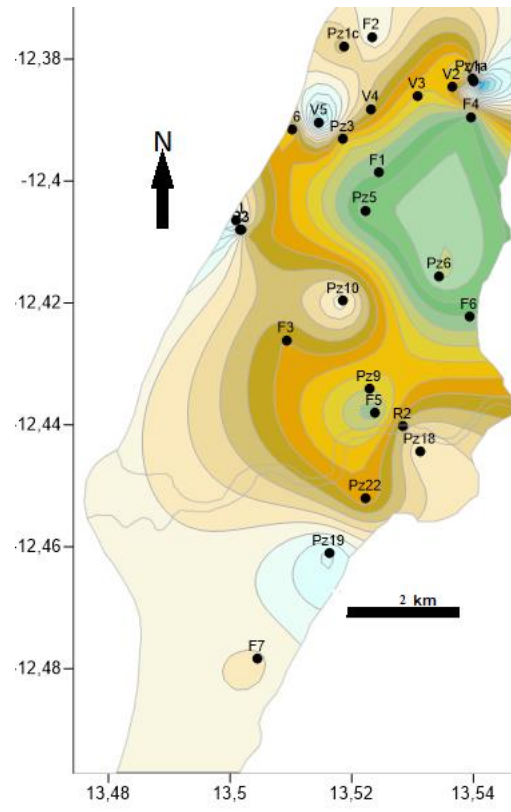
Tabela 7. 6. Tratamento estatístico dos resultados do pH (em furos, poço e linhas de água), obtidos nas campanhas de março de 2013 a março de 2015 (dados originais no anexo 4).

	Março/2013	Novembro de 2013			Março de 2014		
Parâmetro	Furos		Poços	Linhas	Furos	Poço	Linhas
Média	7,7	7,2	7,9	7,7	7,6	8,8	8
Máximo	12,5	8,1	8,4	9	8,8	9	9,3
Mínimo	6,1	6,5	7,4	7,1	6,9	8,5	7,4
D.P	1,6	0,5	0,7	0,7	0,6	0,3	0,8
Moda	#N/D	7,2	#N/D	#N/D	8,2	#N/D	#N/D
Mediana	7,3	7,2	7,9	7,4	7,6	8,8	7,6
Total medições	21	20	2	7	19	2	8
	Novembro de 2014		Março de 2015				
Parâmetro	Furos	Linhas	Furos	Poço	Linhas		
Média	7,4	7,5	7,4	8	7,2		
Máximo	8,7	8,6	8,4	8,4	7,9		
Minimo	6,6	7,1	6,1	7,5	6,5		
D.P	0,6	0,5	0,7	0,5	0,4		
Moda	#N/D	7,3	#N/D	#N/D	#N/D		
Mediana	7,3	7,3	7,5	8,1	7,3		
Total medições	20	7	21	3	9		
#N/D – Não Determinável; Nov. = Novembro; D.P = Desvio Padrão							

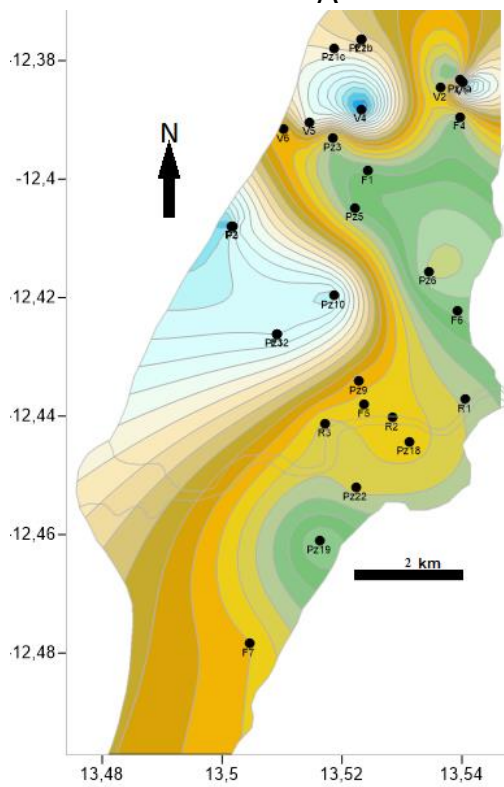
Estratigrafia e Hidrogeologia do Depósito Deltaico do Rio Catumbela (Angola)



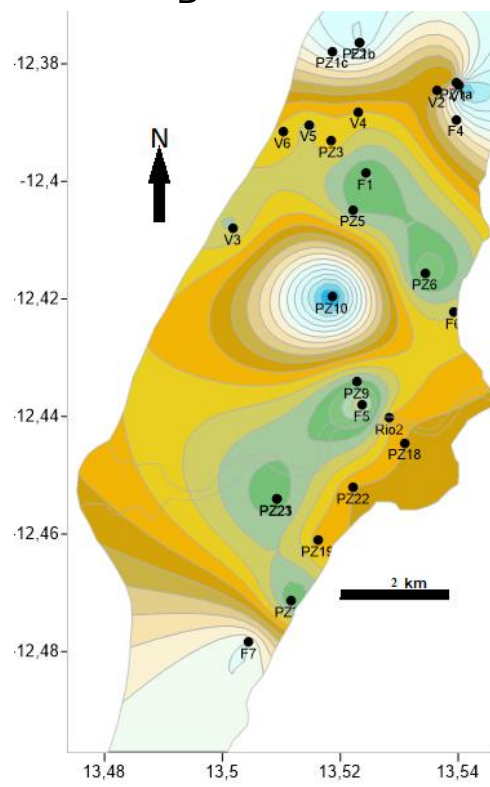
A



B



C



D

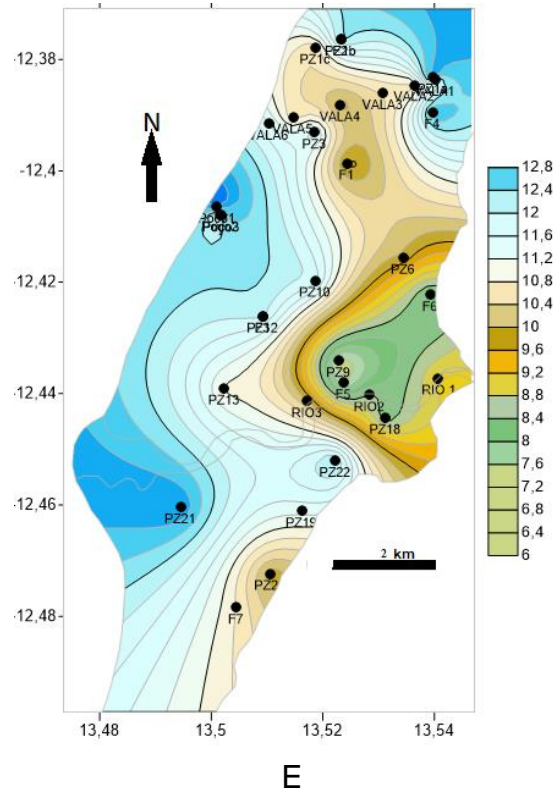


Figura 7. 5. Variação espacial de Potencial Hidrogeniônico na zona em estudo. Medições efetuadas em (A) março de 2013, (B) novembro de 2013, (C) março de 2014, (D) novembro de 2014 e (E) março de 2015.

A análise da variação espacial do pH destaca-se pela (i) relativa estabilidade nas sucessivas campanhas, quer nas águas subterrâneas, quer nas superficiais. (ii) Nos furos a variação generalizada ocorre entre 6,0 e 8,7; exceptuam-se dois pontos - pz10 e pz18 - onde os valores do pH apresentam-se altos com 10,2 e 12,5 respetivamente. (iii) No Rio Catumbela há variação entre 7,4 e 7,6; a variação na Vala é mais acentuada e oscila entre 7,1 e 9,3.

7.4.1.4. Oxigénio dissolvido

Para a generalidade dos estudos ambientais, o Oxigénio dissolvido (OD) permite avaliar as condições naturais das águas superficiais e subterrâneas e detectar eventuais impactos como a eutrofização e a poluição orgânica. A maioria dos organismos do meio aquático necessitam de oxigénio dissolvido na água para a respiração.

Os processos de difusão e da fotossíntese são os principais promotores da presença do oxigénio dissolvido na água e a concentração é influenciada pela natureza do local, a temperatura da água, e processos químicos ou biológicos que ocorrem no sistema. A depleção de oxigénio dissolvido na água e a criação de ambientes redutores pode incentivar a redução microbiana de nitrato a nitrito, de sulfito em sulfureto e também pode provocar o aumento na concentração de ferro ferroso em solução (WHO, 2011).

Os níveis muito altos de oxigénio dissolvido criadores de ambientes altamente oxidantes podem acelerar o processo de corrosão de tubos, induzir a níveis de poluição elevados (WHO, 2011).

Nos ecossistemas em equilíbrio a percentagem máxima de oxigénio dissolvido na água varia de 90-110% nos ambientes das águas de lagos e reservas, de 60-120% nos estuários e de 90-110% no meio aquático marinho. Na legislação portuguesa, por exemplo, o Decreto-lei 236/1998, sobre a água para a rega, não indica valores de oxigénio dissolvido recomendáveis ou admissíveis. Contudo, o Decreto-lei 306/2007 de 27 de agosto indica o valor máximo recomendado de 5 mg/L do oxigénio dissolvido na água para o consumo humano.

Os valores estatísticos da variação do OD nas águas amostradas são indicados na Tabela 7.7 e na Figura 7.6 apresenta-se a variação espacial deste parâmetro.

Tabela 7. 7. Tratamento estatístico dos resultados de oxigénio dissolvido (%) (em furos, poço e linhas de água), obtidos nas campanhas de março de 2013 a março de 2015 (dados originais no anexo 4).

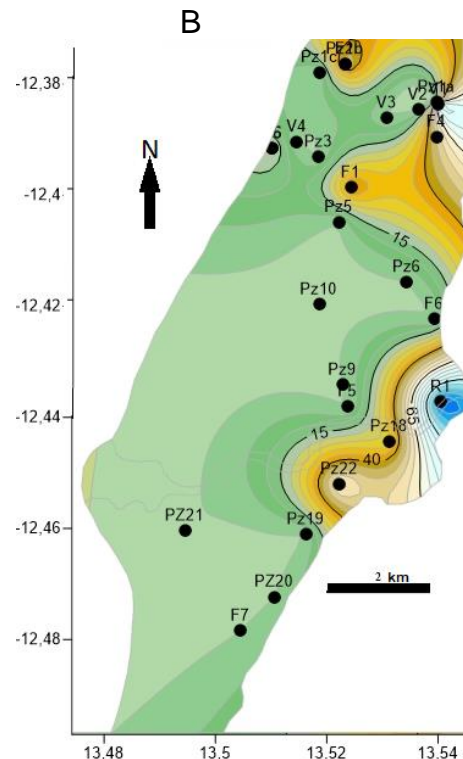
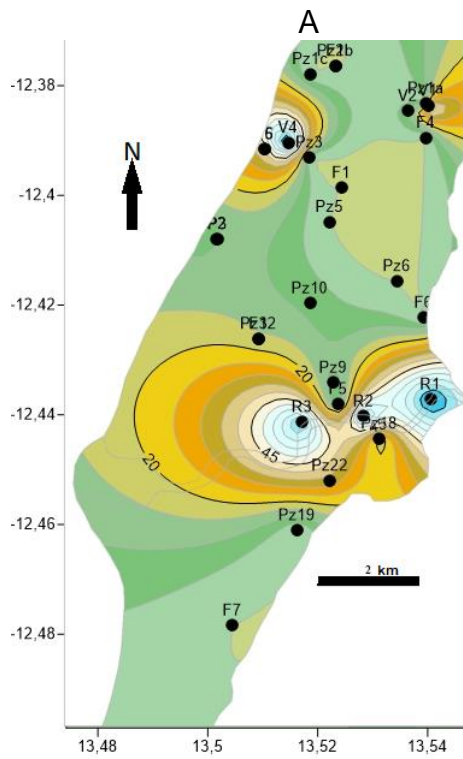
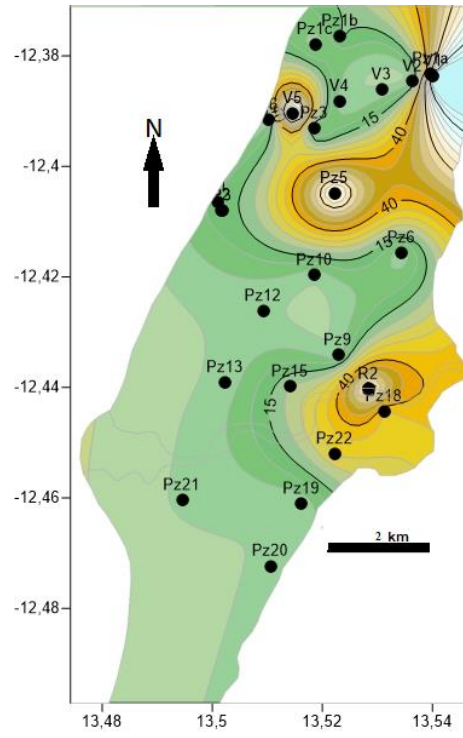
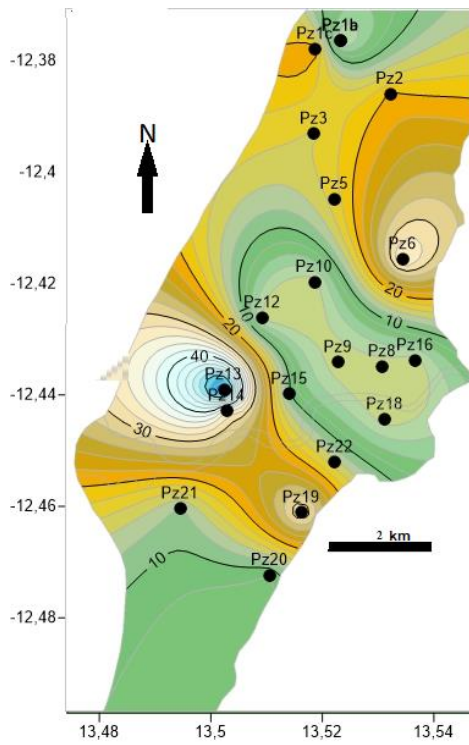
Parâmetro	Março de 2013					Março de 2014				Novembro de 2014			Março de 2015			
	F	F	P	R	V	F	P	R	V	F	R	V	F	P	R	V
Média	14,2	12,7	12,0	75,5	39,0	7,1	9,0	75,4	40,3	14,0	117,8	18,7	6,9	17,6	84,9	13,1
Máximo	58,4	82,6	15,1	75,5	98,6	52,5	13,0	79,1	82,2	64,0	97,8	86,7	31,2	31,5	90,6	30,2
Mínimo	0,0	0,0	10,2	75,5	0,0	0,0	5,0	73,5	9,1	0,0	117,8	0,0	0,0	0,0	76,5	0,0
DP	15,5	21,6	2,2	0	55,4	13,6	4,0	2,6	25,2	22,3	0,0	31,4	11,3	13,1	6,1	11,9
Moda	0,0	0,0	#N/D	#N/D	0,0	0,0	#N/D	#N/D	#N/D	0,0	#N/D	0,0	0,0	#N/D	#N/D	0,0
Mediana	10,6	0,0	10,6	75,5	0,6	0,0	9,0	73,7	38,6	0,0	117,8	1,6	0,0	21,3	87,6	5,9

#N/D = Não determinável ; D.P = Desvio Padrão; F= Furo; V= Vala; P= Poço; R= Rio

Em todas as campanhas, os valores de OD na água são tendencialmente mais altos nos pontos de medição em linhas de água (rio, valas e outros). Este facto pode estar associado ao contacto direto com a atmosfera e à hidrodinâmica mais

Estratigrafia e Hidrogeologia do Depósito Deltaico do Rio Catumbela (Angola)

acelerada. Contrariamente, as águas dos furos e poços que apresentam valores médios inferiores a 20%, no rio as médias foram mais altas (75 a 117%).



C

D

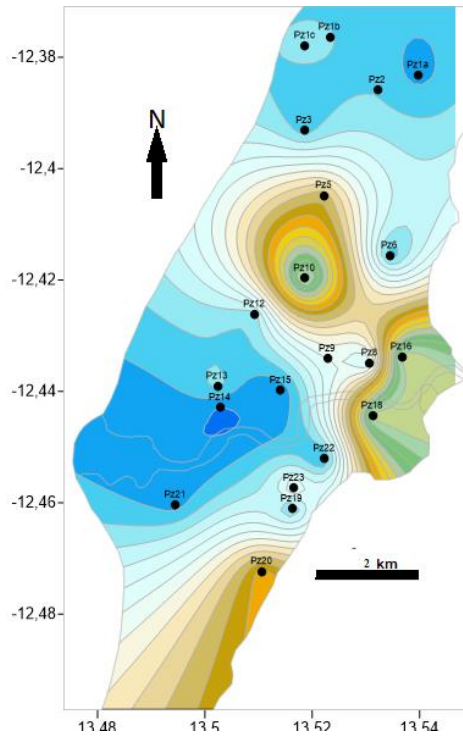
No caso em estudo, os resultados expressos na Tabela 7.8 mostram uma média negativa para muitos os pontos amostrados, indicadora da predominância de condições relativamente redutoras. Em alguns pontos superficiais ao longo do canal do rio assim como subterrâneos principalmente os situados próximo deste canal, os resultados do ORP são positivos, podendo alcançar >100 mV. A variação espacial do ORP apresenta-se nas Figs. 7.7.

Tabela 7. 8. Tratamento estatístico dos resultados do Potencial de oxidação-redução (ORP) (m/v) da água (em furos, poço e linhas de água) obtidos nas campanhas de março de 2013 a março de 2015 (dados originais no anexo 4).

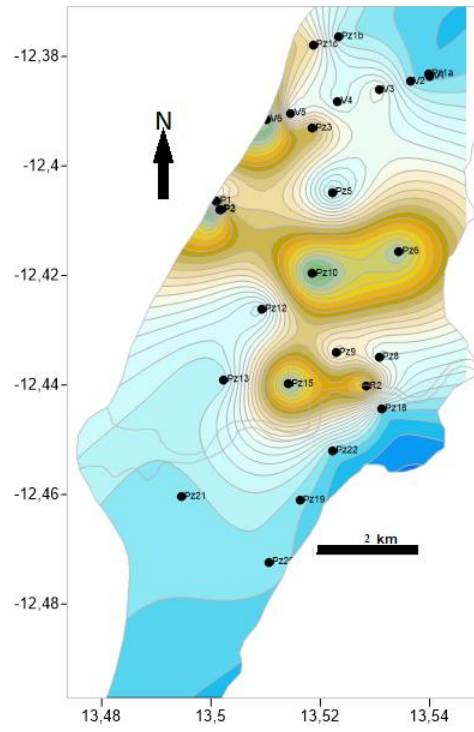
Parâmetro	Março/2013	Novembro 2013			Março de 2014		
		Furos	Poço	Linhas	Furos	Poço	Linhas
Média	-14,6	6,7	-101,1	-11,0	-50,9	3,7	-38,1
Máximo	130,0	41,4	39,9	35,5	124,9	38,2	95,3
Mínimo	-378,2	-84,8	-162,2	-99,7	-295,1	-30,8	-216,8
D.P	171,3	40,7	86,5	51,2	114,3	2752,7	112,0
Moda	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D
Mediana	68,1	28,7	-101,1	11,4	-3,9	3,7	-11,2
Total medições	21,0	20,0	2,0	7,0	19,0	2,0	8,0
	Novembro de 2014			Março de 2015			
Parâmetro	Furos	Linhas		Furos	Poços	Linhas	
Média	-261,0	-265,1		-154,3	-115,6	-168,9	
Máximo	-45,5	-146,0		16,3	-46,3	58,8	
Mínimo	-551,4	-483,2		-473,4	-232,8	-398,4	
D.P	158,1	146,4		185,9	102,1	197,2	
Moda	#N/D	#N/D		#N/D	#N/D	#N/D	
Mediana	-231,6	-163,9		-39,4	-67,6	-168,6	
Total medições	20,0	7,0		21,0	3,0	9,0	

#N/D = Não determinável ; D.P = Desvio Padrão

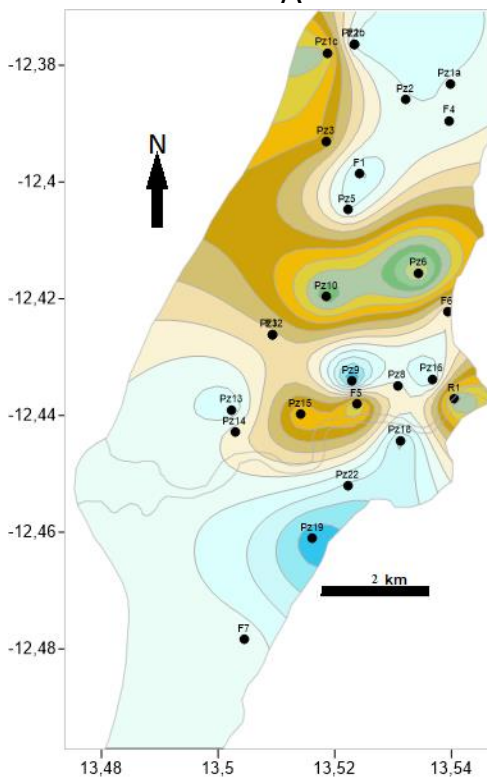
Estratigrafia e Hidrogeologia do Depósito Deltaico do Rio Catumbela (Angola)



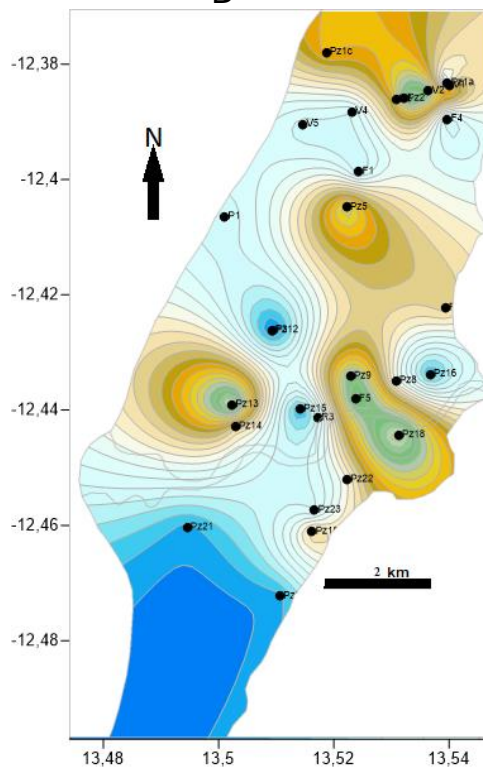
A



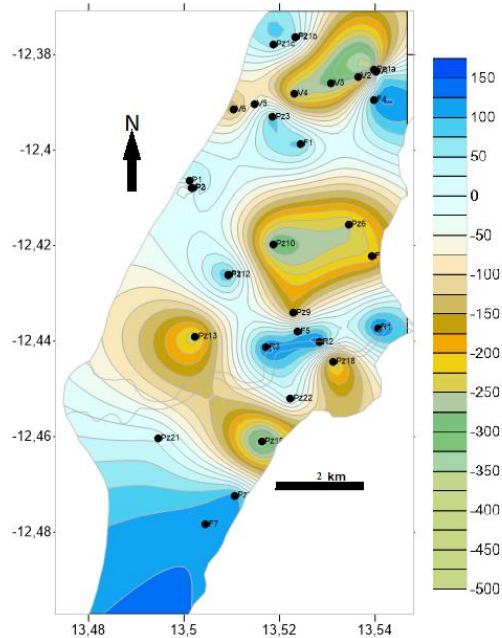
B



C



D



E

Figura 7. 7. Variação espacial de Potencial de oxidação-redução (ORP em mg/L) na zona em estudo. Medições efectuadas em (A) março de 2013, (B) novembro de 2013, (C) março de 2014, (D) novembro de 2014 e (E) março de 2015.

