

Índice Geral

PARTE I – DESCRIÇÃO

VOLUME I – ENQUADRAMENTO

VOLUME II – CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

VOLUME III – CARACTERIZAÇÃO BIOLÓGICA

VOLUME IV – CARACTERIZAÇÃO DO USO DO SOLO, UNIDADES DE PAISAGEM, SÓCIO-ECONOMIA
E PATRIMÓNIO

PARTE II – VALORAÇÃO

PARTE III – RELATÓRIO SÍNTESE

Índice

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 1. | GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA | 6 |
| 1.1. | INTRODUÇÃO | 6 |
| 1.2. | METODOLOGIA | 6 |
| 1.3. | CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA | 6 |
| 1.4. | CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA..... | 19 |
| 1.4.1. | Enquadramento na Cadeia Hercínica..... | 19 |
| 1.4.2. | A Zona Centro Ibérica - ZCI..... | 20 |
| 1.4.3. | Estratigrafia das litologias ocorrentes na PNLN..... | 21 |
| 1.4.4. | Geologia submersa do PNLN | 25 |
| 1.5. | TECTÓNICA E NEOTECTÓNICA | 26 |
| 1.6. | ANÁLISE SÍSMICA | 28 |
| 1.7. | RECURSOS GEOLÓGICOS..... | 31 |
| 2. | HIDROGEOLOGIA..... | 37 |
| 2.1. | INTRODUÇÃO | 37 |
| 2.2. | METODOLOGIA | 37 |
| 2.3. | ANÁLISE HIDRO-CLIMATÓLOGICA | 37 |
| 2.3.1. | Temperatura do Ar (T)..... | 37 |
| 2.3.2. | Precipitação (P)..... | 38 |
| 2.3.3. | Evapotranspiração Potencial (ETP)..... | 38 |
| 2.4. | ENQUADRAMENTO HIDROGEOLÓGICO REGIONAL..... | 38 |
| 2.5. | HIDROGEOLOGIA – ASPECTOS HIDRÁULICOS E QUANTITATIVOS | 39 |
| 2.5.1. | Pontos de água | 39 |
| 2.5.2. | Modelo conceptual hidrogeológico | 39 |
| 2.5.3. | Cálculo de recursos renováveis..... | 44 |
| 2.6. | HIDROGEOLOGIA – ASPECTOS QUALITATIVOS | 45 |
| 2.6.1. | Introdução e metodologia | 45 |
| 2.6.2. | Caracterização hidroquímica..... | 45 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 2.6.3. | Vulnerabilidade à poluição..... | 50 |
| 2.7. | A ZONA VULNERÁVEL DO AQUÍFERO LIVRE ENTRE ESPOSENDE E VILA DO CONDE ... | 52 |
| 3. | DINÂMICA COSTEIRA | 58 |
| 3.1. | INTRODUÇÃO..... | 58 |
| 3.2. | O LITORAL DE ESPOSENDE..... | 59 |
| 3.2.1. | Geomorfologia..... | 59 |
| 3.2.2. | Agitação Marítima | 63 |
| 3.3. | A DINÂMICA DO LITORAL DE ESPOSENDE..... | 64 |
| 3.3.1. | Situação actual..... | 64 |
| 3.3.2. | Obras de Defesa Costeira | 71 |
| 3.4. | CONCLUSÕES..... | 76 |
| 4. | CLIMA | 77 |
| 4.1. | INTRODUÇÃO..... | 77 |
| 4.2. | CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA..... | 78 |
| 4.3. | ANÁLISE DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS..... | 78 |
| 4.3.1. | Temperatura do ar..... | 78 |
| 4.3.2. | Precipitação | 79 |
| 4.3.3. | Dias Secos | 80 |
| 4.3.4. | Evaporação | 81 |
| 4.3.5. | Vento..... | 81 |
| 4.3.6. | Humidade Relativa do Ar..... | 82 |
| 4.3.7. | Nevoeiro..... | 83 |
| 4.3.8. | Nebulosidade | 83 |
| 4.3.9. | Orvalho e geada..... | 84 |
| 4.3.10. | Insolação..... | 84 |

Índice de Tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 1-1 - Unidades Geológicas presentes no PNLN. | 21 |
| Tabela 2-1 - Distribuição das temperaturas médias mensais ao longo do ano em graus centígrados. | 38 |
| Tabela 2-2 - Estatísticas das águas do aquífero superficial (dunar+cristalino) que ocorre no PNLN. | 47 |
| Tabela 2-3 - Classes e respectiva vulnerabilidade à poluição segundo o método EPPNA. In Oliveira & Lobo-Ferreira (2003). | 50 |
| Tabela 3-1 - Presumíveis volumes de materiais transportados pelos principais rios a Norte de Esposende (10 ³ m ³ /ano)..... | 65 |