Os resultados genéricos de todas as campanhas mostram a variação espacial geral acentuada a nível do aluvião. Os indicadores pontuais da predominância de condições redutoras são notáveis no centro costeiro norte (vala de resíduos domésticos) e no interior centro e sul. Este fenómeno estará relacionado à contaminação pontual (pz10), à influência antrópica (resíduos domésticos e industriais), à exploração de água para irrigação (em campanhas de novembro), e à presença de um depósito lagunar (pz19) onde se destaca a degradação de matéria orgânica.

7.4.2. Parâmetros químicos

Apresenta-se neste ponto a caracterização e discussão dos resultados das análises químicas realizadas em laboratório de amostras de água do DDRRC feitas durante as campanhas de 2013 a 2015. Foram objecto de análise laboratorial os seguintes parâmetros: Alcalinidade, Sulfato, Cálcio, Magnésio, Potássio, Nitrato, Fosfato, Nitrito, Amoníaco, Crómio VI e Molibdénio. Relembra-

se que por limitações financeiras e logísticas: (1) os equipamentos e procedimentos laboratoriais não foram os mais rigorosos e (2).

7.4.2.1. Alcalinidade

A alcalinidade é a medida da capacidade da água em neutralizar os ácidos e, nas águas naturais, geralmente encontra-se associada à presença de CO₂—nas diversas formas iónicas, como o bicarbonato (EPA 2011). Também pode estar associada a carbonatos e hidróxidos, principalmente quando há depleção de CO₂ dissolvido (Mendes e Oliveira 2004).

A EPA (2011) não refere os limites da alcalinidade para as águas de consumo. Contudo, Mendes e Oliveira (2004) indicam 2,5 mg/L como valor mínimo exigível no caso de águas submetidas a processos de eliminação de dureza ou desmineralizadas.

Nas campanhas realizadas, os valores estatísticos da variação da alcalinidade mostram um mínimo de 0 mg/L e um máximo a 1800 mg/L, respetivamente.

Tabela 7. 9. Tratamento estatístico dos resultados da Alcalinidade TAC obtidos em amostras da água de furos, poços e linhas de água, obtidos nas campanhas de novembro de 2013 a março de 2015 (dados originais no Anexo 4).

Parâmetro	Novembro-2013	Março-2014	Novembro-2014	Março-2015
Alcalinidade TAC (CaCO₃ em mg/L)				
Média	164,1	166,0	208,3	161,7
Máximo	415,0	375,0	1800,0	830,0
Mínimo	0,0	8,5	0,0	15,0
Desvio Padrão	136,8	137,0	461,3	215,9
Moda	60	#N/D	0	60
Mediana	135,0	117,5	45,0	60,0
Total Medições	15,0	15,0	15,0	15,0

Na Figura. 7.8 expressa-se a variação espacial deste parâmetro nas diversas campanhas realizadas. Verifica-se a tendência de ocorrer uma maior alcalinidade ao longo da costa e interior centro da área estudada. Este facto pode estar relacionado com agentes bioquímicos e físico-químicos derivados de resíduos domésticos, matéria orgânica degradada e resíduos da produção industrial.

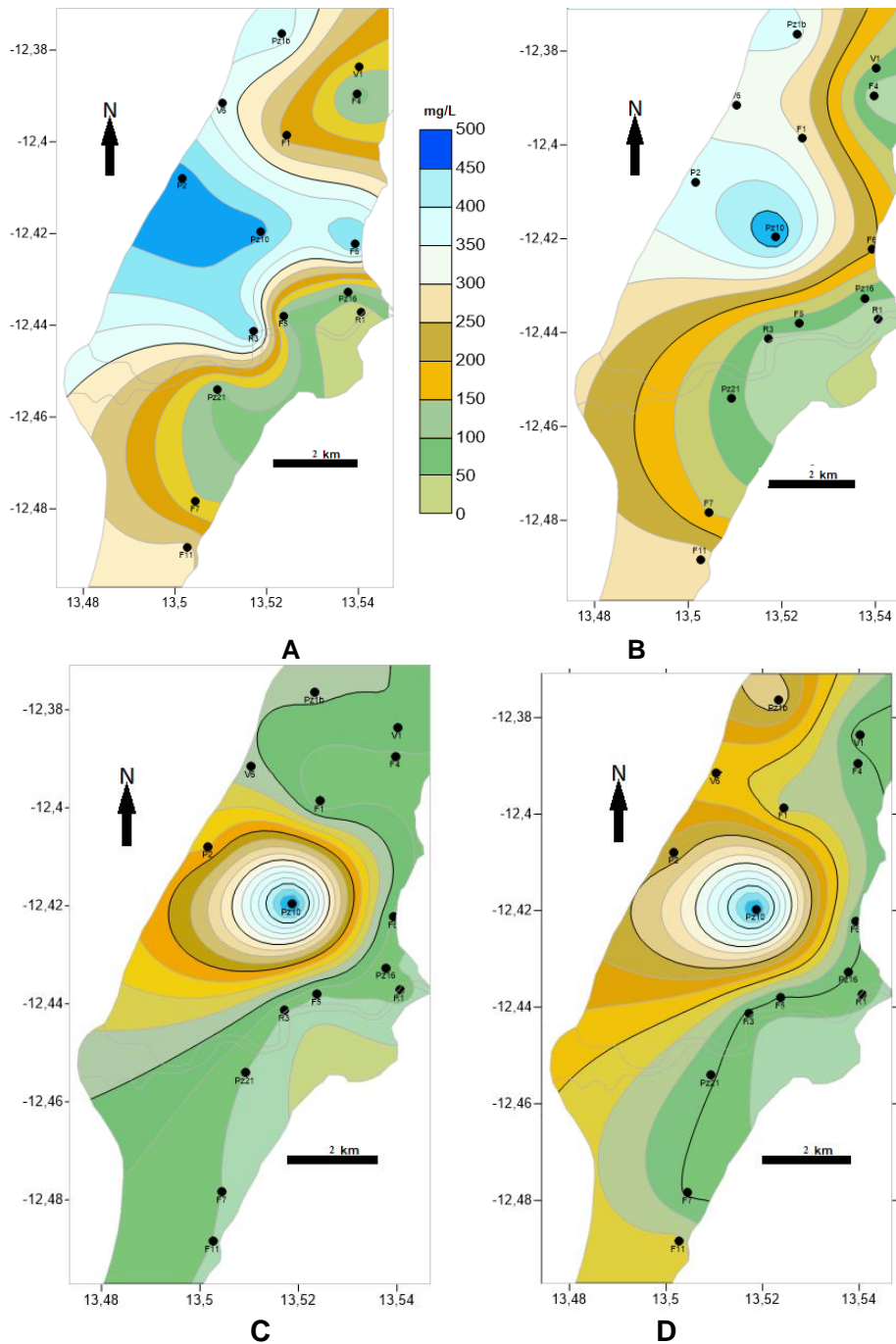


Figura 7. 8. Variação espacial de Alcalinidade TAC (CaCO_3 em mg/L) na zona em estudo. Medições efetuadas em (A) novembro de 2013, (B) março de 2014, (C) novembro de 2014 e (D) março de 2015.

Analisando a variação espacial geral da alcalinidade (Fig. 7.8) verifica-se que em quase todas as campanhas os valores estão compreendidos entre 100 e 450 mg/L na maior parte do DDRRC. Observaram-se excessos em alguns pontos do

centro costeiro e interior Norte (Pz1b, F6, Pz10, P2 e R3) e, os valores inferiores foram identificados no subsector interior Sul e num ponto a situado a NE (F6, Pz10, P2 e R3) onde, para além das condições físicas do microambiente (temperatura), a água subterrânea e superficial sofre maior influência de resíduos domésticos, assim como da presença de matéria orgânica degradada; no ponto R3 as águas do rio são fortemente contaminadas pelos resíduos provenientes da fábrica de cerveja.

7.4.2.2. Cálcio e Magnésio

O cálcio e o magnésio são elementos químicos predominantes nas águas subterrâneas. A calcite, o gesso, e a fluorite são exemplos de minerais que fornecem cálcio às águas subterrâneas. O enriquecimento em Mg provém dos silicatos magnesianos (como a forsterite, o piropo, a enstatite, a tremolite, a flogopite), os óxidos, hidróxidos e carbonatos magnesianos (magnesite e a dolomite), os sulfatos (kieserite), os fosfatos e os arsenitos (Mendes e Oliveira, 2004).

A OMS não define qualquer valor indicativo para o teor de cálcio e magnésio nas águas para o consumo humano (Mendes e Oliveira, 2004) limitam-se a fixar em 500 mg/L de valor aconselhável a dureza total (concentração de Ca+Mg).

O tratamento estatístico dos resultados de Ca e Mg obtidos para as águas do DDRC apresentam-se na tabela 7.10 enquanto a variação espacial está representada nas Figuras 7.9 a 7.10.

Tabela 7. 10. Tratamento estatístico dos resultados da concentração (mg/L) em Cálcio e em Magnésio da água (em furos, poços e linhas de água) obtidos nas campanhas de março de 2014 a março de 2015 (dados originais no anexo 4).

Parâmetro	Março de 2014	Novembro de 2014	Março de 2015
Cálcio (Ca²⁺)			
Média	0,7	0,9	0,6
Máximo	5,5	2,2	2,0
Mínimo	0,0	0,0	0,0
Desvio Padrão	1,5	0,7	0,6
Moda	0	0	0,4
Mediana	0,2	0,8	0,4
Total Medições	15,0	15,0	15,0
Magnésio (Mg²⁺)			
Média	1,4	1,4	1,2

Os valores obtidos oscilam na mesma gama dos apresentados por Jesus (2012) para águas captadas nos depósitos aluvionares do rio Catumbela situados na margem direita, onde a concentração do cálcio e magnésio oscilou na ordem de 2,5 a 11 mg/L com a média de 3 mg/L. Estes valores apontam para a presença maioritária de águas pouco duras no aquífero freático do DDRC.

A análise da variação espacial por campanha nos remete a seguintes resultados:

Para a campanha de março de 2014 a variação espacial geral de Ca é de 0,0 a 2 mg/L para Mg - 0,0 a 3,4 mg/L, na maior parte do depósito aluvionar (Figs. 7.9 e 7.10 respectivamente). As situações anómalas/pontuais de Ca são notáveis no centro norte (NE e Centro Norte) (Figs. 7.9). Os excessos de Ca no ponto R1, podem estar relacionado com a Influência da água proveniente de rochas carbonatadas do soco (época chuvosa), para os pontos V6, F6 e PZ10, além da influência da dissolução de rochas carbonatadas, há influências da intrusão salina e a degradação da matéria orgânica. No caso de Mg há tendência de excesso no subsector interior centro (Figs. 7.10) devido a provável Influência da matéria orgânica degradada.

A campanha de novembro de 2014, se destaca pela variação espacial geral na maior parte do depósito aluvionar sendo Ca 0,0 a 0,6 mg/L) e Mg 0,0 a 2 mg/L). As situações anómalas/pontuais para Ca notam-se nos subsectores norte e interior centro e sul, para Mg a tendência de excesso regista-se no subsector centro-norte. Registou-se baixo valor de Mg no subsector costeiro NW (V6) devido à possível influência da dissolução de rochas carbonatadas, a intrusão salina e a degradação da matéria orgânica (época não chuvosa).

A variação espacial geral de março 2015 para Ca é 0,0 a 0,5 mg/L e Mg 0,0 a 2 mg/L na maior parte do depósito aluvionar. São situações anómalas /pontuais de Ca e Mg, a tendência de excesso no subsector Norte (principalmente nos pontos PZ10, P2, V1 e R1), devido à provável intrusão salina e a recarga de ondulação ao longo da vala assim como da influência da água da chuva e do rio (época chuvosa).

7.4.2.3. Potássio

Segundo Mendes e Oliveira (2004) o potássio é um elemento metálico alcalino muito abundante na Natureza e encontra-se em alguns minerais como silvite, carnalite, cainite, feldspatos e micas. Nas rochas sedimentares, apresenta as seguintes concentrações: arenitos com 8 g/kg, argilas cinzentas e esverdeadas com 16,6 g/kg, xistos e argilas xistosas com 27 g/kg, calcários 3 g/kg e carvões com 3,5 g/kg.

Em função dos contextos geológicos envolventes, o potássio existe naturalmente nas águas em concentrações mais ou menos constantes e/ou variáveis. Antropicamente podem ocorrer contaminação em resultado de descargas de indústrias extractivas, de fábricas de fertilizantes, fabrico de vidro, etc.

É um elemento essencial à vida cuja necessidade diária do organismo humano em potássio é da ordem de 3 a 4 g/dia, de origem quase exclusivamente alimentar. No entanto, a norma portuguesa (DL74/90 e DL 236/98) estabelecem o VMR de 10 mg/L e VMA de 12 g/L. Por conseguinte, a norma da CEE (DL 243/2001), não a incluiu nos parâmetros indicativos como havia sido referido na directiva 80/778/CEE.

Em quase todas as campanhas, o valor máximo de K^+ foi registado no ponto pz10 com o valor mais alto de 570 mg/L e a média 44 mg/L na campanha de novembro 2014. Os valores estatísticos e respectiva variação espacial apresentam-se na tabela 7.11, e Figs. 7.11).

Tabela 7. 11. Tratamento estatístico dos resultados de potássio (mg/L) da água (em furos, poços e linhas de água) obtidos nas campanhas de novembro de 2013 a março de 2015 (dados originais no anexo 4).

Parâmetro	Novembro-2013	Março-2014	Novembro-2014	Março-2015
Potássio (K^+)				
Média	10,0	14,4	7,3	7,6
Máximo	20,0	20,0	20,0	19,6
Mínimo	1,5	3,5	1,0	1,0
Desvio Padrão	8,5	6,1	6,9	8,0
Moda	20	20	1,5	1,5
Mediana	5,5	16,5	4,5	3,0
Total Medições	15,0	15,0	15,0	15,0

Estratigrafia e Hidrogeologia do Depósito Deltaico do Rio Catumbela (Angola)

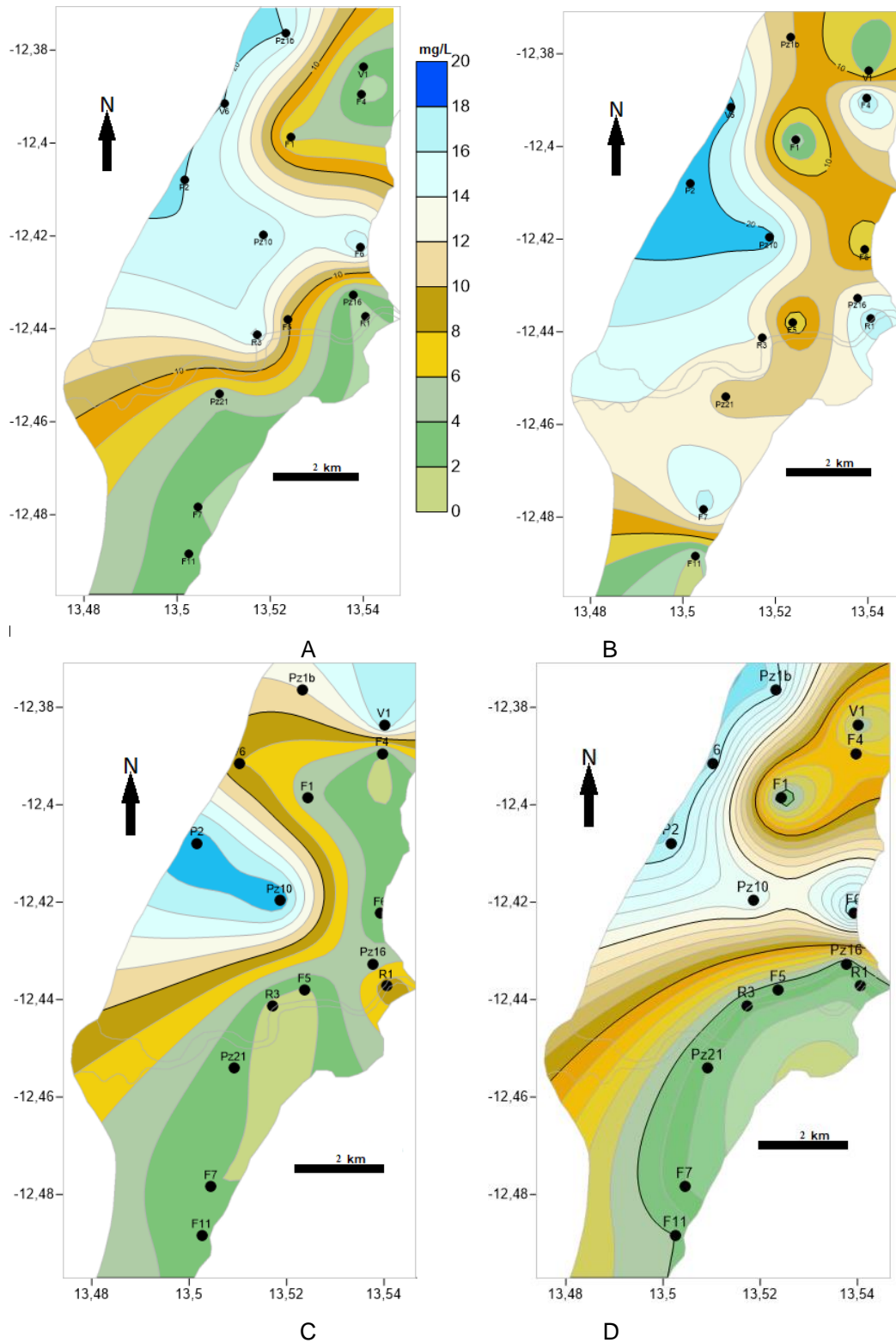


Figura 7. 11. - Variação espacial de Potássio (K em mg/L) na zona em estudo. Medições efetuadas em (A) novembro de 2013, (B) março de 2014, (C) novembro de 2014 e (D) março de 2015.

7.4.2.4. Sulfato

Os sulfatos ocorrem naturalmente em numerosos minerais e são utilizados nas actividades industriais, principalmente na indústria química. São descarregados na água em resíduos industriais e através da deposição atmosférica em zonas costeiras (WHO, 2003). Outra fonte importante é a que resulta do tratamento de coagulação/floculação, recorrendo aos sulfatos de alumínio ou de ferro e, o tratamento das águas brutas com elevados teores de materiais coloidais em suspensão e a poluição atmosférica, ligada as chuvas ácidas (Mendes e Oliveira 2004). Os níveis mais elevados de sulfatos ocorrem normalmente em águas subterrâneas a partir de fontes naturais (WHO, 2003). No solo, os teores elevados, em geral, são repartidos pelas plantas sem reflexos demasiadamente graves (WHO, 2003), por razões geológicas ou outros, a sua concentração em águas naturais é muito variável (30-300 mg/L). (Mendes e Oliveira 2004)

Para a saúde pública, foram estabelecidos os seguintes valores indicativos: Directiva 98/83/CE-DL243/2001, estabelece como VMR de 250 mg/L, nos DL 74/90 e DL 236/98 e directiva 80/778/CEE foi estabelecido o VMR de 25 mg/L e VMA 250 mg/L (Mendes e Oliveira 2004). Foi também estabelecido um valor indicativo de 250 mg/L para o sulfato de sódio e, para o sulfato de cálcio 1000 mg/L (WHO, 2003). Segundo a OMS, nenhuma directriz baseada em saúde é proposta para sulfato mas por critérios ligados ao sabor da água potável foi estabelecido que as concentrações de sulfato não devem exceder os 400 mg/L e as concentrações de sulfato de magnésio, mais do sódio devem estar abaixo dos 1000 mg/L (WHO, 2004).

Os valores estatísticos do sulfato visualizam-se na Tabela 7.12. Este parâmetro é de difícil determinação e os valores obtidos devem ser analisados com algumas reservas uma vez que os valores são tendencialmente mais elevados do que o esperado. Assim, a média mais alta de 39 mg/L corresponde à campanha de março de 2015. O valor máximo é de 110 mg/L identificado na amostra F11, que se destacou com valores relativamente altos nas duas últimas campanhas de novembro/2014 e março/2015 com 110 e 90 mg/L respectivamente (Figs. 7.12).

Os resultados podem estar relacionados com a proximidade ao mar, a presença de gesso nos depósitos deltaicos e com a influência de águas residuais urbanas com elevados teores de materiais coloidais.

De modo geral o sulfato predomina no sector norte costeiro da área em estudo na escala 100 a 150 mg/L. É interessante notar que não foram identificados sulfatos nos sedimentos do DDRRC, sugerindo uma alimentação de água diferente da generalidade dos materiais sedimentares do DDRRC. Ou seja, se os sedimentos são derivados fundamentalmente de posições interiores da bacia de drenagem do rio Catumbela, onde dominam unidades siliciosas, é de admitir que uma componente significativa da massa de água sub-superficial é transmitida das unidades sedimentares da Bacia de Benguela que constituem o soco do DDRRC.

Tabela 7. 12. Tratamento estatístico dos resultados de Sulfato (mg/L) da água (em furos, poços e linhas de água) obtidos nas campanhas de novembro de 2013 a março de 2015 (dados originais no anexo 4).

Parâmetro	Novembro de 2013	Março de 2014	Novembro de 2014	Março de 2015
Sulfato				
Média	22,5	19,5	25,3	39,0
Máximo	75,0	90,0	110,0	90,0
Mínimo	0,0	0,0	0,0	0,0
Desvio Padrão	27,8	32,1	31,8	37,0
Moda	0	0	10	90
Mediana	10,0	0,0	10,0	30,0
Total Medições	15,0	15,0	15,0	15,0

Estratigrafia e Hidrogeologia do Depósito Deltaico do Rio Catumbela (Angola)

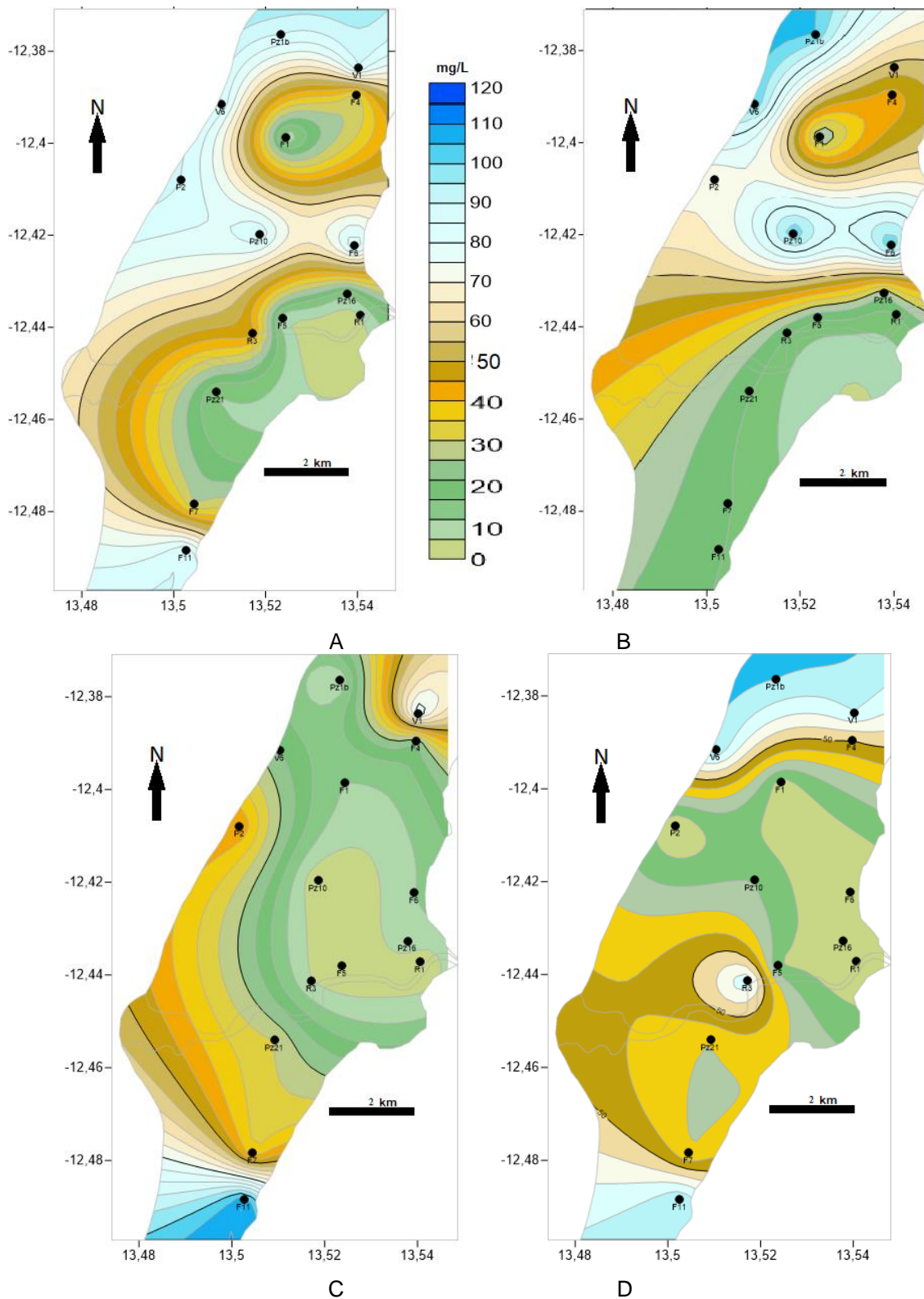


Figura 7. 12. Variação espacial de Sulfato (SO_4^{2-} em mg/L) na zona em estudo. Medições efetuadas em (A) novembro de 2013, (B) março de 2014, (C) novembro de 2014 e (D) março de 2015.

7.4.2.5. Nitrato, Nitrito e Amónia

São substâncias químicas derivadas do azoto e encontram-se no meio ambiente natural aquático e no solo, no entanto, embora em poucas concentrações ele está presente em concentrações variáveis em todas as plantas e faz parte do ciclo de azoto WHO (2003)

O nitrato pode ocorrer tanto nas águas superficiais como nas subterrâneas como consequência da actividade agrícola (incluindo a aplicação excessivo de fertilizantes nitrogenados inorgânicos e adubos), de eliminação de águas residuais e da oxidação de resíduos de produtos nitrogenados em excrementos humanos e animais, incluindo fossas sépticas (WHO, 2003 e Rossi et al., 2007)

As concentrações de nitratos das águas superficiais podem mudar rapidamente devido ao escoamento superficial de fertilizantes, a absorção por fitoplâncton e desnitrificação por bactérias, mas as concentrações de águas subterrâneas em geral mostram mudanças relativamente lentas (WHO, 2003). Estas características proporcionam um ótimo indicativo para avaliação do estado de contaminação do aquífero como consequência da lixiviação de vegetação natural ou a partir da excessiva aplicação de fertilizantes ou de lixiviação de águas residuais ou outros resíduos orgânicos em águas superficiais e subterrâneas (WHO, 2003).

O nitrito (NO_2) geralmente não é presente em concentrações significativas, excepto num ambiente redutor, uma vez que o nitrato tem um estado de oxidação mais estável. Em geral, a mais importante fonte de exposição humana ao nitrato e nitrito é através de produtos hortícolas (nitrito e nitrato) e através da carne na dieta (nitrito é usado como conservante em muitas carnes curadas). Em algumas circunstâncias, no entanto, a água potável pode fazer uma contribuição significativa para o nitrato e, ocasionalmente, a ingestão de nitrito.

O valor de referência para o nitrato é de 50 mg/L e para o nitrito é 0,2 mg/L cujo valor combinado (nitrato e nitrito): não deve ser superior a 1 mg/L (WHO, 2003)

A amónia também pode ter origem a partir das actividades agrícolas e industriais de desinfecção com cloraminas, argamassa de cimento, revestimentos de tubos, etc.

A amónia presente na água é um indicador de possível contaminação por esgoto, resíduos da poluição bacteriana dos animais. Os níveis naturais nas águas subterrâneas e de superfície são geralmente inferiores a 0,2 mg/L e os seus efeitos toxicológicos são observados apenas em exposições acima de cerca de 200 mg/kg peso corporal. A concentração limiar de odor de amónia a pH alcalino é de aproximadamente 1,5 mg/L, e um limiar do sabor de 35 mg/L, foi proposto para o catião amónio (WHO, 2011).

Os valores estatísticos que se apresentam na Tabela 7.13 revelam que em algumas amostras dos pontos de amostragem apresentam indicadores de nitratos, e amónia em valores baixos. O Decreto-lei 236/1998, o Decreto-Lei 306/2007 e WHO (2008) estabelecem 50 mg/L como valor limite admitido de nitrato e 35 mg/L para o catião amónio (WHO, 2011).

Tabela 7. 13. Tratamento estatístico dos resultados de Nitrato (mg/L), Nitrito (mg/L), e Amónia (mg/L) da água (em furos, poços e linhas de água) obtidos nas campanhas de março de 2014 a março de 2015 (dados originais no anexo 4).

Parâmetro	Março de 2014	Novembro de 2014	Março de 2015
Nitrito (NO₂⁻)			
Média	7,6	0,6	0,1
Máximo	33,0	4,8	0,3
Mínimo	0,0	0,0	0,0
Desvio Padrão	10,2	1,2	0,1
Moda	0,09	0,17	0,1
Mediana	0,1	0,2	0,1
Total Medições	15,0	15,0	15,0
	Março de 2014	Novembro de 2014	Março de 2015
Nitrato (NO₃⁻)			
Média	1,3	3,0	4,6
Máximo	5,7	9,2	11,4
Mínimo	0,0	0,0	0,0
Desvio Padrão	1,9	3,5	3,3
Moda	0	0	0
Mediana	0,7	1,5	4,6
Total Medições	15,0	15,0	15,0
	Março de 2014	Novembro de 2014	Março de 2015
Amónia (NH₃⁺)			
Média	0,6	0,9	0,9
Máximo	1,8	2,7	2,8
Mínimo	0,2	0,1	0,2
D.P	0,4	0,8	1,0
Moda	#N/D	0,68	0,35
Mediana	0,6	0,7	0,4
Total Medições	15,0	15,0	15,0

Estratigrafia e Hidrogeologia do Depósito Deltaico do Rio Catumbela (Angola)

Olhando para os valores estatísticos (Tabela 7.13) em alguns pontos, os valores de nitritos, apresentaram-se acima do limite (0,2 mg/L) estabelecido por (WHO, 2008). A análise sobre a variação espacial destes parâmetros ilustra-se nas Figuras 7.13, 7.14, 7.15 e 7.16, na generalidade, destaca-se a ausência de nitratos nas águas dos furos e poços do aluvião em estudo devido ao provável facto destas águas possuírem o ORP com valores negativos ou próximos de zero.

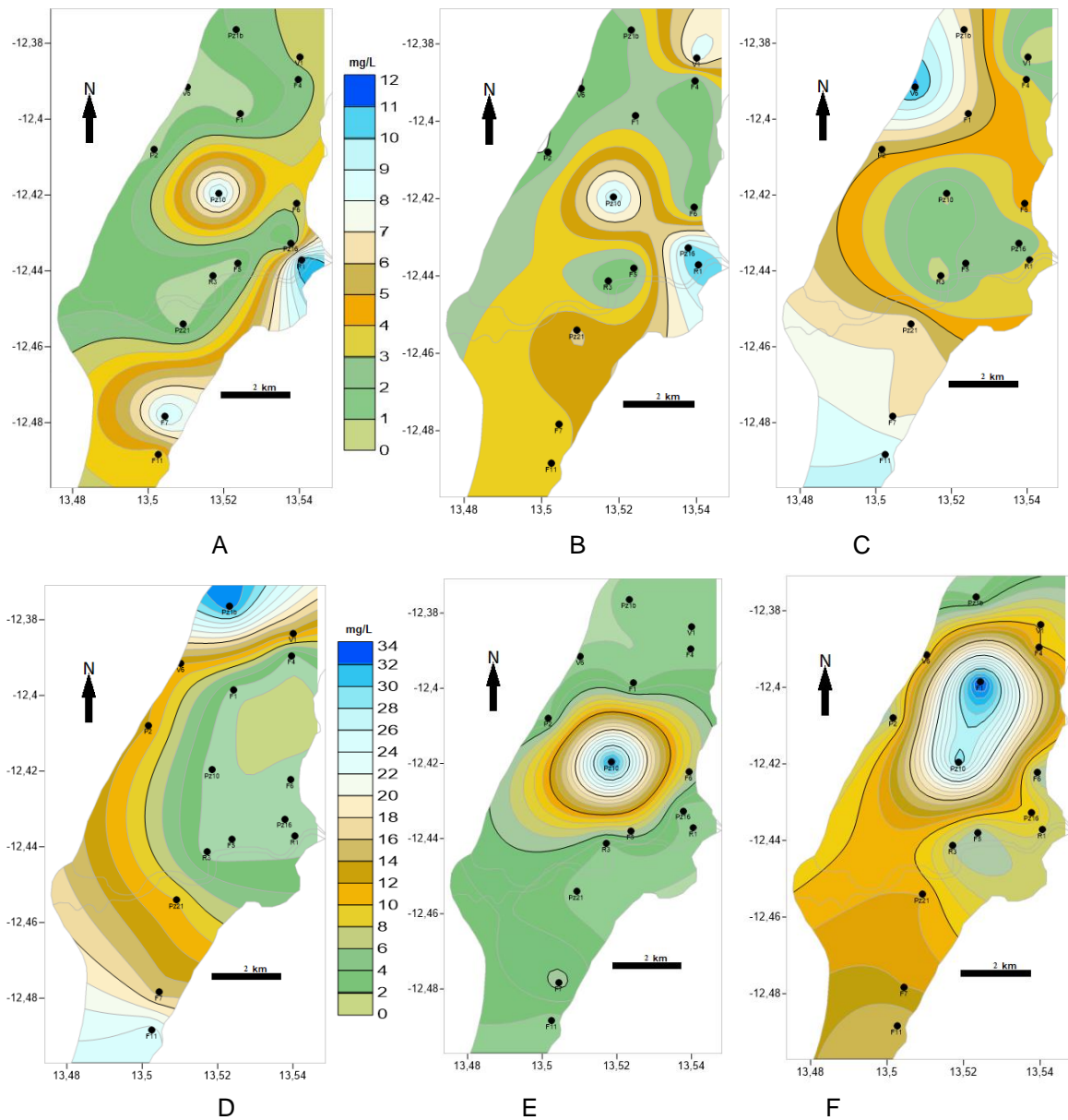


Figura 7. 13. Variação espacial de Nitrato (A -março de 2014 B- Novembro de 2014 C -março de 2015) e Nitrito (D -março de 2014 E- Novembro de 2014 F -março de 2015).

Estratigrafia e Hidrogeologia do Depósito Deltaico do Rio Catumbela (Angola)

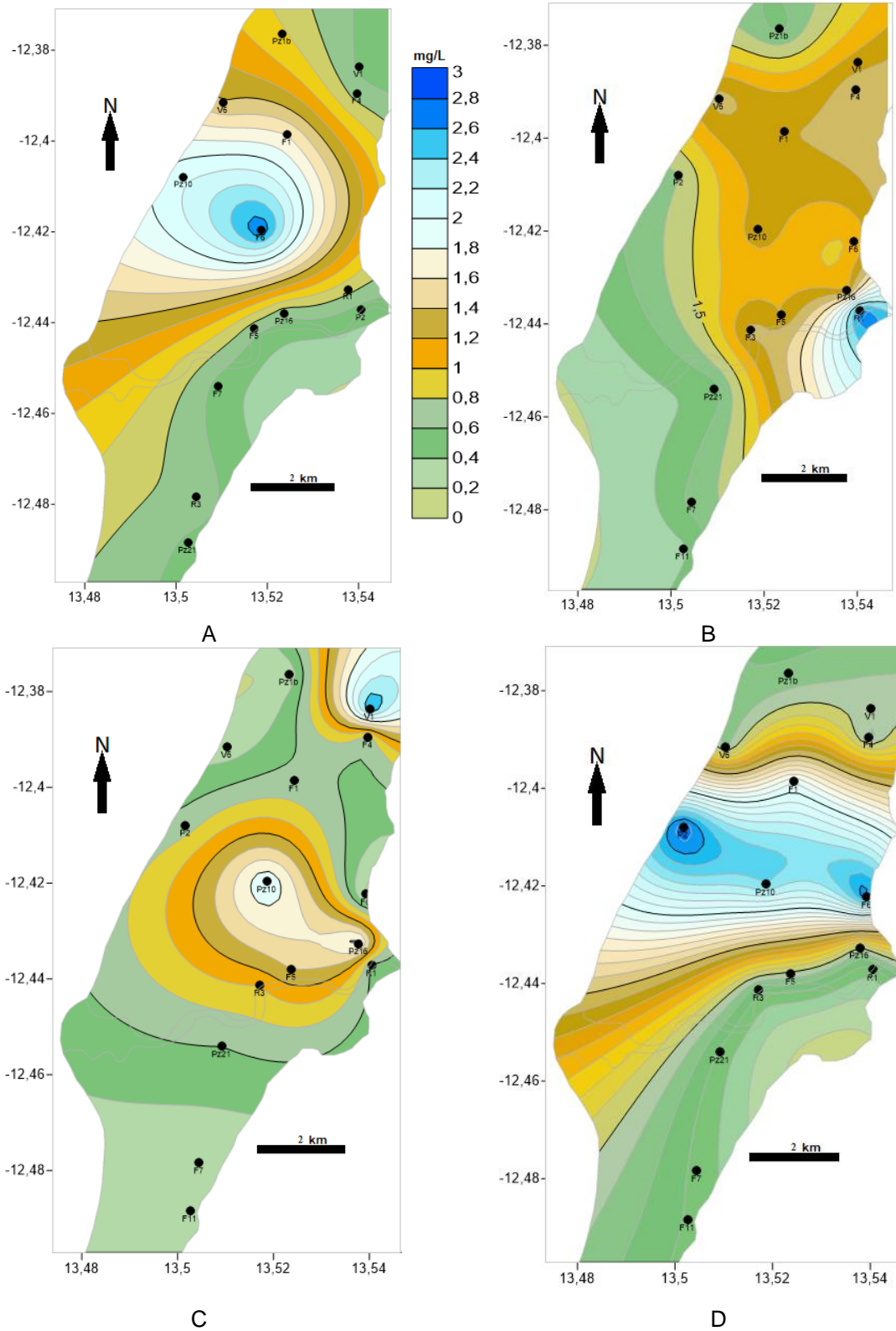


Figura 7. 14. Variação espacial de Amônia (NH₃ em mg/L) na zona em estudo. Medições efetuadas em (A) novembro de 2013, (B) março de 2014, (C) novembro de 2014 e (D) março de 2015.