Índice de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1-1 - Divisões geográficas do território português. Adaptado de Ribeiro (1987). A elipse encarnada indica a posição do PNLN. | 8 |
| Figura 1-2- Altimetria continental da região onde se localiza o PNLN..... | 9 |
| Figura 1-3 - Declives (%) da região onde se localiza o PNLN..... | 11 |
| Figura 1-4 - Projecção das exposições das vertentes na área do PNLN..... | 12 |
| Figura 1-5 – Corte geológico W-E da zona entre S. Lourenço e Esposende. Adaptado de Carvalho & Granja (1997a). | 13 |
| Figura 1-6 - Esboço das unidades geomorfológicas entre os rios Neiva e Cávado. Adaptado de Carvalho et al. (2006). | 18 |
| Figura 1-7- Zonamento paleogeográfico e tectónico do Maciço Ibérico com a localização da zona do projecto (bola vermelha) (adaptado de Ribeiro <i>et al.</i> , 1979)..... | 20 |
| Figura 1-8 - Carta geológica da zona do PNLN. | 24 |
| Figura 1-9 - Carta de Intensidades Sísmicas de Portugal (Zonas de intensidade máxima), segundo a escala internacional, para o Período 1901-1972. | 30 |
| Figura 1-10 - Carta de Isossistas de Intensidades Máximas – 1996. Sismicidade histórica e actual, segundo a escala de Mercalli modificada. DGA (1996). | 30 |
| Figura 2-1 - Pontos de água na área do PNLN (com informação de presença ou ausência de resultados analíticos)..... | 41 |
| Figura 2-2 - Modelo conceptual do aquíferos superficiais na área do PNLN (sem escala)..... | 43 |
| Figura 2-3 - Sentidos de escoamento dos aquíferos superficiais na área do PNLN. | 44 |
| Figura 2-4 - Projecção dos pontos de água com análises. | 46 |
| Figura 2-5 – Vulnerabilidade à poluição..... | 53 |
| Figura 3-1 - Batimetria no Parque Natural do Litoral Norte, Agosto de 2002..... | 63 |
| Figura 3-2 - Quebra-mar “destacado” de Pedra Alta, vendo-se a acumulação de areia induzida pelo “caminho de acesso”..... | 67 |

Índice de Gráficos

| | |
|---|----|
| Gráfico 2-1 - Projecção das estatísticas num gráfico de caixa e bigodes para a condutividade eléctrica | 47 |
| Gráfico 2-2 - Projecção das estatísticas num gráfico de caixa e bigodes para o pH..... | 48 |
| Gráfico 2-3 - Projecção das estatísticas num gráfico de caixa e bigodes para o nitrato. | 48 |
| Gráfico 2-4 - Evolução temporal das concentrações de nitratos em 5 captações dentro do PNLN..... | 49 |
| Gráfico 4-1 - Registos da temperatura do ar efectuados na estação climatológica principal de Viana do Castelo, no período de 1970 a 1980..... | 79 |
| Gráfico 4-2 - Variação da precipitação mensal média ao longo do ano, registada na estação climatológica principal de Viana do Castelo, no período de 1970 a 1980..... | 80 |
| Gráfico 4-3 - Gráfico termopluiométrico para o período 1970-1980 na estação climatológica principal de Viana do Castelo..... | 81 |

PLANO DE ORDENAMENTO E GESTÃO DO PARQUE NATURAL DO LITORAL NORTE
FASE 1 – PARTE I: DESCRIÇÃO – VOLUME II: CARACTERIZAÇÃO FÍSICA – JULHO 2007

| | |
|--|----|
| Gráfico 4-4 - Frequência (%) de ventos por rumo registados na estação climatológica principal de Viana do Castelo, no período de 1970 a 1980 | 82 |
| Gráfico 4-5 – Humidade relativa média registada na estação climatológica principal de Viana do Castelo, no período 1970-1980 | 83 |
| Gráfico 4-6 - Insolação mensal média registada na estação climatológica principal de Viana do Castelo, no período 1970-1980 | 84 |

1. GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

1.1. INTRODUÇÃO

A caracterização geológica e geomorfológica efectuada no âmbito do Plano de Ordenamento e Gestão do Parque Natural do Litoral Norte (POGPNLN ou PNLN), foi concebida e estruturada de acordo com a dimensão e a complexidade dos aspectos geológicos e geomorfológicos em apreço. Em termos de cartografia geológica publicada, a área de ocupação geográfica do PNLN tem cartografia: à escala 1:200.000 de Pereira *et al.* (1989) – folha 1; à escala 1:50.000 a carta geológica 9-A de Póvoa de Varzim de Teixeira *et al.* (1965); à escala 1:50.000 a carta geológica 5-A de Barcelos de Teixeira & Medeiros. (1969). Sobre estes temas existem diversos estudos académicos desenvolvidos directa ou indirectamente por investigadores da Universidade do Minho. No entanto, a informação geológica pertinente foi devidamente ponderada e configurada à escala deste trabalho.

1.2. METODOLOGIA

Para a concretização da caracterização da geologia e geomorfologia da área da PNLN realizou-se, previamente, para além do reconhecimento de campo, também a consulta, entre outros: de elementos bibliográficos considerados relevantes: Estudos e artigos científicos relativos à evolução costeira e paleoambiental, Planos de Bacia Hidrográfica do Cávado – PBHC (2000), PDM do Concelho de Esposende; da folha número 1 da Carta Geológica de Portugal 1:200.000; das folhas números 54, 68 e 82 da Carta Militar de Portugal, à escala 1:25.000; e do Atlas do Ambiente.

Foram, igualmente, contactadas algumas instituições públicas, as quais poderiam possuir informações relevantes para o estudo, a saber: CCDR-N e INETI.

Foi, igualmente, realizado um reconhecimento de superfície, observando directamente os locais abrangidos pelo Parque Natural do Litoral Norte (PNLP) exclusivamente na sua componente emersa.