7.4.2.6. Fosfato

Segundo a WHO (2011) e Parron et al., 2011, o fósforo na água pode derivar naturalmente da dissolução de rochas, decomposição de matéria orgânica também pode derivar da dissolução de compostos do solo, decomposição da matéria orgânica, dos esgotos, etc. Para Mendes e Oliveira (2004), o maior contributo de fosfatos nas águas é devido aos resíduos e efluentes industriais domésticos se agrícolas.

O teor em fosfatos tem de ser cuidadosamente bem controlado nas águas doces superficiais porque constitui o factor limitante primário dos processos de eutrofização, pelo que a concentração dos iões fosfato não deve ultrapassar 0,01 mg/L (Mendes e Oliveira, 2004). O DL nº 236/98 da República portuguesa e o DL nº 261/11 da república de Angola, estabelecem 0,4 mg/L como VMR e 0,7 mg/L como VMA para as águas doces superficiais destinadas à produção de água para consumo humano e não indicam valores para a rega. Pawar et al. (2008) sugerem que a concentração de fosfato em águas naturais deverá ser baixa (< 0,5 mg/L) e valores acima de 1,0 mg/L geralmente são indicativos de águas poluídas.

Na Tabela 7.14 apresentam-se os valores estatísticos das concentrações em fosfatos, onde os resultados mostram 1,6 mg/L como valor médio alto. A variação espacial (Figs. 7.17) destaca o sector norte e um ponto no centro com valores indicadores de excesso de fosfato segundo valores indicados no DL nº 236/98 e DL nº 261/11 (0,4 mg/L como VMR e 0,7 mg/L como VMA). A razão pode estar relacionada com o uso de fertilizantes usados na agricultura e influência das águas urbanas.

Tabela 7. 14. Valores estatísticos da variação de Fosfato (mg/L) da água dos furos, poços e linhas de água, referentes as campanhas de novembro de 2013 a março de 2015 (dados originais no anexo 4).

Parâmetro	Março de 2014	Novembro de 2014	Março de 2015
Fosfato (PO₄³⁻)			
Média	0,5	1,6	0,5
Máximo	1,4	11,2	2,1
Mínimo	0,1	0,1	0,0
Desvio Padrão	0,4	2,9	0,6
Moda	0,2	0,5	#N/D
Mediana	0,3	0,6	0,2
Total Medições	15,0	15,0	15,0

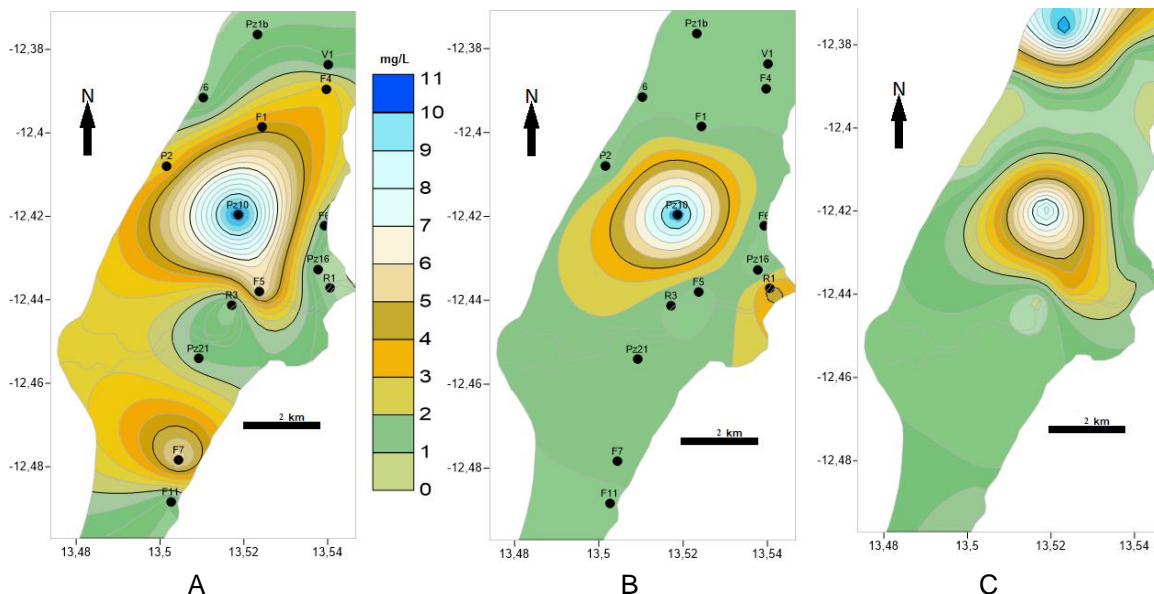


Figura 7. 15. Variação espacial de Fosfato (PO_4^{3-} em mg/L) na zona em estudo. Medições realizadas em (A) março de 2014, (B) novembro de 2014 e (C) março de 2015.

7.4.2.7. Manganés

Nos sedimentos e solos abunda em forma de manganês (II), (III) e (IV) como óxidos e hidróxidos e em carbonato de rodocrosite ($MnCO_3$). Naturalmente ocorre também em muitas fontes de águas superficiais e subterrâneas (WHO 2011), em águas naturais o seu teor é diminuto, sendo geralmente inferior a 0,05 mg/L, excepto em algumas águas subterrâneas, águas superficiais em condições anaeróbicas e no hipolimnion de alguns lagos (Mendes e Oliveira, 2004) Nas águas marinhas apresenta-se mais limitado (0,0004 mg/kg), aplica-se principalmente no fabrico de ligas de ferro e aço, como um oxidante na limpeza, no branqueamento, na desinfecção, nos ingredientes, etc. (WHO 2011).

Segundo a (WHO 2011), não existem efeitos adversos observados, mas usando um factor de incerteza de 3 para água potável foi estabelecido um valor base para a saúde pública de 0,4 mg/L. Mendes e Oliveira (2004) referem que a OMS, estabelece o VMR de 0,1 mg/L.

Segundo as normas nacionais e comunitárias nos DL 74/90 e DL 236/98 e directiva 80/778/CEE foi estabelecido como VMR de 0,02 mg/L.e VMA de 0,05

mg/L. A directiva 98/83/CE-DL 243/2001, estabelece o VMR de 0,05 mg/L (Mendes e Oliveira 2004).

As rochas ígneas apresentam maiores concentrações de manganês (937 mg/kg). O rio Catumbela, no seu percurso, atravessa grandes afloramentos de granitos facto que proporciona à grande constituição dos sedimentos graníticos no aluvião em estudo. O manganês participa no metabolismo das plantas, é mais consumidos nos alimentos e, valores de $\text{pH} > 7$, a solução aquosa situa-se no campo dos óxidos de manganês e carbonato de manganês (WHO 2011). Os resultados indicam maiores concentrações de manganês com a média 2,6 mg/L, máximo 15,0 mg/L (Tabela 7.15). Em todas as campanhas a sua concentração é mais evidente na amostra PZ10 que se situa num ponto ambientalmente crítico (Fig.7.18) caracterizado fisicamente por indicadores altos da Biodegradação.

O aluvião é rico em cobertura vegetal característica das zonas húmidas assim como das espécies agrícolas e hortícolas. No entanto, estas razões, podem justificar as maiores concentrações de manganês nas águas superficiais e subterrâneas do aluvião do rio Catumbela.

Tabela 7. 15. Tratamento estatístico dos resultados de Manganês (mg/L) da água (em furos, poços e linhas de água) obtidos nas campanhas de novembro de 2013 a março de 2015 (dados originais no anexo 4).

Parâmetro	Novembro de 2013	Março de 2014	Novembro de 2014	Março de 2015
Manganés (Mn)				
Média	2,6	0,6	0,5	0,6
Máximo	15,0	1,8	1,8	1,5
Mínimo	0,0	0,0	0,1	0,1
Desvio Dadrão	5,4	0,6	0,5	0,4
Moda	0,1	0	0,1	0,7
Mediana	0,2	0,5	0,3	0,6
Total Medições	15,0	15,0	15,0	16,0

Estratigrafia e Hidrogeologia do Depósito Deltaico do Rio Catumbela (Angola)

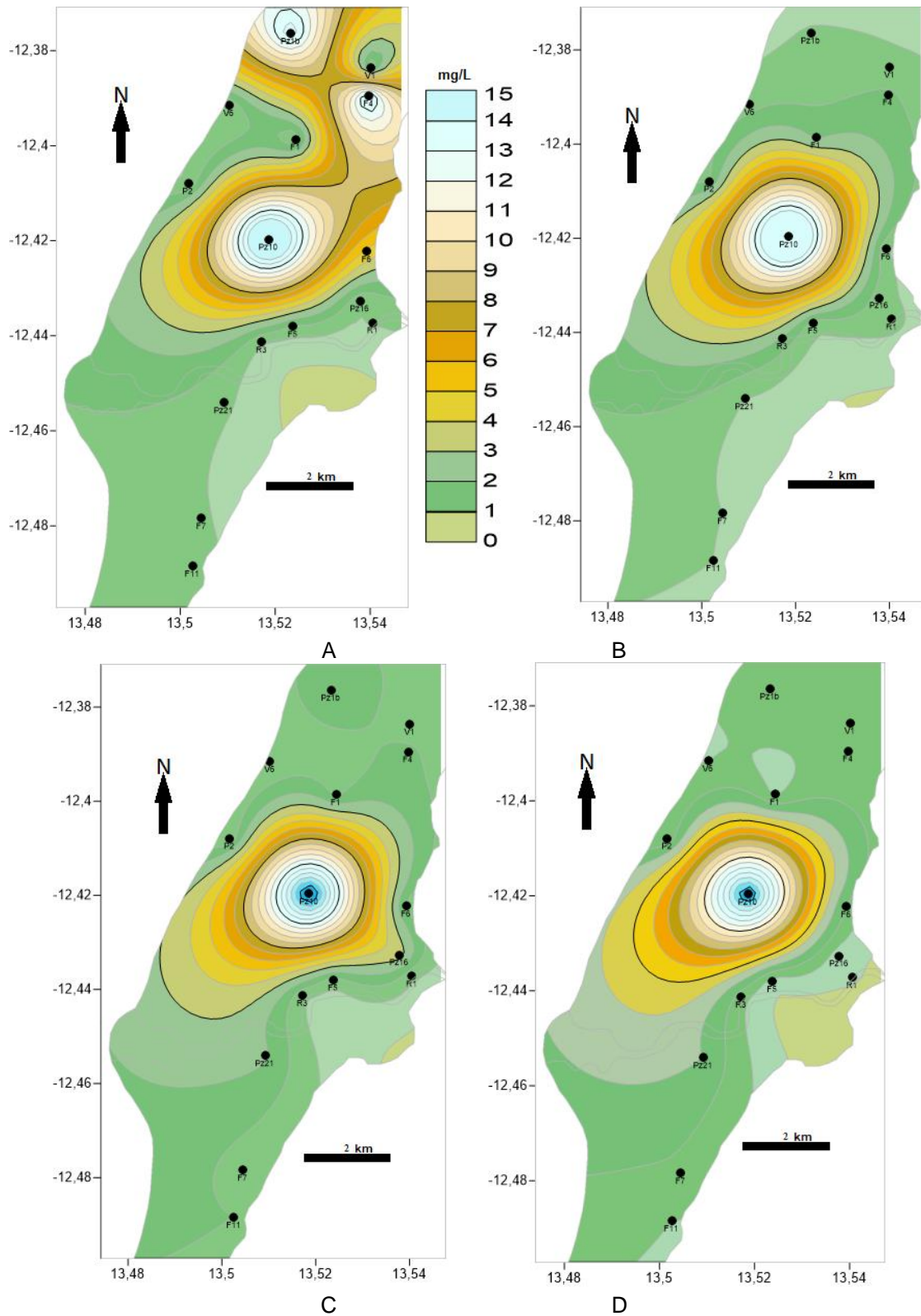


Figura 7. 16. Variação espacial de Manganês (Mn em mg/L) na zona em estudo. Medições efetuadas em (A) novembro de 2013, (B) março de 2014, (C) novembro de 2014 e (D) março de 2015.

7.4.2.8. Crómio

Para *Agency for Toxic Substances and Disease Registry* (ASTDR, 2000) a presença de crómio nas águas de consumo tornou-se um problema de saúde pública devido aos efeitos tóxicos do Crómio VI, até mesmo em baixos níveis de concentração e pelo facto de que ele é amplamente distribuído no ambiente. O crómio é um elemento que pode ser encontrado nas águas, ar, rochas, solos e em toda matéria biológica, porém não é comum a ocorrência natural de concentrações elevadas em águas subterrâneas (WHO, 2004). A fonte principal de poluição ambiental de crómio pode ser natural, através das poeiras de origem geológica e processos de erosão de rochas, a poluição antrópica pode ser através da indústria de metalurgia, siderurgia, metalurgia do cobre, combustão de gás natural, combustíveis fósseis, carvões, incineração de resíduos e fertilizantes fosfatados (Mendes e Oliveira 2004).

O crómio pode existir em vários estados de oxidação e, sob a forma de Crómio VI é perigoso, pois é considerado cancerígeno para o Homem (WHO, 2004; Mendes & Oliveira 2004).

Na obra de Mendes e Oliveira (2004) os valores paramétricos do crómio referidos no Decreto-Lei nº 243/2001, na Directiva comunitária 98/83/CE e os apresentados pela OMS, não diferem com os definidos no Decreto Lei nº 74/90, Decreto Lei nº 236/98 – República de Portugal e Decreto Lei nº 261/11 - República de Angola, no qual, estabelecem o VMR de 0,05 mg/L.

O crómio é amplamente distribuído na crosta da Terra e o valor de referência é designado como provisório (0,05 mg/L) por causa de incertezas no banco de dados toxicológicos. (WHO, 2003). Nas amostras analisadas o crómio VI foi detectado em alguns pontos situados ao longo do rio (R1 e R3) e foram registados valores máximos (~98 µg/L) nas campanhas de novembro/2014 e março/2015 (Tabela 7.16).

Tabela 7. 16. Tratamento estatístico dos resultados de Crómio ($\mu\text{g/L}$) da água (em furos, poços e linhas de água) obtidos nas campanhas de março de 2014 a março de 2015 (dados originais no anexo 4).

Parâmetro	Março de 2014	Novembro de 2014	Março de 2015
Crómio (Cr)			
Média	1,5	7,1	8,3
Máximo	9,0	98,0	97,0
Mínimo	0,0	0,0	0,0
Desvio Padrão	2,6	25,2	25,3
Moda	0	0	0
Mediana	0,0	0,0	0,0
Total Medições	15,0	15,0	15,0

7.4.2.9. Molibdénio

O molibdénio é encontrado naturalmente no solo e é usada no fabrico de aços especiais e na produção de pigmentos e de tungsténio, os compostos de molibdénio são utilizados como aditivos de lubrificantes e na agricultura para prevenir a deficiência em molibdénio cultivado. As concentrações de molibdénio nas águas subterrâneas são geralmente algumas mg/L mas os níveis altos em algumas plantas pode causar concentrações tóxicas, o valor de referência com base na saúde humana é $0,07 \text{ mg/L}$ (WHO, 2011).

Na Tabela 7.17 são apresentadas os valores estatísticos de 15 amostras analisadas em cada campanha.

Tabela 7. 17. Tratamento estatístico dos resultados de molibdénio (mg/L) da água (em furos, poços e linhas de água) obtidos nas campanhas de março de 2014 a março de 2015 (dados originais no anexo 4).

Parâmetro	Março de 2014	Novembro de 2014	Março de 2015
Molibdénio (Mo)			
Média	6,8	9,2	7,1
Máximo	12,0	13,5	13,3
Mínimo	1,4	4,5	0,0
Desvio Padrão	3,8	3,6	4,3
Moda	7	12	6,8
Mediana	7,0	10,6	7,4
Total Medições	15,0	15,0	15,0

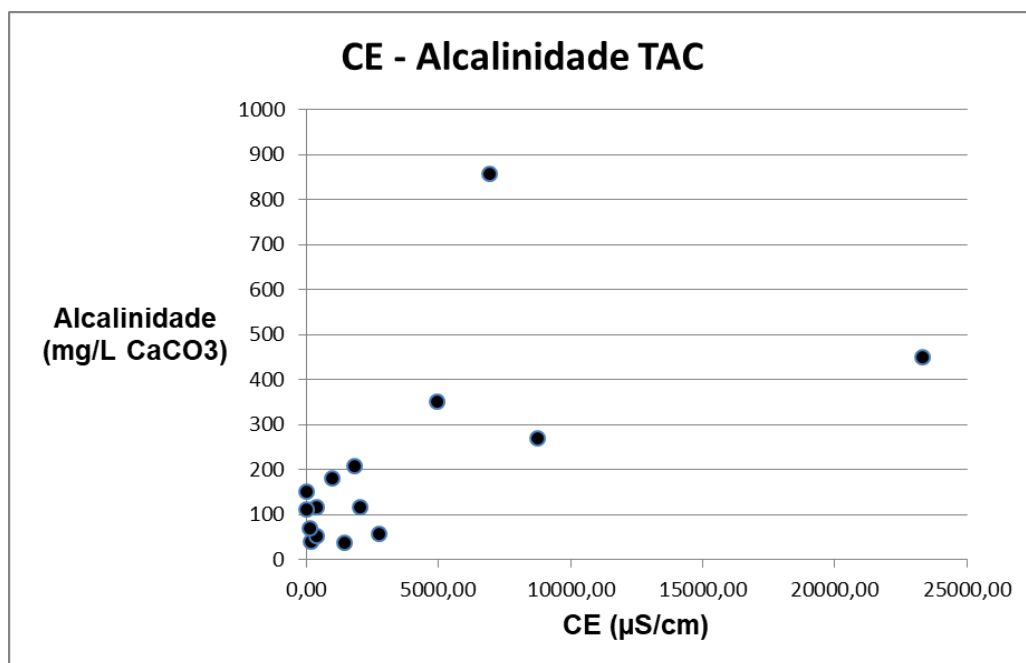
Os valores médios variam entre 6 a $9,2 \text{ mg/L}$; os valores máximos ficam entre 12 a $13,3 \text{ mg/L}$ com o desvio padrão de $3,6$ a $4,3 \text{ mg/L}$, a mediana fica entre $7-10,6 \text{ mg/L}$. No entanto, olhando para o valor limite, considera-se que os valores de molibdénio, em quase todo aluvião, apresentam-se em níveis altos.

7.4.3. Relações inter-paramétricas, origem da água e processos hidrogequímicos

As características físico-químicas e químicas de uma massa de água, superficial ou subterrânea, resultam da sua origem e do conjunto de processos naturais - interação da água com a vegetação, a rocha, o solo e os gases – e de processos não-naturais, nomeadamente decorrentes, direta ou indirectamente das atividades humanas. Os processos hidrogequímicos segundo Castilho 2008 actuam até ao momento da recolha de uma amostra de água e revela da sua evolução e história. Assim, a composição química revela a origem e a evolução de uma massa de água.

O estudo das relações inter-paramétricas fornecem dados importantes para a definição da origem da água, assim como dos processos modeladores da composição físico-química da própria água.

Com o objectivo de se avaliarem a origem e os processos hidrogequímicos presentes nas águas do aquífero freático do DDRC efectuaram-se gráficos de relação inter-paramétrica do tipo X-Y (Figs.7.19).



A

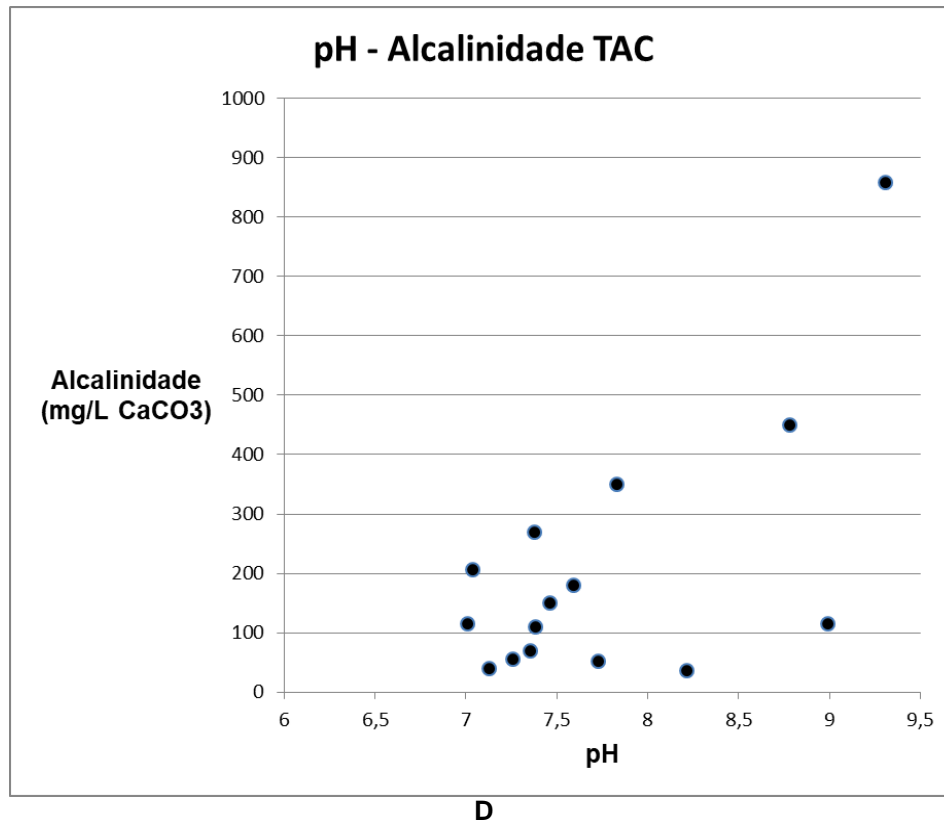


Figura 7. 17. Gráficos das relações inter-paramétricas da água do aquífero freático da zona estudada (DDRC) referentes à campanha de Novembro 2013: A – CE-Alcalinidade; B- CE-Ca; C- CE-Mg; D – pH-Alcalinidade.

Apesar do número reduzido de dados, a leitura dos gráficos apresentados na Fig. 7.19 (relações inter-paramétricas) não expressam nenhuma relação inequívoca entre os parâmetros projectados. Contudo, existe alguma correlação positiva entre a alcalinidade e o pH.

O cálculo de alguns índices hidroquímicos pode ajudar na interpretação dos processos hidrogeoquímicos que ocorrem num sistema hidrogeológico (Custodio e Llamas, 1983; Tabela 7.18).

Na tabela 7.18 retirada de Custodio e Llamas (1983) apresentam-se os índices hidrogeoquímicos mais utilizados no estudo das águas subterrâneas.

Estratigrafia e Hidrogeologia do Depósito Deltaico do Rio Catumbela (Angola)

Tabela 7. 18. Índices hidrogeoquímicos (concentrações em meq/L) mais utilizados na caracterização de águas subterrâneas (Custodio e Llamas 1983).

Índice	Valor	Interpretação
rMg/rCa	0,6	Água da chuva
	0,3 – 1,5	Águas subterrânea
	1	influência de terrenos dolomíticos com dissolução da dolomite
	>1	Terrenos ricos em silicatos de magnésio
	5	Água do mar
rCa/rSO ₄	<1	Dissolução mineral ou perda de Ca em vez de Na nas trocas catiónicas
	1	Dissolução de gesso/anidrite
	>1	Dissolução de carbonatos
rCa/rMg	1	Dissolução da dolomite
	>1	Grande contributo da calcite
	>2	Dissolução de minerais silicatados

Assim, apesar da escassez e de maior rigor dos dados químicos, determinaram-se alguns índices (Tabela 7.19). Utilizaram-se os dados estatísticos da campanha novembro 2014 porque nesta altura verificou-se que havia melhor domínio e conseqüentemente maior precisão, no uso do fotómetro de bancada utilizado para as análises químicas.

Tabela 7. 19. Resultados dos índices hidrogeoquímicos das águas superficiais (rio e vala) e do aquífero freático (poços, furos e piezómetros) do DDRRC referentes à campanha de novembro-2013.

Índice									
	F4	Pz1b	F1	F6	Pz10	Pz16	F5	F7	Pz21
rMg/rCa	6,32	1,14	3,56	1,61	5,68	4,99	5,25	6,23	44,83
rCa/rSO ₄	0,02	0,04	0,2	0,05	0,06	0,08	0,39	0,04	0
rCa/rMg	0,16	0,88	0,28	0,62	0,18	0,2	0,19	0,16	0,02
Índice	Poço 2	Vala 1	Vala 6	Rio1	Rio 3				
rMg/rCa	7,47	1,99	0,39	1,3	5,35				
rCa/rSO ₄	0,01	0,05	0,04	-	0,03				
rCa/rMg	0,13	0,5	2,54	0,77	0,19				

Os resultados dos índices hidrogeoquímicos (Tabela 7.19) indicam:

- o rMg/rCa genericamente manifesta a característica típica de água subterrânea que sofre influência de mineralização da rocha; no caso concreto pode haver a influência de silicatos na mineralização das águas amostradas associada a reacções de hidróxidos; nas águas superficiais, os valores elevados podem estar relacionados com a contaminação da água do mar e matéria orgânica produzida a

nível local (poço2), assim como a contaminação das águas residuais da fábrica de bebidas (cerveja e gasosa) que desembocam no ponto próximo do R3.

- o índice rCa/rSO_4 evidencia a dissolução mineral ou perda de Ca em vez de Na no processo das trocas catiónicas;

- o índice rCa/rMg aponta para que não há grande influência de contaminantes, excepto na amostra da vala 6, situado junto o mar, e apresenta valor > 2 mg/L.

CAPITULO 8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo apresentam-se as principais conclusões da presente investigação, assim como algumas sugestões para futuros trabalhos investigação. Apresentam-se ainda recomendações para uma boa gestão das massas de água que evoluem no DDRC e medidas preventivas e de mitigação dos riscos de sobre-exploração e contaminação daqueles importantes recursos hídricos.

8.1. Principais conclusões

A investigação aos níveis sedimentar e hidrogeológico sobre o Depósito Deltaico o Rio Catumbela (DDRC) permitiu retirar as seguintes conclusões:

Os sedimentos podem ser organizados em 8 fácies associadas a diferentes processos de construção deltaica: 1 fácies de praia, 1 fácies de mangal/laguna costeira, 2 fácies de canal fluvial ou distributário e 4 fácies de planície de inundação.

O DDRC apresenta uma clara assimetria norte-sul que se manifesta por uma distribuição desigual das diferentes fácies, típica de deltas dominados pela ondulação e condicionados por uma forte corrente de deriva litoral num sentido (no caso, de sul para norte).

A distribuição vertical dos sedimentos reflete a progradação do delta. À superfície predominam os sedimentos de planície de inundação, que por vezes alternam com corpos de canal fluvial (ou distributário), sobrepondo-se a unidades de praia e, mais localmente, lagunares.

O desenvolvimento do delta e a distribuição de fácies está fortemente condicionado pela localização preferencial do canal fluvial em duas faixas: uma coincidente com a orientação atual do rio e outra virada a norte, associando-se a configurações geográficas marcadas pela foz do Catumbela na região do Lobito.

Em função dos caudais fluviais descarregados na foz e do volume de sedimento transportado para norte por deriva litoral, o canal tende a migrar em diferentes sentidos: para norte quando os caudais fluviais são menores e para sul, em oposição à corrente de deriva, quando são maiores.

A natureza sedimentar detrítica do DDRC permite a presença de aquíferos e massas de água subterrânea com enorme importância local e regional. As formações de praia apresentam melhores condições hidrogeológicas devido à sua maior extensão, maior espessura, melhor porosidade, melhor condutividade hidráulica (ainda que estes dois últimos parâmetros possam ser comparáveis aos observados nas unidades de canal fluvial ou distributário). A análise dos níveis piezométricos permitiu aferir que:

No aquífero superior ou freático o fluxo hídrico coincide com o escoamento superficial, isto é, efetua-se no sentido E-W; este processo promove a maior descarga natural do aquífero para o mar.

O caudal e a velocidade de escoamento superficial provenientes da bacia hidrográfica do rio Catumbela tendem a diminuir e estabilizar nos domínios do DDRC; assim, nas faixas do canal fluvial formam-se facilmente pequenos charcos (lagunas e mangais) que por se encontrarem-se frequentemente a cotas mais elevadas que a generalidade dos campos envolventes, promovem a recarga das unidades aquíferas do DDRC.

Nos meses mais secos e quentes há uma contribuição (descarga) das unidades aquíferas diretamente para o rio Catumbela; nos meses de maior precipitação atmosférica, ocorre a recarga aquífera a partir da infiltração, das linhas de água e das valas de drenagem urbana.

Os resultados das análises físico-químicas *in situ* e químicas apontam para a ocorrência de águas subterrâneas com mineralizações e durezas muito variadas; este facto deve-se à existência de heterogeneidades mineralógicas no depósito deltaico, mas sobretudo à influência da água do rio e da vala e à proximidade à linha costeira. Os resultados evidenciam ainda o elevado grau de contaminação em certos sectores do delta.

Embora a quantidade de dados actualmente disponíveis sobre a totalidade do DDRC seja escassa os valores da reserva permanente e da reserva reguladora estimados para o Sistema aquífero do DDRC apontam para a ocorrência no DDRC de uma massa de água subterrânea com enorme relevância. No entanto, para a sua sustentabilidade recomenda-se que os valores explorados anualmente não ultrapassem o volume estimado para a reserva reguladora.

Apesar do número reduzido de dados, as relações inter-paramétricas feitas não expressam nenhuma relação inequívoca entre os parâmetros projectados. Contudo, existe alguma correlação positiva entre a alcalinidade e o pH.

Relativamente à ocorrência de contaminações das massas de água estudadas, existem fortes evidências nas elevadas concentrações de sulfato, nitrato, nitritos, amónia, crómio, molibdénio, manganês e fosfato

A configuração da acumulação deltaica terá condicionado a ocupação histórica da região de Benguela. Assume-se que a grande instabilidade do canal terá levado os primeiros exploradores a escolherem um local mais a sul para instalar a sede de Benguela. Presentemente, o desenvolvimento económico da região beneficia da restinga e baía do Lobito, geneticamente ligadas ao DDRC, e do importante reservatório de água doce materializado pelos sedimentos areno-conglomeráticos do delta.

8.2. Recomendações

O presente estudo não encerra a investigação sobre a estratigrafia e hidrogeologia do DDRC. Entendemos ser de grande utilidade a realização de trabalhos de investigação futuros que contemplem:

A utilização de técnicas de sondagem (mecânica ou geofísica) que permitam alcançar níveis mais profundos do DDRC de forma a se obter um melhor conhecimento da localização e natureza da superfície de contacto entre o depósito detrítico do quaternário e as unidades litificadas da bacia de Benguela (muro ou soco do Sistema aquífero).

A realização de ensaios hidráulicos mais completos, isto é, com um maior número de pontos de medição e por períodos de tempo mais alargados.

A adoção de técnicas e processos de monitorização dos níveis piezométricos e hidroquímicos que permitem fazer uma melhor estimativa das condições de recarga aquífera, designadamente a partir das unidades da Bacia de Benguela e da relação hidrodinâmica aquífero rio+vala.

Apresentamos também algumas sugestões de medidas que visem salvaguardar a exploração sustentada e o fornecimento de água com boas condições de quantidade e qualidade.

Algumas passam pela divulgação do conhecimento já adquirido e pela sua disseminação pelas autoridades, escolas, agentes económicos e população em geral. Nesse sentido, os académicos, como agentes da Sociedade civil, devem promover atividades de educação às comunidades no sentido de optarem por práticas económicas e industriais adequadas, nomeadamente de práticas agrícolas (uso racional de fertilizantes e pesticidas, a protecção dos canais de furos abandonados, o uso adequado das embalagens nos locais próximos de poços, furos e linhas de água, etc.) que diminuam os riscos de contaminação das águas.

Por outro lado, as administrações públicas regionais e locais devem promover políticas de gestão dos Recursos Hídricos, em particular, e da preservação ambiental, no geral, sustentáveis. Ficam alguns exemplos:

A inventariação das unidades industriais em expansão pela área do depósito aluvionar e a aplicação de regras que minimizem os riscos de contaminação hídrica.

A inventariação, monitorização e controlo (nomeadamente dos caudais explorados) dos atuais pontos de captação de águas subterrâneas (cacimbas e furos).

O controlo-restrição e autorização da instalação de novas captações.

A implantação de uma rede de amostragem e realização regular de análises físico-químicas e químicas das águas subterrâneas e superficiais.

Implementar um controlo apertado e promover restrições ao uso e ocupação dos solos em toda a extensão do DDRC.

Adoptar medidas de gestão sustentável dos resíduos sólidos produzidos pela actividade humana, optando pelo reforço na educação a comunidade sobre o tratamento domiciliar dos resíduos e a construção de um aterro sanitário.

A ligação de esgotos domésticos à rede de saneamento com a respetiva selagem das fosas sépticas. Um controlo mais efectivo das actividades ao longo das margens do rio e da vala.

A aplicação de medidas de proteção, preservação, conservação e gestão de mangais de modo a evitar que estes subambientes ecológicos sirvam como destino de águas residuais urbanas.

Tendo em consideração a enorme importância social e económica das massas de água que evoluem no DDRC, seria importante constituir um Grupo multidisciplinar de estudo e de gestão das actividades antrópicas naquele domínio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alexandre, A.; Meunier, J. D.; Lézine, A. M.; Vincens, A., & Schwartz, D. (1997). Phytoliths: indicators of grassland dynamics during the late Holocene in intertropical Africa. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 136: pp. 213-229.
- Almeida, C., Mendonça, J. L., Duarte, R.S., Quina A.P. & Neves J.R. (2005). Critérios para definir a sustentabilidade de exploração de águas subterrâneas. IV Seminário Recursos Geológicos, Ambiente e Ordenamento do Território, Vila Real, 29 de Outubro, 5 pp.
- Andrew B.; et al. (2006). Karst groundwater protection: First application of a Pan-European Approach to vulnerability, hazard and risk mapping in the sierra de Líbar (Southern Spain). *Science of the Total Environment*, vol 357 (1.3) Elsevier, pp. 52-59 www.elsevier.com/locate/scitotenv.
- Anthony, E.J. (2015). Wave influence in the construction, shaping and destruction of river deltas: A review. *Marine Geology*, 361: pp. 53-78
- Apelo, C. A. J. & Postma, D. (2005). *Geochemistry, groundwater and pollution*, Ed. 2 A.A. Balkema publishers, London, 644 pp.

- Araújo, A. G., & Guimarães, F. (Agosto de 1992). Geologia de Angola. (S. G. Angola, Ed.) Notícia Explicativa da Carta Geológica à Escala 1/1000000, 132 pp..
- Ashton, A. D. & Giosan, L. (2011). Wave-angle control of delta evolution. *Geophysical Research Letters*, 38(13). DOI: 10.1029/2011GL047630.
- ATSDR (200). Toxicological profile for Chromium. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, U.S. Department of Health and Human Services. 458 pp.
- Batu, V. (1998). *Aquifer Hydraulics. A comprehensive guide to hydrogeologic data analysis.* New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Bhattacharya, J.P. & Giosan, L. (2003). Wave-influenced deltas: geomorphological implications for facies reconstruction. *Sedimentology* 50, 187-210.
- Bhattacharya, J.P. & Giosan, L., (2003). Wave-influenced deltas: geomorphological implications for facies reconstruction. *Sedimentology* 50, pp.187-210
- Bridge J. S. (2003) *Rivers and floodplains: forms, processes and sedimentary record.* Blackwell Scientific, Oxford.
- Burrough, S.L. & Thomas, D.S.G. (2013) Central southern Africa at the time of the African Humid Period: a new analysis of Holocene palaeoenvironmental and palaeoclimate data. *Quaternary Science Reviews*, 80, pp. 29-46.
- Buta-Neto, A.; Tavares, T.S., Quesne, D., Guiraud, M., Meister, C., David, B. & Duarte-Morais, M.L., 2006. Synthèse préliminaire des travaux menés sur le bassin de Benguela (Sud Angola): implications sédimentologiques, paléontologiques et structurales. *Afr. Geosci. Rev.*, 13: 239-250.
- Carvalho H (1980) Geologia de Angola, escala 1:1.000.000, folha 3. Laboratório Nacional de Investigação Científica e Tropical.

- Carvalho, G. S. (1961). Um problema de Geomorfologia aplicada. As possibilidades para a prospecção de minério de alúminio na província de Angola. Boletim dos Serviços de Geologia e Minas de Angola, pp. 19-43.
- Carvalho, G. S. (1963). Problemas de sedimentologia das praias do litoral de Angola: Entre a foz do rio Coporolo e o Lobito . (J. d. Ultramar, Ed.) Garcia de Orta, 11, pp. 291-31.
- Carvalho, H. de, Tassinari, C., Alves, P.H., Guimarães, F. & Simões, M.C. (2000). Geochronological review of the Precambrian in western Angola: links with Brazil. Journal of African Earth Sciences 31, pp. 383-402.
- Castilho, A.M. (1866). Descrição e roteiro da costa ocidental de Africa desde o cabo de Espartel até o das Agulhas. Imprensa Nacional, Lisboa
- Castilho, A. M. A (2008) Lagoas de Quiaios - Contribuição para o seu conhecimento geológico e hidrogeológico. Tese de Doutoramento. Departamento de Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, 475 pp
- Castillo-Oliver, M., Galí, S., Melgarejo, J. C., Griffin, W. L., Belousova, E., Pearson, N. J., & O'Reilly, S. Y. (2016). Trace-element geochemistry and U–Pb dating of perovskite in kimberlites of the Lunda Norte province (NE Angola): Petrogenetic and tectonic implications. Chemical Geology, 426, pp.118-134.
- Cecílio, F. (2013). Breve história da cidade do Lobito (do século VI à 2ª década do século XXI). (1ª Ed.). Lobito. ed. do autor.
- Centro de Investigação Pesqueira (CIP) (2009). Controlo estatístico da estação Meteorológica do Centro de investigação. Lobito, Angola.
- Chaboureau, A.-C., Guillocheau, F., Robin, C., Rohais, S., Moulin, M. & Aslanian, D. (2013). Paleogeographic evolution of the central segment of the South Atlantic during Early Cretaceous times: Paleotopographic and geodynamic implications. Tectonophysics 604, pp.191–223.

- Chase, B.M., Meadows, M.E., Carr, A.S. & Reimer, P.J., (2010). Evidence for progressive Holocene aridification in southern Africa recorded in Namibian hyrax middens: Implications for African Monsoon dynamics and the “African Humid Period”. *Quaternary Research* 74, pp.36-45.
- Cintra, F.L.D. (1997) Disponibilidade de água no solo para porta-enxertos de citros em ecossistema de tabuleiro costeiro. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, (Tese de Doutorado) Universidade de São Paulo, 90 p.
- Contrucci, I., et al. (2004). Deep structure of the West African continental margin (Congo, Zaïre, Angola), between 5°S and 8°S, from reflection/refraction seismics and gravity data. *Geophys. J. Int.* 158, pp.529-553.
- Costa, W. D. (1998). Avaliação de reservas, potencialidade e disponibilidade de aquíferos. X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas (pp. 13-30). São Paulo: SP. Anais.
- Cruz, J. R. (1940). Elementos de climatologia: o clima de Angola. Tipografia, Sociedade Industrial, Portugal:.
- Custódio, E. & Llamas, M. R. (Eds.) (2001). Hidrología subterránea (2 Ed.). Barcelona: Ediciones Omega.
- Custódio, E. e Llamas, M. R.; (1983) Hidrogeologia subterránea, vol I. Omega, S.A Barcelona, 1157pp.
- de Waele B., Johnson SP, & Pisarevsky SA (2008) Palaeoproterozoic to Neoproterozoic growth and evolution of the eastern Congo Craton: its role in the Rodinia puzzle. *Precambrian Research* 160:pp.127–141.
- DeMenocal, P., Ortiz, J., Guilderson, T., Adkins, J., Sarnthein, M., Baker, L. & Yarusinsky, M., (2000). Abrupt onset and termination of the African Humid Period: rapid climate responses to gradual insolation forcing. *Quaternary Science Reviews* 19, pp.347-361.
- Dinis A. C. (1973) Características Mesológicas de Angola, Nova Lisboa, 450 pp.

- Dinis P. A.; Huvi J.; Cascalho J.; Garzanti E.; Vermeesch P. & Callapez P. (2016). Sand-spits systems from Benguela region (SW Angola). An analysis of sediment sources and dispersal from textural and compositional data. *Journal of African Earth Sciences*, 117: pp.171-182.
- Dinis P. A.; Silva L. S.; Huvi J.; Dinis J. M. & Cunha P. P. (2012). Evolução recente (1950-2010) da morfologia dos deltas do Catumbela e Cavaco (Benguela, Angola). In: A Campar de Almeida, AMS Bettebcourt, D Moura, S Dinis, P. A.; Pereira, A. C.; Quinzeca, D., e Jombi, D. 2017b. Gamma-ray dose rate surveys help investigating century-scale beach ridge progradation in the wave-dominated Catumbela delta (Angola). *Geo-Marine Letters*, 37: pp.489–500.
- Dinis, P. A. & Castilho, A. M. 2012. Integrating sieving and laser data to obtain bulk grain-size distributions. *Journal of Sedimentary Research*, 82: 747-754.
- Dinis, P.A., Pereira, A.C., Quinzeca, D. & Jombi, D., (2017). Gamma-ray dose rate surveys help investigating century-scale beach-ridge progradation in the wave-dominated Catumbela delta (Angola). *Geo-Marine Letters* 37, pp.489-500.
- Dinis, P.A.; Huvi J. B. & Callapez P.M. (2018) The Catumbela delta (SW Angola). Processes determining a history of changing asymmetry. *Journal of African Earth Sciences*, 145, pp 68-79
- Diniz, A. C. (1998). Angola, O meio físico e as Potencialidades Agrárias. (ICP), Lisboa, Portugal. 2ª Edição, 175 pp.
- Domenico & Schwartz (1998). *Physical and Chemical Hydrogeology*, 2ª Edition, New York, John Wiley and Sons
- Dupont, L.M., Behling, H. & Kim, J.H., (2008). Thirty thousand years of vegetation development and climate change in Angola (Ocean Drilling Program Site 1078). *Climate of the Past* 4, pp.107-124.