Em termos de organização conceptual este trabalho principia-se pela caracterização geomorfológica e posteriormente pela geológica.

1.3. CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA

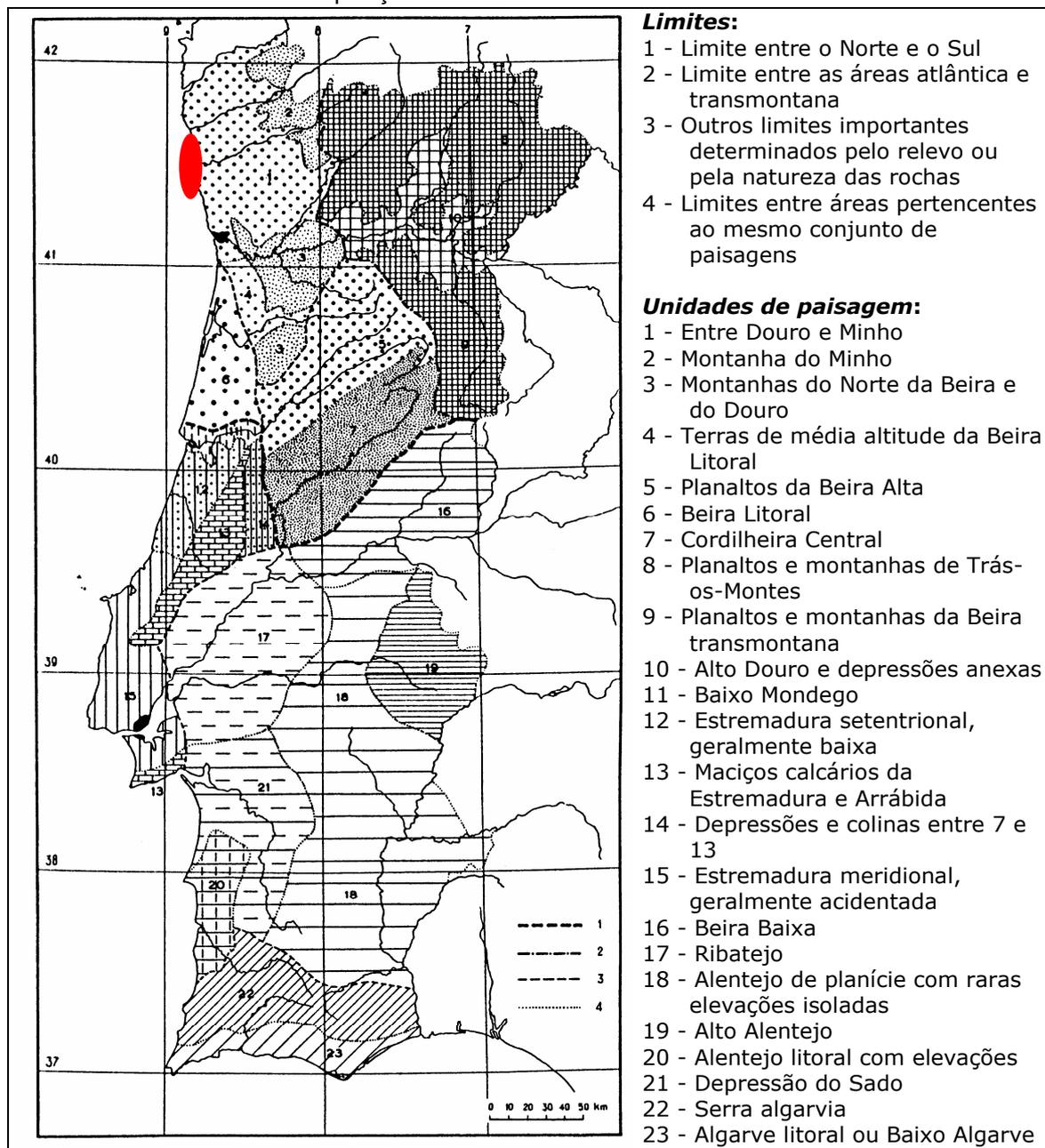
Do ponto de vista paisagístico, a zona do Parque Natural do Litoral Norte, localiza-se na Unidade de Paisagem, definida por Ribeiro (1987) por *Entre Douro e Minho* (Figura 1-1).

Em termos altimétricos, o PNLN raramente excede a cota dos 10 m, exibindo algumas dunas com altitudes próximas dos 20 m (Figura 1-2). Relativamente aos declives, praticamente toda a área do PNLN apresenta valores abaixo dos 5% (Figura 1-3). Em termos de exposições das vertentes, domina a componente plana seguida pelas exposições para W e SW (Figura 1-1).

Geomorfologicamente, a região é condicionada quer pela litologia quer pela tectónica, admitindo-se que os vales ocupados pelos rios e ribeiras são, na sua maior parte, de origem estrutural. A própria orientação litoral poderá corresponder a alinhamento estrutural uma vez que tem orientação paralela aos acidentes mais importantes no interior do País e àqueles que foram decorrentes da abertura do oceano Atlântico.

PLANO DE ORDENAMENTO E GESTÃO DO PARQUE NATURAL DO LITORAL NORTE
FASE 1 – PARTE I: DESCRIÇÃO – VOLUME II: CARACTERIZAÇÃO FÍSICA – JULHO 2007

Figura 1-1 - Divisões geográficas do território português. Adaptado de Ribeiro (1987). A elipse encarnada indica a posição do PNLN.

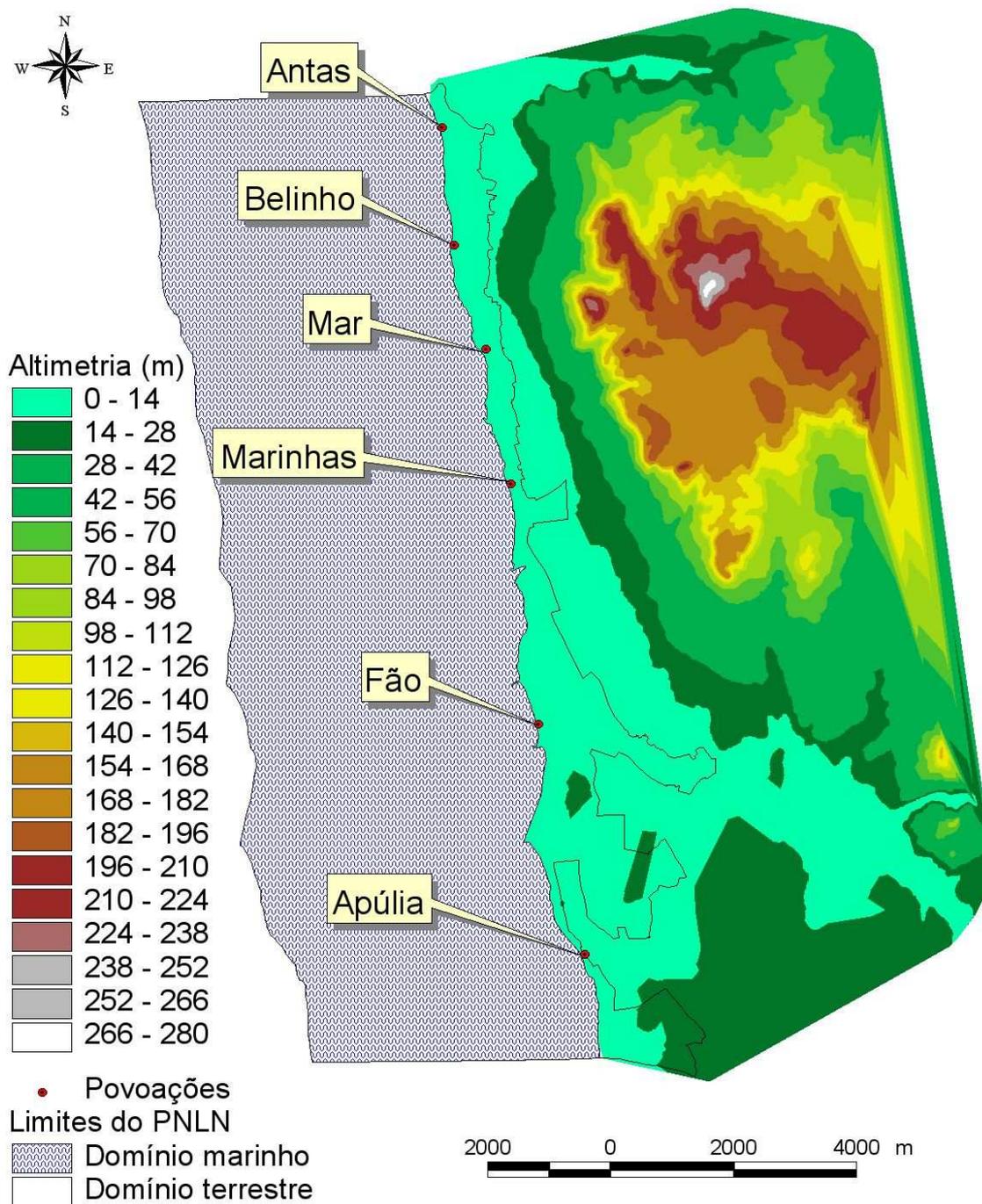


Segundo, Granja (1990), Granja (1999), Carvalho & Granja (1997a) e Carvalho et al. (2006) existem duas plataformas de abrasão, uma alta (60-40 m) com alguns depósitos-relíquia e outra baixa (10-30 m) na qual se acumularam depósitos sedimentares de idade plistocénica e holocénica.

Na parte litoral, a geomorfologia continental é dominada por uma faixa quase contínua de rochas graníticas e metamórficas. O flanco ocidental destas elevações constitui uma arribas com troços quase rectilíneos, com alinhamento sensivelmente

NNW-SSE. Sobrejacentes a estas formações, junto da zona litoral, ocorrem os depósitos plistocénicos-holocénicos (Figura 1-5) (Carvalho & Granja (1997a); Carvalho et al, (2006)).

Figura 1-2- Altimetria continental da região onde se localiza o PNLN.



As arribas fósseis (mais antiga e mais recente), que ocorrem entre o Neiva e o Cávado, são outros elementos geomorfológicos que condicionam toda a geoestrutura ocorrente no PNLN. O monte de S. Lourenço marca o topo da arriba mais antiga com

cota da ordem dos 200 m. Esta arriba foi talhada através de uma vasta transgressão marinha e, à medida que o mar recuou, ficaram os vestígios desse movimento nas plataformas que foi deixando, visíveis actualmente sob a forma de pequenos patamares.