- Eduardo, A., Francés, A. P. & Ribeiro, L. F. (2007) Modelação da recarga do aquífero livre miocénico da bacia de Alvalade e implicações ao nível da contaminação agrícola (Um caso de estudo na infra-estrutura 12 – bloco de rega de Canhestros/Ferreira do Alentejo) Paralta, - Seminário sobre águas subterrâneas, LNEC, 1 e 2, Portugal, 12 pp.
- Emery, K. O., Uchup, E., Phillips, J. & Bowin, C. (1975). Continental Margin off Western África: Angola to Sierra Leona. American Association of Petroleum, 59pp.
- EPA - (2011) Parameters of water quality: Interpretation and standards, Environmental Protection Agency-Wexford, 133 pp.
- Escolar Editora-Angola: Atlas de Angola (2013) Editorial. João Costa, ISBN 978-989-669-036-6 Lobito-Angola.
- Feio, M. (1960). As praias levantadas da região do Lobito e da Baía Farta. In Garcia de Orta: revista da Junta das Missões Geográficas e de Investigações do Ultramar/Junta das Missões Geográficas e de Investigações do Ultramar, 8, pp. 357-370.
- Fonseca, P., & Lima, A. d. (2011). Qualidade das águas subterrâneas em zonas costeiras: Caso de estudo do aquífero livre de Espondende-Vila do Conde (NW de Portugal). VI Congresso Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de expressão Portuguesa. Cabo Verde: Zonas Costeiras: Ilha da boa vista/Cabo Verde 17pp.
- Galvão, C. F., & Silva, Z. (1972). Carta geológica de Angola: Notícia Explicativa da Folha Nº 227-228, 1/100 000-Lobito. Luanda: Direção Provincial dos Serviços de Geologia e Minas de Angola.
- Gingele, F.X., (1996). Holocene climatic optimum in Southwest Africa—evidence from the marine clay mineral record. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 122, pp.77-87.

- Guiraud, M., Buta-Neto, A. & Quesne, D. (2010). Seg-mentation and differential post-rift uplift at the Angola margin as recorded by. *Marine and Petro-leum Geology*, 29: 1040-1068.
- GURN – Governo de Unidade e Reconciliação Nacional da República de Angola, Programas Provinciais de Melhoramento e Aumento da Oferta de Serviços Básicos às Populações (Biénio 2003 – 2004), 1ªEd., Luanda, Secretariado do Conselho de Ministros, pp. 40-41
- Hem, J. D.; (1985) Study and interpretation of the Chemical Characteristics of natural Water, Ed. 3. U.S Geological Survey Water – Supply Paper 2254, 264 pp.
- Hill, A.E., Hickey, B.M. Shillington, F.A. Strub, P.T. Brink, K.H. Barton E.D. & Thomas A.C.. 1998. Eastern Ocean Boundaries. In *The Sea*, Vol 11, The Global Coastal Ocean, Regional Studies and Syntheses, edited by A.R. Robinson and K.H. Brink, John Wiley and Sons, New York. pp.29-68.
- Hipólito, J. R., & Vaz, Á. C. (2011). *Hidrologia e Recursos hídricos* (1ª ed.). (IST, Ed.) Lisboa: IST Press.
- Huvi, J. B. (2010). Dinâmica sedimentar recente em três áreas selecionadas do Litoral de Angola. Contribuição para o Ordenamento do Território. (Tese de mestrado) Universidade de Coimbra/Departamento de Ciências da Terra-Portugal 64 pp.
- Huvi, J., Dinis, P. & Azevedo, J.M., (2018). Estratigrafia do Delta do Catumbela. Controlos sobre a sedimentação e consequências para a ocupação histórica do Litoral de Benguela (SW de Angola). In APQ, Portugal, 34pp.
- Instituto Nacional de Estatística (INE): Governo da República de Angola. CENSO (2014). Divulgação dos resultados definitivos da província de Benguela. Disponível em <http://censo.ine.gov.ao/xportal/xmaun?xpid>.

- Jesus, B. M.d. (2012). Abastecimento, uso e Gestão da água nas cidades do Lobito e da Catumbela (Angola) - Caracterização do estado actual e perspectivas de futuro (Tese de Mestrado). Coimbra, Portugal. 68pp.
- Johnson, A. I. (1967). Specific Yield - Compilation of specific yields for various materials. USGS Water-Supply Paper 1662-D.
- Kahle, M.; Kleber, M. & Jahn, R. 2002. Review of XRD-based quantitative analyses of clay minerals in soils: the suitability of mineral intensity factors. *Geoderma*, 109: 191-205.
- Kirk, R. M. (1991). River–beach interaction on mixed sand and gravel coasts: a geo-morphic model for water resource planning. *Appl. Geogr.*, 11: pp.267–287.
- Korus, J. T. & Fielding, C. R. (2015). Asymmetry in Holocene river deltas: patterns, controls, and stratigraphic effects. *Earth-Science Reviews*, 150: pp.219-242.
- Lei de Bases do Ambiente: Projecto portal do Governo de Angola. nº 5, Publicado aos 19-06-1998. Diário da República ou Boletim Oficial: não Informado.
- Lei n.º 19/2014: Bases da política de ambiente de Portugal. de 14 de Abril. Publicação: 2014-04-14 no Diário da República n.º 73/2014, Série I de 2014-04-14.
- Maia, C. R. M. F. (1943). Algumas modificações geofísicas em portos e embocaduras de rios na África Portuguesa. *A Terra*, 28: pp.11-30.
- Marques, M. M. 1977. Esboço das grandes unidades geomorfológicas de Angola. *Garcia de Orta*, 2: 41-44.
- Marzoli, A., Melluso, L., Morra, V., Renne, P.R., Sgrosso, I., D'Antonio, M., Duarte, L., Morais, E.A.A., Ricci, G. (1999). Geochronology and petrology of Cretaceous basaltic magmatism in the Kwanza basin (western Angola), and relationship with the Prana-Etendeka continental flood basalt province. *Journal of Geodynamics* 28, 341–356.

- Melo, E., Lemos, s., Silva, J., Duarte, L. & Pimental, N. (2010). Sistemas deltaicos recentes no sul de Angola como análogos de reservatórios petrolíferos . VIII Congresso Nacional de Geologia. 19-nº 8, Portugal: GEOTIC – Sociedade Geológica de Portugal, 4 pp.
- Mendes, B. e Oliveira, J. F (2004) Qualidade da água para consumo humano. LIDEL-Edição técnica, Lda. ISBN 978-972-757-274-8, Lisboa pp171-252
- Mendes, P. E. (2012). Análise da Serie Temporal da Componente 2 do Projecto. Situação e tendências de recursos hídricos-Angola. Luanda - Angola: Ministério da Agricultura, 72 pp.
- Miall, A. D. (2013). The geology of fluvial deposits: sedimentary facies, basin analysis, and petroleum geology. Springer.
- Moore, D. & Reynolds, R., 1997. X-Ray-Diffraction and the identification and analysis of clay minerals. Oxford University Press, New York.
- Moulin, M., *et al* (2005). Geological constraints on the evolution of the Angolan margin based on reflection and refraction seismic data (ZaiAngo project). Geophysical Journal International 162, pp.793-810.
- NASA Goddard Space Flight Center Greenbelt (2017), GESDISC- Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center, Maryland 20771, U.S.A
- Neto, F. A. P., França, G. S., Condori, C., Marotta, G. S. A., & Chimpliganond, C. N. (2018). Angola seismicity. Journal of Seismology, pp.1-14.
- Nienhuis, J. H., Ashton, A. D. & Giosan, L. (2016). Littoral steering of deltaic channels. Earth and Planetary Science Letters, 453: pp.204-214.
- Otvos E. G. (2000). Beach ridges – definitions and significance. Geomorphology, 32: pp.83-108.
- Parron, L. M., Muniz, D. H. F. & Pereira, C. M. (2011). Manual de procedimentos de amostragem e análise físico – química de água 1ª Edição. Colombo PR, 69 pp.

- Pawar N. J. et al (2008) Geochemical Eccentricity of Ground Water Allied to Weathering of Basalts from the Deccan Volcanic Province, India: Insinuation on CO₂ Consumption. *Aquat Geochem, India*, 31 pp.
- Pereira S., G., (1986) Freshwater shrimps from Venezuela I: Seven new species of Palaemoninae (Crustacea: Decapoda: Palaemonidae).— *Proceedings of the Biological Society of Washington* 99: pp.198-213.
- Pereira, E.; Neto, M.G.Mm & Cruz, A.G. (2010). Evolução do conhecimento geológico do soco cristalino (Angola 1483-1975). *Ciências Geológicas—Ensino e Investigação da sua História. Geologia das Ex-Colónias de África*, Lisboa, pp. 51-60.
- Powers, M. C. 1953. A new roundness scale for sedimentary particles. *Journal of Sedimentary Research*, 23: 117-119.
- Pranzini, E. (2001). Updrift river mouth migration on cusped deltas: two examples from the coast of Tuscany (Italy). *Geomorphology*, 38: pp.125-132.
- Quesne, D.; Buta-Neto, A.; Benard, D. & Guiraud, G. (2009). Distribution of Albian clastic deposits in the Benguela basin (Angola): evidence of a Benguela paleocurrent? *Bull. la Societe Geol. Fr.* 180: 117-129.
- Ramsay, P.J., (1996). 9000 years of sea-level change along the southern African coastline. *Quaternary International* 31, pp,71-75.
- Ramsay, P.J. & Cooper, J.A.G., (2002). Late Quaternary sea-level change in South Africa. *Quaternary Research* 57, pp.82-90.
- Roque, L.A.O.L. & Missagia, R.M. (2012). Análise do efeito da geometria dos poros nas propriedades físicas da rocha. *VÉRTICES, Campos dos Goytacazes/ RJ*, v.14, n. 2, pp. 71-92.
- Rossetti, D.F.; Polizel, S. P.; Cohen, M. C. L. & Pessenda, L. C. R. (2015). Late Pleistocene–Holocene evolution of the Doce River delta, southeastern Brazil: Implications for the understanding of wave-influenced deltas. *Marine Geology*, 367: pp.171-190.

- Rossi, P., Miranda, J.H. & Duarte, S.N. (2007) Curvas de distribuição de efluentes do íon nitrato em amostras de solo deformadas e indeformadas. Artigo (graduação) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" ESALQ/USP, Piracicaba.
- Santos, A. C. (2000) Noções de hidroquímica. In F-A.C Feitosa e J.M. Filho, Hidrogeologia: Conceitos e aplicações 2ª ed. CPRM, Fortaleza, pp.83-98.
- Schaeffer-Novelli, Y. (1982). Importância do manguezal e suas comunidades. São Paulo: Instituto Oceanográfico.
- Seiffert, M. E. (2009). Sistemas de Gestão ambiental: implantação objetiva e econômica. (Atlas, Ed.) São Paulo, São Paulo: ISO 14001.
- Séranne, M. & Anka, Z. (2005). South Atlantic continental margins of Africa: a comparison of the tectonic vs climate interplay on the evolution of equatorial west Africa and SW Africa margins, *Journal of African Earth Sciences* 43, pp.283-300.
- Shannon, L.V., & M.J. O'Toole. 2003. Sustainability of the Benguela: ex Africa semper aliquid novi. In: K. Sherman and G. Hempel, *Large Marine Ecosystems of the World – Trends in Exploitation, Protection and Research*. Elsevier B.V. pp.227-253.
- Shannon, L.V. & Nelson, G., 1996. The Benguela: large scale features and processes and system variability. In: Wefer, W.H.B.G., Siedler, G., Webb, D. (Eds.), *The South Atlantic: present and past circulation*. Springer, Berlin, pp. 163-210.
- Shi, N., Dupont, L.M., Beug, H.J. & Schneider, R., (1998). Vegetation and climate changes during the last 21,000 yrs in SW Africa-evidence from a high resolution marine palynological record. *Vegetation History and Archaeobotany* 7, pp.127-140.
- Sletten, H.R., Railsback, L.B., Liang, F., Brook, G.A., Marais, E., Hardt, B.F. & Cheng, H. Edwards, R.L., (2013). A petrographic and geochemical record of

- climate change over the last 4600 years from a northern Namibia stalagmite, with evidence of abruptly wetter climate at the beginning of southern Africa's Iron Age. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 376, 149-162.
- Stanley, D.J. & Warne, A.G., (1994). Worldwide initiation of Holocene marine deltas by deceleration of sea-level rise. *Science* 265, 228-228.
- Sterl, A. & Caires, S.,(2005). Climatology, variability and extrema of ocean waves: The Web-based KNMI/ERA-40 wave atlas. *International Journal of Climatology* 25, pp.963-977.
- Suguo, K (2003). *Geologia sedimentar*. Rio de Janeiro, Blucher, 412pp.
- Tamura T. 2012. Beach ridges and prograded beach deposits as paleoenvironmental records. *Earth-Sciences Reviews*, 114: pp.279-297.
- The World Bank. (2002). *Groundwater Quality Protection: A Guide for Water Service Companies, Municipal Authorities and Environment Agencies*. Washington: Banco Internacional de Reconstrução e Desenvolvimento.
- Vieira, A. d. (1971). *Serviços Meteorológicos de Angola*. (Memórias, Ed.) 21 pp.
- Vincens, A., Schwartz, D., Bertaux, J., Elenga, H., & de Namur, C. 1998. Late Holocene climatic changes in western equatorial Africa inferred from pollen from Lake Sinnda, southern Congo. *Quaternary Research* 50, pp.34-45.
- WHO (2003) Chlorite and chlorate in drinking-water. Background document for preparation of WHO Guidelines for drinking-water quality. Geneva, World Health Organization (WHO/SDE/WSH/03.04/86).
- WHO (2003) Chromium in drinking-water. Background document for preparation of WHO Guidelines for drinking-water quality. Geneva, World Health Organization (WHO/SDE/WSH/03.04/4).
- WHO (2003) Molybdenum in drinking-water. Background document for preparation of WHO Guidelines for drinking-water quality. Geneva, World Health Organization (WHO/SDE/WSH/03.04/11).

- WHO (2003) Sodium in drinking-water. Background document for preparation of WHO Guidelines for drinking-water quality. Geneva, World Health Organization (WHO/SDE/WSH/03.04/15).
- WHO (2004) Guidelines for drinking-water quality. Geneva, World Health Organization, 3th ed. pp. 450.
- WHO (2007) pH in drinking-water. Background document for preparation of WHO Guidelines for drinking-water quality. Geneva, World Health Organization (WHO/SDE/WSH/07.01/1).
- WHO (2008) Guidelines for drinking-water quality. Geneva, World Health Organization, 3th ed.
- WHO (2011) Guidelines for drinking-water quality. Geneva, World Health Organization (WHO/SDE/WSH/03.04/114) 4th ed.

ANEXOS

ANEXO 1- Classificação de fácies granulométricas das amostras de sedimentos colhidos no DDRC.

Amostra	Fácies	Classes granulométricas (%)						Total
		Argila	Silte	Areia	Cascalho	Argila e Silte	Areia -Cascalho	
42a2	B1	0,46	2,77	96,77	0,00	3,23	96,77	100
31b2	B1	0,73	3,20	92,84	3,22	3,94	96,06	100
22.3	B1	0,66	3,08	82,71	13,55	3,74	96,26	100
13.1	B1	0,76	4,42	94,81	0,00	5,19	94,81	100
58.2	B1	0,97	4,83	94,20	0,00	5,80	94,20	100
41.4	B1	0,79	5,52	82,40	11,29	6,31	93,69	100
14.1	B1	0,64	5,88	71,63	21,85	6,52	93,48	100
59.2	B1	0,94	5,62	93,44	0,00	6,56	93,44	100
31.4	B1	0,71	5,71	79,57	14,01	6,42	93,58	100
30a2	B1	0,69	6,30	92,64	0,19	6,99	92,83	100
38.3	B1	1,05	7,21	91,74	0,00	8,26	91,74	100
19.4	B1	1,04	8,86	82,72	7,38	9,89	90,11	100
35.5	B1	1,28	10,73	60,40	27,59	12,01	87,99	100
53.2	B1	1,47	11,60	82,79	4,14	13,07	86,93	100
7.5	B1	0,92	12,50	79,84	6,74	13,42	86,58	100
43.3	B1	1,63	12,24	67,90	18,24	13,86	86,14	100
30.3	B1	1,43	13,71	84,87	0,00	15,13	84,87	100
22.4	B1	2,03	14,35	83,61	0,00	16,39	83,61	100
35b2	B1	1,88	15,92	80,86	1,34	17,80	82,20	100
38a4	B1	1,54	13,37	80,04	2,39	14,91	82,43	100
36a3	B1	0,95	4,89	83,03	11,13	5,84	94,16	100
24.3	B1	2,60	17,54	70,10	9,76	20,13	79,87	100
39a1	B2	1,53	16,96	81,51	0,00	18,49	81,51	100
33a2	B2	2,37	18,66	73,98	4,99	21,03	78,97	100
35.2	B2	2,12	18,98	73,10	5,81	21,09	78,91	100
15a3	B2	2,35	18,36	56,28	23,02	20,70	79,30	100
38.2	B2	1,74	18,70	79,56	0,00	20,44	79,56	100
16.6	B2	2,45	19,56	77,99	0,00	22,01	77,99	100
30.2	B2	2,19	22,77	71,27	3,76	24,96	75,04	100
31b4	B2	2,72	24,11	65,84	7,33	26,83	73,17	100
34.1	B2	1,98	21,22	76,81	0,00	23,19	76,81	100
26.4	B2	3,62	26,93	69,45	0,00	30,55	69,45	100
49.5	B2	2,24	26,04	69,06	2,66	28,28	71,72	100
31d4	B2	2,97	30,63	66,40	0,00	33,60	66,40	100
1.2	A	0,61	4,83	55,02	39,54	5,44	94,56	100
34.2	A	0,74	5,59	65,22	28,45	6,33	93,67	100
41.3	A	0,64	4,04	74,71	20,61	4,68	95,32	100
42.4	A	0,42	3,71	72,45	23,42	4,13	95,87	100
56.2	A	0,44	1,52	69,58	28,46	1,96	98,04	100
68.3	A	0,33	1,37	98,31	0,00	1,69	98,31	100
39a2	A	0,00	0,00	63,17	36,83	0,00	100,00	100
29a2	A	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100
40a3	A	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100
44a3	A	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100

Estratigrafia e Hidrogeologia do Depósito Deltaico do Rio Catumbela (Angola)