Genericamente, a orientação da arriba acompanha a orientação da linha de costa) (Carvalho & Granja (1997a); Granja (2001), Loureiro & Granja (2001); Carvalho et al, (2006). Há quem argumente que esta arriba pode ter sido resultante da abrasão marinha ao longo do Quaternário (regressões e transgressões) ou, então, originada a partir de uma escarpa de falha e, neste último caso, retocada pelas ondas durante o Quaternário (Alves, 1996).

A partir da base da arriba mais recente, e até à designada linha de costa, desenvolve-se uma plataforma litoral baixa, na qual é possível identificar as unidades nas quais permanecem vestígios de depósitos quaternários. Na área do PNLN esta plataforma alarga para sul (na zona do rio Neiva apresenta largura de 1 a 2 km).

Figura 1-3 - Declives (%) da região onde se localiza o PNLN.

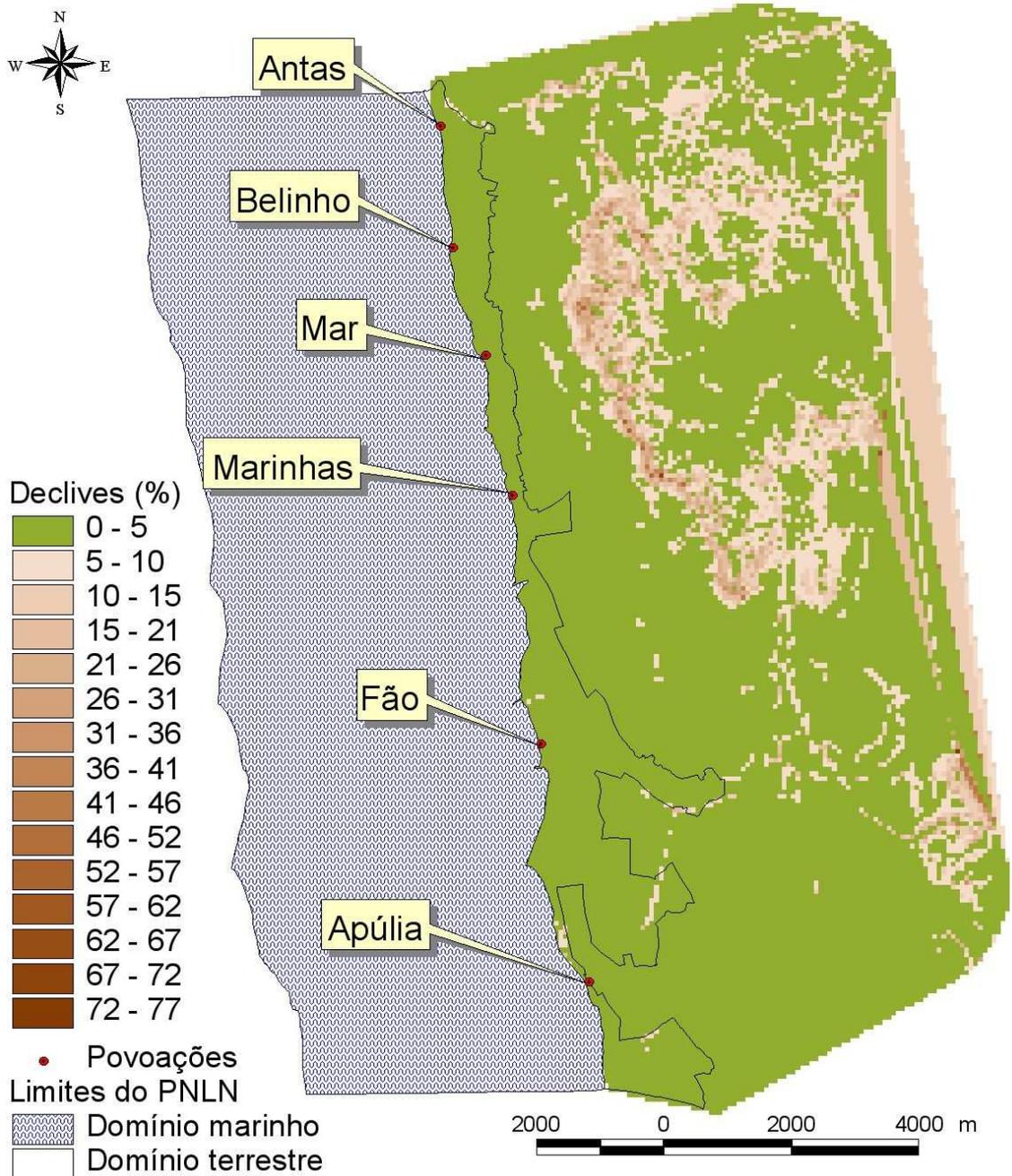
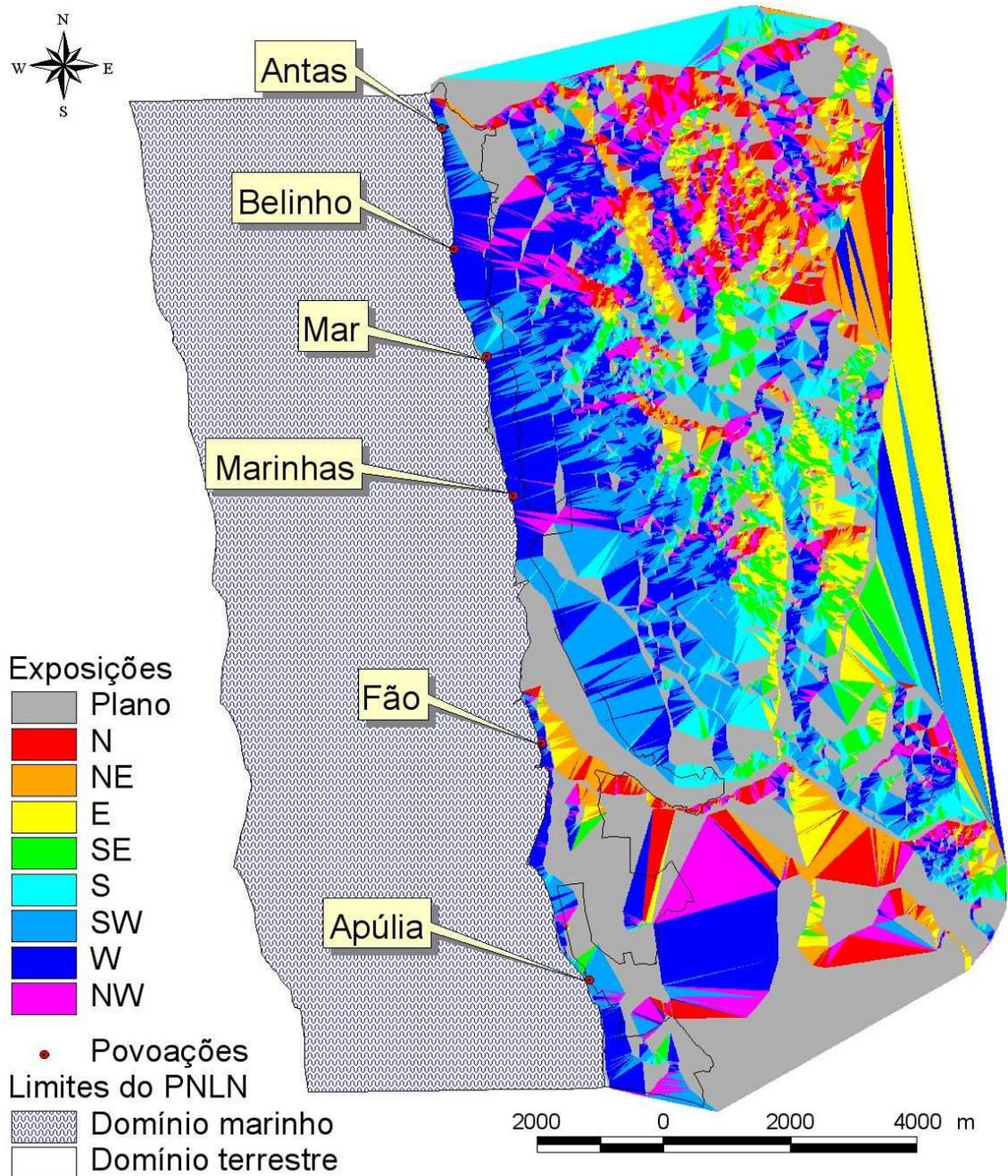