11.1	E	31,33	67,19	1,48	0,00	98,52	1,48	100
11.2	E	25,20	65,82	8,99	0,00	91,01	8,99	100
12.3	E	18,92	70,95	10,13	0,00	89,87	10,13	100
15.3	E	31,02	67,06	1,43	0,00	98,07	1,43	100
42.3	E	19,53	73,88	6,59	0,00	93,41	6,59	100
60.2	E	44,67	55,33	0,01	0,00	99,99	0,01	100
35a2	E	17,03	72,32	10,64	0,00	89,36	10,64	100
36a2	E	17,03	72,32	10,64	0,00	89,36	10,64	100
38a3	E	22,56	66,66	10,78	0,00	89,22	10,78	100
40a1	D3	8,91	49,70	41,26	0,00	58,60	41,26	100
43a1	D3	7,15	49,55	43,12	0,00	56,70	43,12	100
43a2	D3	6,62	50,59	42,79	0,00	57,21	42,79	100
43a3	D3	4,90	47,60	47,50	0,00	52,50	47,50	100
29.2	D3	7,40	46,49	45,89	0,00	53,89	45,89	100
48.3	D3	4,73	40,17	55,10	0,00	44,90	55,10	100
31b1	D3	6,13	44,03	49,84	0,00	50,16	49,84	100
65.3	D3	8,04	47,58	44,39	0,00	55,61	44,39	100
7.3	D1	2,92	29,01	68,07	0,00	31,93	68,07	100
25.3	D1	2,18	22,83	75,00	0,00	25,00	75,00	100
48.5	D1	3,85	35,10	61,05	0,00	38,95	61,05	100
49.2	D1	2,03	22,01	68,38	7,58	24,04	75,96	100
49.4	D1	2,82	27,70	69,49	0,00	30,51	69,49	100
65.2	D1	3,92	31,73	64,35	0,00	35,65	64,35	100
68.1	D1	2,95	32,10	64,96	0,00	35,04	64,96	100
35a1	D1	4,48	28,78	66,74	0,00	33,26	66,74	100
29a1	D1	5,23	33,37	58,81	5,24	38,60	64,05	100
44a2	D1	4,22	27,70	68,08	0,00	31,92	68,08	100
35.1	D1	5,95	41,28	52,65	0,00	47,23	52,65	100
15a1	D1	4,16	36,49	59,28	0,00	40,65	59,28	100
33a1	D1	4,26	30,46	65,16	0,00	34,72	65,16	100
43a4	D2	5,83	55,89	38,28	0,00	61,72	38,28	100
7.2	D2	8,07	66,13	25,80	0,00	74,20	25,80	100
7.4	D2	5,80	52,23	41,97	0,00	58,03	41,97	100
16.4	D2	7,81	52,52	39,67	0,00	60,33	39,67	100
24.2	D2	10,18	54,40	35,42	0,00	64,58	35,42	100
24.4	D2	8,06	53,63	38,31	0,00	61,69	38,31	100
25.1	D2	5,71	53,30	40,99	0,00	59,01	40,99	100
25.2	D2	14,95	70,87	13,92	0,00	85,82	13,92	100
27.2	D2	5,60	48,75	45,66	0,00	54,34	45,66	100
27.3	D2	6,64	53,67	39,69	0,00	60,31	39,69	100
35.3	D2	7,76	53,56	38,54	0,00	61,32	38,54	100
37.2	D2	7,70	51,81	40,48	0,00	59,52	40,48	100
38.1	D2	10,35	70,09	19,55	0,00	80,45	19,55	100
40.2	D2	11,06	64,17	24,76	0,00	75,24	24,76	100
41.1	D2	7,75	48,43	43,83	0,00	56,17	43,83	100
42.2	D2	11,37	64,67	23,96	0,00	76,04	23,96	100
43.4	D2	8,35	50,48	41,16	0,00	58,84	41,16	100
43.5	D2	5,44	44,53	50,03	0,00	49,97	50,03	100
43.6	D2	4,93	42,91	52,16	0,00	47,84	52,16	100
45.1	D2	13,42	66,56	19,80	0,00	79,97	19,80	100
31b3	D2	5,94	55,54	38,52	0,00	61,48	38,52	100

Estratigrafia e Hidrogeologia do Depósito Deltaico do Rio Catumbela (Angola)

31d2	D2	5,50	57,88	36,62	0,00	63,38	36,62	100
31d3	D2	7,61	62,73	29,67	0,00	70,33	29,67	100
32d2	D2	5,50	57,88	36,62	0,00	63,38	36,62	100
35a1P	D2	7,25	55,22	37,53	0,00	62,47	37,53	100
35b1	D2	7,67	56,38	35,95	0,00	64,05	35,95	100
38a1	D2	12,51	65,93	21,34	0,00	78,43	21,34	100
44.1	D2	7,49	45,24	47,15	0,00	52,73	47,15	100
22.5	C1	3,32	22,56	74,12	0,00	25,88	74,12	100
27.4	C2	3,54	28,51	67,95	0,00	32,05	67,95	100
15a2	C2	4,18	33,39	62,34	0,00	37,57	62,34	100
38a2	C3	7,06	28,06	64,88	0,00	35,12	64,88	100
16.3	C3	2,88	21,30	75,81	0,00	24,18	75,81	100
15.6	C3	2,91	21,55	75,54	0,00	24,46	75,54	100
19.3	C3	2,75	26,75	70,50	0,00	29,50	70,50	100
68.2	C3	1,87	16,48	81,65	0,00	18,35	81,65	100
7.1	H	0,96	7,53	91,51	0,00	8,49	91,51	100
11.3	H	1,98	4,42	93,60	0,00	6,40	93,60	100
21.2	H	0,91	6,41	92,67	0,00	7,33	92,67	100
21.3	H	0,66	3,08	82,71	13,55	3,74	96,26	100
55.2	H	0,49	1,68	97,83	0,00	2,17	97,83	100
62.2	H	1,01	4,54	94,45	0,00	5,55	94,45	100
45b2	H	0,85	6,09	82,08	10,83	6,94	92,91	100
26.3	F1	15,15	44,44	40,41	0,00	59,59	40,41	100
16.5	F2	4,24	33,76	61,99	0,00	38,01	61,99	100
49.3	F2	3,56	40,30	51,69	4,44	43,87	56,13	100
44.2	F2	4,27	39,04	56,69	0,00	43,31	56,69	100
5.2	G1	1,94	15,43	82,63	0,00	17,37	82,63	100
5.3	G1	1,44	8,77	84,03	5,76	10,21	89,79	100
45.2	G1	4,25	36,20	59,55	0,00	40,45	59,55	100

Estratigrafia e Hidrogeologia do Depósito Deltaico do Rio Catumbela (Angola)

ANEXO 2- Resultados da mineralogia das amostras de sedimentos colhidos no DDRC.

Fração <2 micra																			
Grupo	Amostra	Esmectite		Vermiculite		Interst		Mica		Caulinite									
B2	26.4	47,9		0,0		0,0		8,1		44,0									
B1	19.4	24,2		0,0		0,0		31,3		44,5									
B1	41.4	0,0		0,0		0,0		40,8		59,2									
B2	34.1	34,9		0,0		0,0		27,3		37,8									
B1	22.4	32,6		0,0		0,0		37,8		29,6									
B2	30.3	19,6		0,0		0,0		35,9		44,5									
B2	15.3a	30,8		0,0		0,0		29,1		40,1									
B1	35b.2	15,4		0,0		0,0		35,6		48,9									
B1	38a.3	17,8		0,0		0,0		14,6		67,6									
B	22.3	20,6		0,0		0,0		19,0		60,4									
C3	15.6	49,2		0,0		0,0		18,2		32,7									
D1	49.2	13,0		0,0		0,0		39,1		47,9									
D2	24.2	29,5		0,0		0,0		16,7		53,9									
D2	43.6	15,3		0,0		0,0		39,8		44,9									
D2	42.2	26,5		0,0		0,0		20,9		52,6									
D2	7.3	77,8		0,0		0,0		12,7		9,4									
E	35a.2	99,9		0,0		0,0		0,0		0,0									
E	36a2	17,9		0,0		0,0		11,4		70,6									
E	12.3	36,0		0,0		0,0		8,5		55,5									
E	11.1	23,5		0,0		0,0		9,7		66,8									
G1	5.3	0,0		0,0		0,0		36,3		63,7									
H	7.1	16,6		0,0		0,0		44,6		38,9									
H	11.3	41,9		0,0		0,0		18,3		39,8									
Fração <63 micra																			
Facies	amostra	Quartzo	Feldspato 1	Feldspato 2	Esmectite	Clorite	Interstrat.	Mica	caulinite	Calcite	Piroxena	Dolomite	Halite	Hematite	Pirite	Aragonite	Filossilicatos	Carbonatos	
B2	15.3a	17,1	30,9	8,9	0,0	0,0	23,6	1,0	0,0	0,0	15,2	1,1	0,0	2,2	0,0	100,0	33,5	15,2	
B1	35b.2	30,1	13,7	7,6	0,0	0,0	43,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,2	0,0	0,0	100,0	50,9	0,0	
B1	36a.3	0,2	0,1	0,0	99,2	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	100,0	99,6	0,1	
B	22.3	15,6	23,6	0,0	25,3	0,0	24,6	0,0	5,7	0,0	0,0	0,0	1,7	0,0	3,4	100,0	50,0	9,1	
B1	22.4	13,3	10,3	9,0	23,4	0,0	1,8	0,0	14,3	0,0	8,0	5,3	0,0	0,0	14,5	100,0	34,2	36,8	
B1	42a.2	24,2	8,8	0,0	0,0	0,0	52,8	0,0	7,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,8	100,0	52,8	14,2	
B2	34.1	17,2	13,8	0,0	0,0	0,0	38,9	0,0	13,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17,0	100,0	38,9	30,1	
B2	26.4	12,9	23,9	19,4	0,0	0,0	15,4	0,7	16,0	0,0	0,0	0,0	1,1	2,5	8,0	100,0	35,5	24,0	
B2	30.3	36,0	36,1	7,6	0,0	0,0	0,0	0,0	5,5	0,0	0,0	0,0	2,2	2,5	0,0	100,0	7,6	15,6	
B1	38a.3	9,7	23,9	0,0	0,0	0,0	53,7	0,0	2,3	0,0	0,0	0,0	6,1	4,4	0,0	100,0	53,7	2,3	
C3	15.6	7,7	12,6	14,8	0,0	0,0	23,1	0,0	14,5	0,0	9,5	0,0	3,0	4,4	10,3	100,0	37,9	34,4	
D1	49.2	11,5	7,8	0,0	4,1	0,0	56,3	0,6	6,3	0,0	0,0	0,0	0,0	2,7	10,8	100,0	61,0	17,0	
D1	7.3	31,1	11,0	11,6	0,0	0,0	32,0	0,0	9,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,8	100,0	43,5	14,4	
D2	42.2	5,7	0,0	0,0	0,0	0,0	39,3	54,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	94,3	0,0	
D2	43.6	39,9	34,3	0,0	0,0	0,0	20,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,1	0,0	0,0	100,0	20,7	0,0	
D1	25.3	8,2	16,5	41,2	0,0	0,0	26,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,6	100,0	67,6	7,6	
D2	24.2	15,0	18,1	0,0	45,7	0,0	8,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,8	7,5	0,0	100,0	54,5	0,0	
D3	48.5	12,5	23,6	15,6	0,0	0,0	42,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,4	2,6	0,0	100,0	57,8	0,0	
E	35a.2	5,9	14,3	17,0	37,2	0,0	13,9	0,0	0,0	0,0	7,3	0,0	1,1	0,0	3,4	100,0	68,0	10,8	
E	12.3	3,7	8,3	11,6	59,5	0,0	11,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	4,3	100,0	82,9	4,3	
E	11.1	2,7	28,1	0,0	40,3	22,2	6,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	69,2	0,0	
E	12.3	8,9	10,6	16,6	51,2	0,0	12,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	80,4	0,0	
F2	16.5	41,3	16,0	9,5	0,0	0,0	28,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,9	0,0	0,0	100,0	37,8	0,0	
H	7.1	11,9	26,5	8,5	0,0	0,0	27,0	1,7	3,4	0,0	2,1	1,6	4,4	4,5	8,5	100,0	37,2	14,0	
H	11.3	12,4	12,6	0,0	22,1	0,0	44,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	0,0	5,9	100,0	66,7	5,9	
H	28.5	13,1	11,3	0,0	12,4	0,0	35,1	10,4	10,2	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	6,9	100,0	57,8	17,0	

Estratigrafia e Hidrogeologia do Depósito Deltaico do Rio Catumbela (Angola)

Fracção total															
Fácies	Amostra	Quartzo	Feldspato	Esmectite	CloTrite	Interstrat.	Mica	caulinite	Calcite	Dolomite	Halite	Hematite	Aragonite	Pirite	Filossilicatos
B2	34.1	54,1	14,2	0,0	0,0	0,0	8,6	8,8	3,7	5,5	0,0	2,4	0,0	2,7	100,0
B1	41.4	70,9	12,0	1,6	0,0	0,0	6,0	2,9	3,2	2,2	0,0	1,2	0,0	0,0	100,0
B1	35b.2	73,5	18,3	0,0	0,0	0,0	2,7	0,8	3,2	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	100,0
C1	22.5	66,5	0,0	0,0	12,0	0,0	6,7	8,8	3,7	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	100,0
D1	25.3	96,7	0,8	0,0	0,0	0,3	0,4	0,5	0,4	0,8	0,0	0,2	0,0	0,0	100,0
D2	42.2	45,5	0,0	0,0	0,0	14,8	20,0	19,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
D3	48.5	58,5	15,6	0,0	6,7	0,0	5,0	5,5	0,0	4,7	1,2	2,7	0,0	0,0	100,0
D2	43.6	68,3	4,4	0,0	6,5	0,0	4,0	4,0	2,4	5,0	0,0	2,8	0,0	2,6	100,0
E	11.1	31,4	6,6	0,0	0,0	7,7	8,8	15,1	18,8	2,7	0,0	9,0	0,0	0,0	100,0
F2	16.5	67,4	15,6	0,0	0,0	2,4	3,8	2,7	2,3	3,8	0,0	2,0	0,0	0,0	100,0
F2	16.5	21,2	2,8	0,0	19,8	0,0	6,6	7,1	23,3	5,3	0,0	11,0	0,0	3,0	100,0

Estratigrafia e Hidrogeologia do Depósito Deltaico do Rio Catumbela (Angola)

ANEXO 3. Resultado dos níveis hidrostáticos da água subterrânea do DDRC (Campanhas de março 2013 a março 2015)

Ponto	X	Y	Cota sup	Profundidad e do furo	Março de 2013		Novembro de 2013		Março de 2014		Novembro de 2014		Março de 2015	
					Profundidad e da Água	Nível freático	Profundidad e da Água	Nível freático	Profundidad e da Água	Nível freático	Profundidad e da Água	Nível freático	Profundidad e da Água	Nível freático
Pz1a	13.539722°	-12.383222°	5	4	3	2	1,4	3,6	2	3	1,7	3,3	1,7	3,3
Pz1b	13.523252°	-12.376383°	4	1,8	0,6	3,4	0,9	3,1	0,9	3,1	0,6	3,4	0,4	3,6
Pz1c	13,518667°	-12,37789°	4	2	0,7	3,3	0,6	3,4	0,8	3,2	0,8	3,2	0,2	3,8
Pz3	13,518528°	-12,39311°	5	5,7	1,7	3,3	1,6	3,4	1,8	3,2	1,3	3,7	1,5	3,5
Pz6	13.534408°	-12.415619°	10	6,5	0,8	9,2	0,9	9,1	0,9	9,1	0,9	9,1	1,9	8,1
Pz9	13.522846°	-12.434130°	8	2,9	1	7	1	7	0,8	7,2	0,9	7,1	1,2	6,8
Pz10	13.518613°	-12.419694°	5	4,4	0,9	4,1	0,8	4,2	0,8	4,2	0,6	4,4	1,1	3,9
Pz12	13.509250°	-12.426139°	6	3,4	0,2	5,8	0,3	5,7	0	6	0,4	5,6	0,7	5,3
Pz13	13.502334°	-12.439062°	6	4,5	0,7	5,3	0,6	5,4	0,3	5,7	0,6	5,4	1	5
Pz15	13.514139°	-12.439833°	8	3,3	1,4	6,6	1,6	6,4	1,6	6,4	1,4	6,6	1,5	6,5
Pz18	13.531222°	-12.444349°	11	6,7	1,6	9,4	2,1	8,9	1,4	9,6	2,4	8,6	2	9
Pz19	13.516222°	-12.461072°	6	4,6	1,1	4,9	1,2	4,8	1,9	4,1	0,6	5,4	0,6	5,4
Pz20	13.510602°	-12.472318°	8	6,3	2,4	5,6	2,6	5,4	1,6	6,4	2,3	5,7	1,6	6,4
Pz22	13.522257°	-12.452041°	6	1,9	1,1	4,9	1,4	4,6	1	5	0,8	5,2	1	5
Pz23	13.516631°	-12.457374°	6	5,8	1,8	4,2	1,7	4,3	0,3	5,7	0,3	5,7	0,2	5,8
F1	13.524343°	-12.398654°	5	11,6	N.D	N.D	2	3	3,1	1,9	2,2	2,8	1,8	3,2
F2	13.523252°	-12.376383°	4	13,5	N.D	N.D	0,8	3,2	1	3	0,6	3,4	0,5	3,5
F4	13.539694°	-12.389500°	7	12	N.D	N.D	2,4	4,6	2,9	4,1	2,5	4,5	3,9	3,1
F5	13.523750°	-12.438056°	8	12	N.D	N.D	2,9	5,1	1,6	6,4	2,4	5,6	2,2	5,8
F6	13.539314°	-12.422295°	8	12	N.D	N.D	1,6	6,4	1,5	6,5	2	6	1,4	6,6
F7	-	-12.478419°	8	14,4	N.D	N.D	2,4	5,6	4,2	3,9	2,9	5,1	2,3	5,7

Legenda: N.D (Não determinado)

Estratigrafia e Hidrogeologia do Depósito Deltaico do Rio Catumbela (Angola)

ANEXO 4. Resultados das análises físico-químicas *in situ* de amostras de água de furos, poços e linhas de água efetuadas nas campanhas de março 2013 a março 2015.

Campanha de março 2013						
Ponto de amostragem	T (°C)	pH	ORP (mV)	OD (%)	CE (µS/cm)	SDT (ppm)
Pz1a	30,6	6,9	108,3	0,0	5593,0	2797,0
Pz1b	32,3	7,0	72,8	31,1	9531,0	4766,0
Pz2	30,0	6,3	76,5	19,4	1217,0	629,0
Pz1c	31,6	8,6	68,1	20,8	8202,0	4101,0
Pz3	30,8	6,5	90,8	14,8	800,0	400,0
Pz5	28,6	8,6	-142,8	16,0	926,0	463,0
Pz6	28,4	6,5	95,3	33,9	673,0	337,0
Pz8	29,1	7,4	6,0	0,0	392,0	196,0
Pz9	27,9	7,9	-28,5	0,0	290,0	145,0
Pz10	28,1	12,5	-378,2	0,0	12790,0	6397,0
Pz12	30,6	7,3	63,8	0,0	622,0	311,0
Pz13	29,7	7,5	64,3	58,4	1069,0	535,0
Pz14	29,5	6,1	130,0	32,3	76,0	38,0
Pz15	28,8	6,3	121,2	8,6	234,0	117,0
Pz16	31,2	9,9	-372,1	0,0	1916,0	958,0
Pz18	26,9	10,2	-365,3	0,0	353,0	177,0
Pz19	30,5	7,2	85,4	31,6	319,0	160,0
Pz20	29,0	8,4	-189,7	6,9	73380,0	36690,0
Pz21	27,8	6,2	112,1	10,6	99,0	50,0
Pz22	29,2	6,2	113,8	13,4	236,0	118,0
Pz23	33,3	7,7	-38,4	0,0	12750,0	6376,0
Campanha de novembro 2013						
Pz1a	29,3	6,9	38,8	51,6	8817,0	4409,0
Pz1b	30,4	7,8	28,3	14,8	30440,0	15220,0
Pz1c	29,6	7,4	-15,3	0,0	7219,0	3610,0
Pz3	29,0	7,1	-35,6	0,0	676,0	338,0
Pz4	29,1	6,7	30,0	22,5	3144,0	1572,0
Pz5	26,5	6,6	31,3	82,6	523,0	262,0
Pz6	29,9	6,5	-68,7	0,0	1134,0	567,0
Pz8	27,2	6,7	7,2	0,0	167,0	84,0
Pz9	27,1	7,0	-0,8	0,0	187,0	93,0
Pz10	28,0	7,8	-84,8	0,0	8368,0	4184,0
Pz 11	28,1	6,8	41,4	0,0	8881,0	4441,0
Pz12	29,3	7,3	23,7	0,0	383,0	192,0
Pz13	28,2	8,1	29,0	1,0	482,0	241,0
Pz15	28,1	7,2	75,9	19,7	1317,0	659,0
Pz 17	25,2	6,8	22,3	0,0	3389,0	1695,0
Pz18	25,8	7,7	34,0	32,7	268,0	134,0
Pz19	31,3	8,0	31,8	0,0	15700,0	7852,0
Pz20	30,3	7,7	29,8	0,0	625,0	312,0
Pz21	26,8	7,2	32,0	0,0	140,0	70,0
Pz22	26,9	7,2	34,6	29,5	127,0	64,0
P1	25,0	7,9	5,5	10,2	14430,0	7214,0
P2	27,1	8,4	-162,2	15,1	107000,0	53510,0
P3	25,7	7,4	-39,9	10,6	1678,0	839,0
R2	26,0	7,5	-63,9	75,5	13,0	6,0
V1	29,5	9,0	35,5	130,6	3568,0	1784,0
V2	27,7	7,3	31,6	1,1	3711,0	1856,0
V3	25,6	7,1	-5,0	0,0	3270,0	1635,0
V4	26,7	7,4	12,8	0,0	2809,0	1404,0
V5	29,4	8,4	11,4	102,4	12620,0	6311,0

Estratigrafia e Hidrogeologia do Depósito Deltaico do Rio Catumbela (Angola)