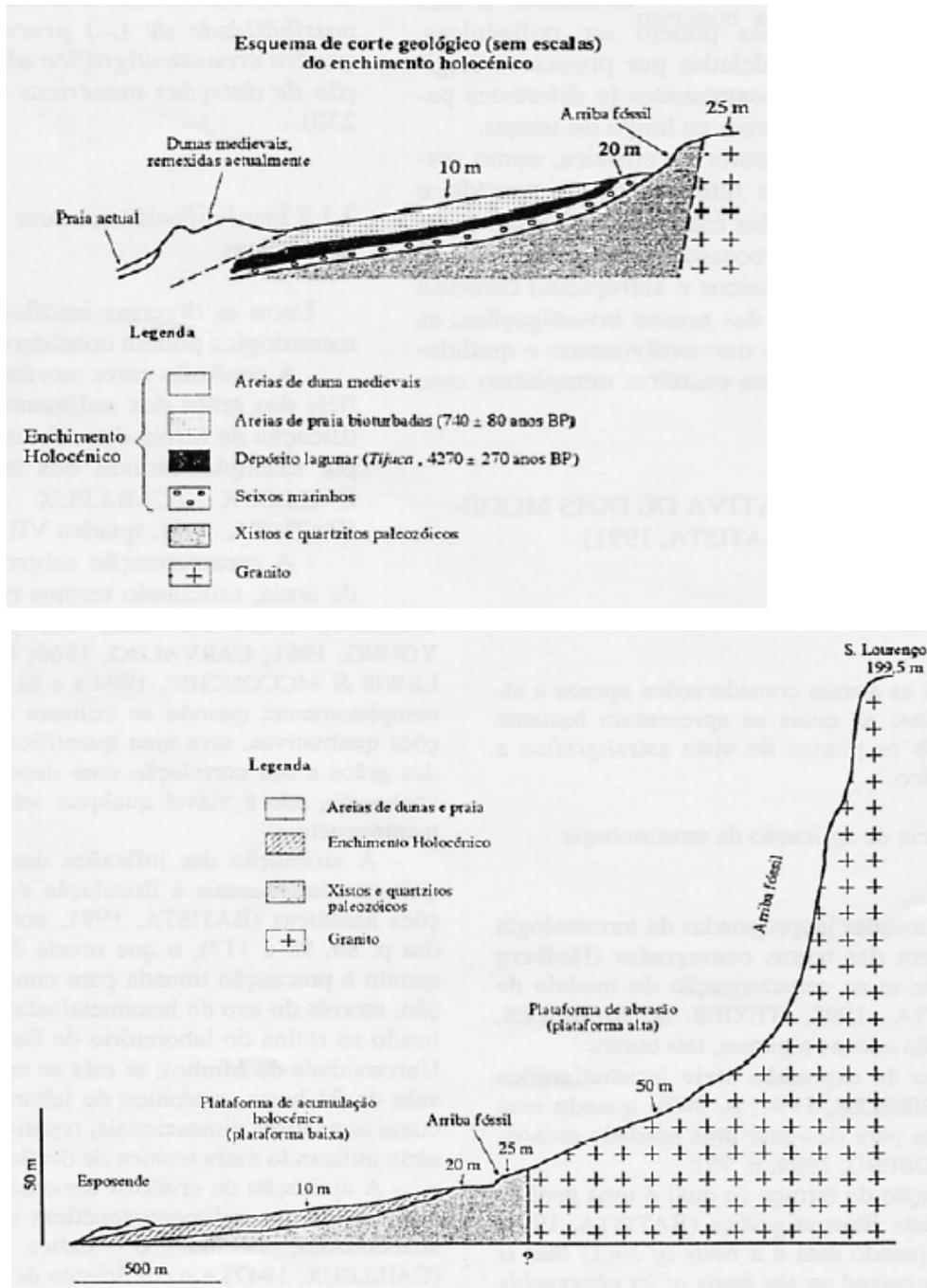
Figura 1-4 - Projecção das exposições das vertentes na área do PNLN