V6	28,0	7,1	-99,7	0,0	15750,0	7877,0
Campanha de março 2014						
Pz1a	29,7	7,1	-3,3	3,3	7431,0	3716,0
Pz1b	30,4	8,0	14,7	0,0	663,0	331,0
Pz1c	30,3	8,2	-3,9	0,1	7983,0	3992,0
Pz3	28,1	7,3	-186,9	0,0	456,0	228,0
Pz5	27,6	7,2	-119,8	0,0	474,0	237,0
Pz6	26,3	6,9	2,0	0,0	450,0	225,0
Pz9	27,1	7,6	3,3	6,6	137,0	69,0
Pz10	29,1	8,8	-295,1	8,7	4967,0	2483,0
Pz12	27,3	8,6	-35,6	16,0	268,0	134,0
Pz18	25,5	7,6	124,9	14,5	170,0	85,0
Pz19	32,3	7,0	-225,6	0,0	15600,0	7810,0
Pz22	27,2	7,5	90,9	33,3	56,0	28,0
F1	27,8	7,2	-68,9	0,0	311,5	156,0
F2	31,3	8,2	23,6	0,0	1066,0	533,0
F3	27,7	8,7	-43,4	52,5	132,0	66,0
F4	28,0	7,3	-153,3	0,0	997,0	498,0
F5	28,7	7,6	35,6	0,0	136,0	68,0
F6	28,5	7,1	-188,9	0,0	1435,0	718,0
F7	29,3	7,6	62,5	0,0	407,0	203,0
R1	24,5	7,4	95,3	79,1	46,0	23
R2	25,6	7,6	31,3	73,7	50,0	25
R3	25,7	7,5	32,9	73,5	39,0	19,9
P2	29,7	9,0	-30,8	5,0	16210,0	8106,0
P3	27,7	8,5	38,2	13,0	1053,0	527,0
V1	29,2	9,2	-6,0	49,8	971,0	485,0
V2	27,5	7,4	-201,0	9,1	1139,0	569,0
V4	27,9	9,3	-23,8	82,2	4393,0	2197,0
V5	29,2	8,4	-16,4	38,6	3675,0	1837,0
V6	27,8	7,6	-216,8	21,7	26,3	13,2
Campanha de novembro 2014						
PZ1a	28,2	7,4	-159,2	0,0	7463,0	3731,0
PZ1b	28,4	8,2	-142,7	50,6	12890,0	6446,0
PZ1c	29,8	8,0	-502,5	0,0	60650,0	30330,0
PZ3	27,0	7,3	-367,6	0,0	512,0	256,0
PZ5	24,3	7,0	-270,2	0,0	534,0	267,0
PZ6	24,2	6,8	-426,6	0,0	929,0	464,0
PZ9	26,8	7,0	-225,4	0,0	315,0	158,0
PZ10	26,0	8,7	-470,9	0,0	7485,0	3743,0
PZ18	24,0	7,4	-45,5	25,8	420,0	210,0
PZ19	31,4	7,4	-551,4	0,0	61020,0	30510,0
PZ20	26,8	6,9	-285,6	0,0	96360,0	48180,0
PZ21	25,8	6,9	-73,7	0,0	145,0	73,0
PZ22	25,5	7,4	-71,4	64,0	180,0	90,0
PZ23	27,0	6,6	-237,7	0,0	600,0	300,0
F1	25,9	6,9	-155,4	43,9	498,0	249,0
F2	29,5	8,4	-144,7	45,3	2366,0	1183,0
F4	26,4	7,9	-162,3	50,6	4057,0	2028,0
F5	25,0	6,6	-138,2	0,0	199,0	100,0
F6	27,6	7,2	-494,2	0,0	616,0	308,0
F7	26,7	8,0	-294,4	0,0	182,0	91,0
V1	28,8	8,6	-146,7	86,7	1566,0	783,0
V2	28,6	7,5	-412,9	0,0	1976,0	988,0
V3	27,1	7,1	-483,2	0,0	3176,0	1588,0

Estratigrafia e Hidrogeologia do Depósito Deltaico do Rio Catumbela (Angola)

V4	26,6	7,3	-352,4	0,0	2427,0	1214,0
V5	28,5	7,2	-163,9	22,2	835,0	417,0
V6	28,2	7,3	-150,7	3,1	1782,0	891,0
R2	26,0	7,4	-146,0	117,8	15,0	0,0
Campanha de março 2015						
PZ1a	29,6	8,4	-467,8	0,0	6756,0	3378,0
PZ1b	29,5	8,0	-39,4	12,5	8859,0	4430,0
PZ1c	29,9	7,3	-31,5	0,0	33080,0	16540,0
PZ3	28,6	7,8	-4,2	0,0	559,0	279,0
PZ6	25,7	7,1	-352,7	0,0	535,0	268,0
PZ9	28,5	6,1	-271,0	0,0	201,0	100,0
PZ10	28,0	7,9	-413,8	4,6	3972,0	1986,0
PZ12	29,3	7,9	7,5	28,8	321,0	161,0
PZ13	27,2	7,5	-352,6	0,0	439,0	219,0
PZ18	25,1	6,4	-367,7	0,0	329,0	164,0
PZ19	32,9	7,6	-473,4	0,0	48230,0	24120,0
PZ20	28,5	7,0	16,3	0,0	43350,0	21680,0
PZ21	27,1	8,3	-78,1	0,0	170,0	85,0
PZ22	27,2	8,0	-81,2	12,5	32,0	16,0
F1	25,2	6,9	-12,1	31,2	663,0	331,0
F2	30,2	8,2	-17,9	25,6	3548,0	1774,0
F3	27,9	7,3	4,8	0,0	255,0	128,0
F4	27,5	8,2	13,6	30,3	2487,0	1243,0
F5	27,2	6,1	-14,0	0,0	101,0	50,0
F6	28,2	6,4	-320,0	0,0	494,0	247,0
F7	29,4	7,4	15,8	0,0	77,0	38,0
R1	24,7	6,7	46,2	87,6	33,0	16,1
R2	24,8	6,5	58,8	90,6	40,0	22,0
R3	25,1	7,1	41,3	76,5	48,0	24,0
V1	27,4	7,9	-66,9	23,7	790,0	395,0
V2	26,6	7,3	-396,7	30,2	704,0	352,0
V3	27,4	7,3	-398,4	0,0	961,0	481,0
V4	26,0	7,1	-386,5	9,5	803,0	402,0
V5	28,9	7,3	-168,6	2,3	1075,0	538,0
V6	27,3	7,7	-249,0	0,0	8361,0	4181,0
P1	29,5	8,4	-46,3	0,0	10110,0	5056,0
P2	26,9	7,5	-232,8	31,5	3115,0	1558,0
P3	30,1	8,1	-67,6	21,3	9419,0	4710,0

P – poço; Pz- piezómetro; F – furo; V – vala e R- rio

Estratigrafia e Hidrogeologia do Depósito Deltaico do Rio Catumbela (Angola)

ANEXO 5. Resultado das análises químicas (concentrações em mg/L e ug/L) de amostras de água de furos, piezómetros, vala, poço e rio de água. (campanhas de novembro 2013 a março 2015).

Novembro de 2013															
	F4	Pz1b	V 1	V 6	F1	F6	Pz10	P 2	R1	Pz16	F5	R 3	F7	Pz21	F11
CaCO ₃	55	415	155	350	210	500	500	500	0,0	60	60	500	135	70	295
SO ₄ ²⁻	45	150*	150*	150*	0,0	150*	150*	150*	0,0	10,0	0,0	75,0	40,0	10,0	150*
Mn	15	15,0	0,0	0,2	0,0	4,7	20*	0,1	0,1	0,1	0,8	0,0	0,1	0,3	0,3
K	1,5	ld	2,5	20	5,5	20	20	20*	1,5	1,5	10	18,5	2,0	4,5	3,0
NO ₂	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,5	0,1	0,2
NH ₃	0,3	3,0	0,2	1,2	1,6	3,0	3,0	2,2	0,1	0,5	0,2	0,3	0,3	0,1	0,2
Março de 2014															
CaCO ₃	8,5	370	90	305	300	205	500	375	10	60,0	70	30,0	145	65,0	290
SO ₄ ²⁻	45	150*	65,0	150*	5,0	150*	150*	90,0	0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
NO ₃	0,7	0,7	1,2	0,0	0,0	1,2	4,5	0,0	5,7	0,0	0,0	0,0	4,4	0,0	1,4
Ca	0,3	0,1	0,4	4,7	1,1	4,7	0,7	0,5	5,5	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,2
Mg	1,6	0,8	1,3	0,1	1,1	0,7	1,3	1,6	5,5	1,6	3,2	1,4	0,3	0,0	0,0
Mn	1,2	0,1	0,3	0,7	1,8	0,1	20*	0,9	0,5	0,5	0,4	1,8	0,0	0,0	0,0
K	20	ld	5,5	20	3,5	7,5	20	20	19	15,0	7,0	15,0	18,0	12,0	2,5
PO ₄	0,8	0,2	0,3	0,1	1,0	0,3	2,5	0,8	0,1	0,1	1,4	0,1	1,3	0,4	0,2
NO ₂	0,1	33,0	12,0	11,0	0,1	0,1	0,0	11,0	0,1	0,1	0,1	0,1	14,0	9,0	24,0
NH ₃	0,9	0,3	0,8	0,9	0,8	0,6	0,8	0,4	1,8	0,7	0,7	0,8	0,3	0,2	0,2
Cr	0,0	0,0	4,0	0,0	0,0	2	0,0	0,0	2	5,0	0,0	0,0	0,0	9,0	1,0
Mo	7,0	10,0	11,0	8,0	10,0	8	10,6	9,8	2,8	7,0	4,0	4,7	1,4	2,9	0,2
Novembro de 2014															
CaCO ₃	80	225	200	230	0,0	60	1800	485	45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SO ₄ ²⁻	20	5,0	80,0	20,0	10,0	10,0	0,0	45,0	0,0	10,0	0,0	5,0	35,0	30,0	110
NO ₃	0,0	1,0	6,8	0,0	1,5	0,0	8,0	0,0	9,2	8,5	0,0	0,0	2,7	4,2	2,8
Ca	0,3	2,2	1,9	1,0	0,0	0,3	1,0	0,0	2,1	0,7	1,1	0,8	0,8	0,0	1,2
Mg	1,1	1,0	1,9	0,0	1,5	1,2	9,1	0,4	0,3	0,5	0,9	0,5	2,0	1,2	0,3
Mn	0,6	0,9	0,3	0,1	0,4	0,3	0,1	0,1	0,1	1,8	0,2	0,1	0,3	1,1	0,5
K	1,5	12,0	18,0	8,0	4,5	1,5	20,0	19,5	9,5	5,0	1,5	1,0	2,0	2,5	3,5
PO ₄	0,6	0,5	0,3	0,5	0,7	0,6	11,2	0,5	4,5	0,1	0,5	0,7	1,8	1,7	0,4
NO ₂	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,9	4,8	0,2	0,2	0,0	0,8	0,2	0,7	0,1	0,1
NH ₃	0,7	0,2	2,7	0,3	0,7	0,1	2,0	0,7	0,5	2,0	1,4	1,0	0,3	0,6	0,2
Cr	0,0	0,0	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	98	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Mo	12	11,0	13,0	8,0	10,2	13,5	10,8	10,6	4,5	11,0	5,3	12,0	7,1	8,2	0,2
Março de 2015															
CaCO ₃	80	390	15	195	135	60	830	315	20	50	40	30	40	60	165
SO ₄ ²⁻	50	90,0	80,0	90,0	5,0	0,0	20,0	0,0	0,0	10,0	10	80,0	30,0	30,0	90,0
NO ₃	3,5	6,8	0,0	11,4	6,1	4,6	0,8	5,3	3,2	1,8	3,1	0,0	6,9	6,9	9,1
Ca	0,4	1,9	2,0	1,0	0,6	0,1	0,3	0,0	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,1	0,4
Mg	1,0	1,1	2,0	1,0	1,0	1,1	2,9	0,0	0,5	1,1	1,1	1,7	2,1	1,5	0,0
Mn	0,7	1,0	0,8	0,5	0,4	0,9	0,4	0,6	0,1	0,2	0,2	0,7	0,9	1,5	0,5
K	6,7	18,7	3,0	19,0	1,5	19,6	15,0	18,9	1,0	1,5	2,0	1,5	1,0	1,0	3,0
PO ₄	0,1	2,1	0,2	0,0	0,1	0,2	1,8	0,0	0,5	0,4	0,9	0,0	0,2	0,3	0,4
NO ₂	0,1	0,0	0,1	0,1	0,3	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
NH ₃	0,4	0,3	0,5	0,4	1,8	2,7	2,4	2,8	0,2	0,5	0,5	0,2	0,2	0,2	0,2
Cr	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	24	0,0	1,0	97,0	0,0	0,0	0,0
Mo	5,6	13,3	10,5	7,4	8,6	10,4	12,0	10,0	0,0	6,8	0,4	0,5	10,7	6,8	3,5

* Valor máximo de gama Id – Indeterminável (fora de gama); P – poço; Pz- piezómetro;
 F – furo; V – vala e R- rio Na⁺ - Calculado através de balanço iónico; Cr – (ug/L) Cl – (ug/L)

Estratigrafia e Hidrogeologia do Depósito Deltaico do Rio Catumbela (Angola)

ANEXO 6 - Características gerais e resultados dos ensaios hidráulicos realizados

6.1. Ensaios de rebaixamento simples (<i>slug tests</i>)		
Ensaio 1		
Ponto de ensaio: furo F2		
Diâmetro: 6.5 cm		
Quantidade de água introduzida no furo: 20 L		
Profundidade inicial da água: 0,92 m		
Profundidade após a introdução da água: 0,22 m		
Profundidade da água (m)	Tempo de recuperação (min)	
0,22	0,00	
0,42	0,50	
0,44	1,00	
0,65	1,50	
0,75	2,00	
0,81	2,50	
0,86	3,00	
0,88	3,50	
0,90	4,00	
0,92	4,50	
0,92	5,00	
Ensaio 2		
Ponto de ensaio: piezômetro Pz1		
Diâmetro: 6.5 cm		
Quantidade de água introduzida no furo: 20 L		
Profundidade inicial da água: 2,35 m		
Profundidade após a introdução da água: 1,00 m		
Profundidade da água (m)	Tempo de recuperação (s)	Tempo de recuperação (min)
1,00	0,00	0,00
1,05	60,00	1,00
1,10	120,00	2,00
1,20	180,00	3,00
1,22	240,00	4,00
1,23	360,00	6,00
1,30	480,00	8,00
1,35	600,00	10,00
1,40	720,00	12,00
1,43	1020,00	17,00
1,50	1320,00	22,00
1,57	1650,00	27,50
1,62	2250,00	37,50
1,70	2850,00	47,50
1,75	4650,00	77,50
1,88	4710,00	78,50
2,02	5310,00	88,50
2,15	7110,00	118,50
2,35	14310,00	238,50
Ensaio 3		
Ponto de ensaio: furo F7		
Diâmetro: 6.5 cm		
Quantidade de água introduzida no furo: 20 L		
Profundidade inicial da água: 3,80 m		
Profundidade após a introdução da água: 3,40 m		
Profundidade da água (m)	Tempo de recuperação (s)	Tempo de recuperação (min)
3,40	5,00	0,08
3,45	10,00	0,17
3,70	30,00	0,50
3,75	60,00	1,00
3,80	1800,00	30,00

Estratigrafia e Hidrogeologia do Depósito Deltaico do Rio Catumbela (Angola)

6.2. Ensaios de bombagem (pumping tests)			
Ensaio 1			
Ponto de bombagem: Furo F1		Diâmetro: 10 cm	Profundidade inicial da água: 1,14 m
Ponto de observação: Furo F1a		Distância a F1: 42,0 m	Profundidade inicial da água: 1,10 m
Caudal de bombagem (Q): 7,8 L/s			
Duração do ensaio: 190 min			
Data: 8.agosto.2014			
Hora do dia	Tempo de ensaio (min)	F1-Nível hidrodinâmico (m)	F1a-Nível hidrodinâmico (m)
06:00	0	1,14	1,10
06:10	10	3,7	1,10
06:20	20	3,47	1,10
06:30	30	3,52	1,15
06:40	40	3,55	1,16
6:50	50	3,58	1,16
07:00	60	3,60	1,16
07:10	70	3,62	1,16
07:20	80	3,65	1,16
07:30	90	3,67	1,16
07:40	100	3,70	1,16
07:50	120	3,72	1,16
08:00	130	3,74	1,16
08:10	140	3,75	1,16
08:20	150	3,81	1,16
08:30	160	3,84	1,16
08:40	170	3,86	1,16
08:50	180	3,87	1,16
09:00	190	3,87	1,16
Ensaio 2			
Ponto de bombagem: Furo F2		Diâmetro: 6.5 cm	Profundidade inicial da água: 2,7 m
Ponto de observação: Furo F2a		Distância a F1: 37 m	Profundidade inicial da água: 2,7 m
Caudal de bombagem (Q): 7,8 L/s			
Duração do ensaio: 20 min			
Data: 9.agosto.2014			
Data 9.8.2014	Minutos	F2 - Nível hidrodinâmico (m)	F2a -Nível hidrodinâmico (m)
Hora	Minutos	Nível 1 (m)	Nível 2 (m)
06:40	0	2,70	2,7
06:45	5	3,70	2,7
06:50	10	3,72	2,7
06:55	15	3,73	2,7
07:00	20	3,73	2,7
Ensaio 3			
Ponto de bombagem: furo F3		Diâmetro: 6.5 cm	Profundidade inicial da água: 1,92 m
Ponto de observação: furo F3a		Distância a F3: 29,0 m	Profundidade inicial da água: 1,5 m
Caudal de bombagem (Q): 7,8 L/s			
Duração do ensaio: 8 min			
Data: 10.8.2014			
Hora do dia	Tempo de ensaio (min)	F3 Nível hidrodinâmico (m)	F3a Nível hidrodinâmico (m)
07:30	0	1,92	1,5
07:32	2	2,88	1,5
07:34	4	2,93	1,5
07:36	6	2,95	1,5
07:38	8	2,95	1,5
Ensaio 4			
Ponto de bombagem: furo F4		Diâmetro: 6.5 cm	Profundidade inicial da água: 2,64 m
Ponto de observação: furo F4a		Distância a F4: 15 m	Profundidade inicial da água: 2,10 m
Caudal de bombagem (Q): 7,8 L/s			

Estratigrafia e Hidrogeologia do Depósito Deltaico do Rio Catumbela (Angola)

Duração do ensaio: 150 min			
Data: 6.02.2017			
Hora do dia	Tempo de ensaio (min)	F4 – Nível hidrodinâmico (m)	F4a – Nível hidrodinâmico (m)
06:00	0	2,64	2,1
06:30	30	4,38	2,1
07:00	60	4,40	2,1
08:30	90	4,41	2,1
09:30	120	4,43	2,1
10:30	150	4,43	2,1
Ensaio 5			
Ponto de bombagem: furo F5		Diâmetro: 6.5 cm	Profundidade inicial da água: 1,63 m
Ponto de observação: furo F5a		Distância a F5: 7 m	Profundidade inicial da água: 2,7 m
Caudal de bombagem (Q): 7,8 L/s			
Duração do ensaio: 120 min			
Data: 7.02.2017			
Hora do dia	Tempo de ensaio (min)	F5 – Nível hidrodinâmico (m)	F5a – Nível hidrodinâmico (m)
07:40	0	1,63	2,7
08:10	30	1,70	2,82
08:40	60	1,75	2,83
09:10	90	1,81	2,83
09:40	120	1,81	2,83
Ensaio 6			
Ponto de bombagem: furo F6		Diâmetro: 6.5 cm	Profundidade inicial da água: 2,4 m
Ponto de observação: furo F6a		Distância a F6: 8 m	Profundidade inicial da água: 1,5 m
Caudal de bombagem (Q): 7,8 L/s			
Duração do ensaio: 20 min			
Data: 8.02.2017			
Hora do dia	Tempo de ensaio (min)	F6 – Nível hidrodinâmico (m)	F6a – Nível hidrodinâmico (m)
07:00	0	2,40	1,50
07:05	5	2,83	1,55
07:10	10	3,55	1,55
07:15	15	3,58	1,55
07:20	20	3,89	1,55
Ponto de bombagem: furo F7		Diâmetro: 6.5 cm	Profundidade inicial da água: 3,98 m
Ponto de observação: furo F7a		Distância a 9 m	Profundidade inicial da água: 3,95 m
Caudal de bombagem (Q): 7,8 L/s			
Duração do ensaio: 40 min			
Data: 9.02.2017			
Hora do dia	Tempo de ensaio (min)	F7 – Nível hidrodinâmico (m)	F7a – Nível hidrodinâmico (m)
07:00	0	3,98	3,95
07:05	5	4,00	3,95
07:10	10	4,10	3,96
07:15	15	4,15	3,97
07:20	20	4,20	3,97
07:25	25	4,25	3,97
07:30	30	4,30	3,97
Ensaio 8			
Ponto de bombagem: furo F8		Diâmetro: 6.5 cm	Profundidade inicial da água: 2,6 m
Ponto de observação: furo F8a		Distância a F8: 10 m	Profundidade inicial da água: 2,6 m
Caudal de bombagem (Q): 7,8 L/s			
Duração do ensaio: 20 min			
Data: 11.02.2017			
Hora do dia	Tempo de ensaio (min)	F8 – Nível hidrodinâmico (m)	F8a – Nível hidrodinâmico (m)
07:00	0	2,60	2,60
07:05	5	2,80	2,60
07:10	10	2,85	2,62
07:15	15	2,90	2,62