A área do PNLN está, em quase toda a sua extensão, coberta por depósitos de origem sedimentar (depósitos eólicos, marinhos e lagunares) plistocénicos-holocénicos assentes em afloramentos constituídos por rochas metamórficas ordovícicas e silúricas.

A costa arenosa é, regra geral, aplanada, apresentando declives inferiores a 4% e heterogeneidade morfológica reduzida devido ao predomínio dos sistemas dunares que se desenvolveram de forma aproximadamente contínua nesta área.

Figura 1-5 – Corte geológico W-E da zona entre S. Lourenço e Esposende. Adaptado de Carvalho & Granja (1997a).



Na zona costeira observa-se o estuário do rio Cávado e a embocadura do rio Neiva a norte, além de pequenas linhas de água relacionadas com bacias endorreicas que drenam directamente para o mar, a saber, de sul para norte:

- Rio Alto
- Ribeira da Apúlia (sul)

- Ribeira do Outeiro
- Ribeira de Pinhote
- Ribeira de Barrelas
- Ribeira do Lugar de Baixo (sul)
- Ribeira do Lugar de Baixo (norte)
- Ribeira do Cunha
- Ribeira dos Regos (sul)
- Ribeira dos Regos (norte)
- Ribeira dos Regos de Baixo

Segundo Oliveira et al., (2002) algumas destas linhas de água, que cortam o sistema dunar, são naturais ou mostram evidências de artificialização. As direcções destas linhas de água variam entre WSW-ENE a WNW-ESSE; exceptuam-se os rios Neiva e Cávado cuja direcção preponderante no troço, que ocorre apenas no PNLN, é NW-SE. Relativamente às pequenas linhas de água, verifica-se que o seu regime é muito irregular, apresentando caudais apenas no Inverno e, por vezes, na Primavera. Esta irregularidade favorece a colmatção cíclica das embocaduras, uma vez que a deficiência de aporte hídrico favorece a corrente de deriva litoral que rapidamente transporta areias para os canais principais, obstruindo-os.

Todas as formas presentes na área denotam processos de transição entre ambiente diferentes, o marinho e o continental, através da presença de estuários, sapais, praias, dunas, restingas etc. Ainda são reconhecíveis conjuntos de afloramentos de origem quartzítica que estruturam, no mar, os Cavalos de Fão, os quais correspondem a cachopos sob a forma de rosário que, por erosão diferencial, resistiram às acções marinhas.

Deste modo, as principais unidades geomorfológicas presentes no PNLN são:

- Embocadura do rio Neiva: Esta forma ocorre no limite norte do PNLN. Primeiro entra no PNLN segundo a direcção NW-SE, rodando para a foz já com orientação W-E. Este rio integra uma bacia hidrológica, não muito significativa em termos de área, mas constitui-se num importante alimentador sedimentológico para as praias a sul. A sua parte terminal apresenta-se desenvolvida reflectindo-se na sua planície aluvionar. Contudo, a sua foz mostra evidências de fecho, ou tendência para o mesmo, gerando a curvatura com a concavidade voltada para Norte. O seu regime de escoamento é permanente. A margem esquerda apresenta uma pequena restinga que se prolonga em cordão dunar que permite a ocorrência de praia contínua até Esposende.
- Estuário do rio Cávado: Trata-se de um rio de grande importância que nasce na Serra do Larouco e se estende por 130km desaguardo em Esposende. O seu vigor no passado permitiu o escavamento do canal por onde ocorre bem como a

largura posteriormente ocupada pelo estuário. Segundo UM (2002), o estuário é resultante da inundação do sector terminal do rio Cávado, pela subida do nível do mar, que se iniciou no pós-glaciário, há cerca de 10000 anos. Deste então, foi ocorrendo um progressivo assoreamento conferindo-lhe a morfologia que actualmente exhibe. A respectiva planície aluvionar mostra o carácter sedimentológico dos materiais fundamentalmente de natureza arenosa grosseira que foram erodidos ao longo do seu trajecto através de rochas predominantemente graníticas. A planície aluvial está bem enquadrada com o relevo plano a ondulado suave, denotando assim a formação de um leito francamente largo onde a perda de velocidade teve correspondência na sua incompetência transportadora. As condições geológicas associadas às biológicas permitiram o desenvolvimento de uma área de sapal na zona intertidal. Na zona da foz desenvolve-se uma restinga (a sul) que contrasta com a margem direita do rio (a norte), esta última sofrendora de intensa pressão humana e urbanística. Esta área terminal está pejada de baixios devido às condições hidrodinâmicas que tornam a navegabilidade difícil e perigosa.

- Restinga do rio Cávado: Trata-se de uma acumulação de depósitos detríticos (areia e cascalho), de génese recente, assentes sobre o substrato paleozóico. Perto do Clube Náutico foram realizadas sondagens que indicaram a espessura de 12-14 m de areias e cascalho, este último com espessura de 3 m, assente sobre os xistos. Outra sondagem realizada a sul do Hotel de Ofir indicou espessura detrítica da ordem dos 23 m.
- A foz do rio Cávado está fixa, a norte, por um quebramar e a sul através de uma restinga arenosa enraizada na área da Apúlia. Esta restinga constitui-se num elemento geomorfológico importante que funciona como protecção da frente urbana de Esposende. Tem-se verificado que a erosão proporcionada pelos processos marinhos e antropogénicos, nesta restinga, tem sido contrariada pela inclusão, na mesma, de sedimentos provenientes das acções de dragagem do rio Cávado. Segundo Oliveira et al., (2002) o crescimento de sul para norte da restinga denuncia uma inversão localizada do transporte sólido litoral, o que poderá ser explicado pelo efeito de propagação da agitação no banco do delta de vazante (fenómenos locais de refacção e difracção) e pela interacção entre as correntes e a propagação da agitação. O local onde se inicia a inversão do sentido do transporte é variável e potencialmente débil do ponto de vista aluvionar. Em termos globais assume-se que o transporte sólido efectiva-se no sentido N-S, sendo a sua inversão localizada provocada pelo processo de circulação de sedimentos envolvidos na transposição das sua embocadura. De acordo com as características morfológicas, praticamente a totalidade do transporte sólido proveniente de norte transpõe a embocadura e prossegue para sul, ou seja, esta não funciona como um poço aluvionar. Contudo, como refere Loureiro et al. (2005) a degradação progressiva do quebra-mar a norte e a

diminuição dos caudais de cheia do Cávado desde 2001 têm contribuído para o assoreamento do estuário.

- Praias: As praias têm uma orientação geral NNW-SSE, sendo constituídas por areias e cascalhos (seixos). As principais praias são: Castelo de Neiva, Belinho, Mar, Marinhas-Cepães, Rio de Moinhos, Fão-Ofir e Apúlia. A origem dos sedimentos das praias está nos materiais oriundos do mar, das linhas de água e da erosão das arribas arenosas. É frequente encontrar acumulações de areias de cor negra resultante da erosão de materiais metamórficos com elevada componente ilmenítica. Entre o Neiva e o Cávado apresentam face de praia abrupta, enquanto que para sul, entre o Cávado e a Apúlia, apresentam um carácter dissipativo a intermédio, com regueiras que se vislumbram nos períodos de baixa-mar. Nesta última área, tem-se verificado um gradual emagrecimento das praias, facilitando o afloramento dos maciço rochoso subjacente.
- Dunas: A delimitar a alta praia ocorre uma extensa faixa de cordões dunares holocénicos a recentes, dispostos de modo paralelo à costa, e cuja génese e respectiva evolução permite distinguir dois sistemas, os quais, segundo Granja & Carvalho (1992) e Carvalho et al. (2006) correspondem a um sistema dunar recente e a outro mais antigo, este mais bem representado a sul do rio Cávado. Estas unidades geomorfológicas apresentam elevada importância geológica e ecológica na interface entre o sistema marinhos e o continental, dotando, ao mesmo tempo, a planície interior de uma protecção natural contra o avanço do mar, e funcionando, ainda como reserva de sedimentos para as praias. Os principais troços dunares presentes no PNLN correspondem:
 - Dunas de Barca-Belinho-Cepães
 - Dunas da restinga de Ofir
 - Dunas das Pedrinhas-Cedobém
 - Dunas da Apúlia

De acordo com Oliveira et al., (2002), verifica-se instabilidade relativa nestes sistemas dunares apresentando já grau de degradação muito elevado. Nestes sistemas é visível a regressão da linha de costa, ocorrendo galgamentos oceânicos frequentes e dunas com perfil de arriba. Por outro lado, os fortes ventos do quadrante norte, intensos e frequentes no Verão, são poderosos agentes de erosão /evolução dos sistemas dunares, nomeadamente sendo responsáveis por uma multiplicidade de corredores eólicos bem marcados, transversais e longitudinais. Apesar de dominantes de NW, registam-se ventos de todos os outros quadrantes, sendo no conjunto, responsáveis pela deflacção de areias para a alta praia, e posteriormente, pela sua movimentação.

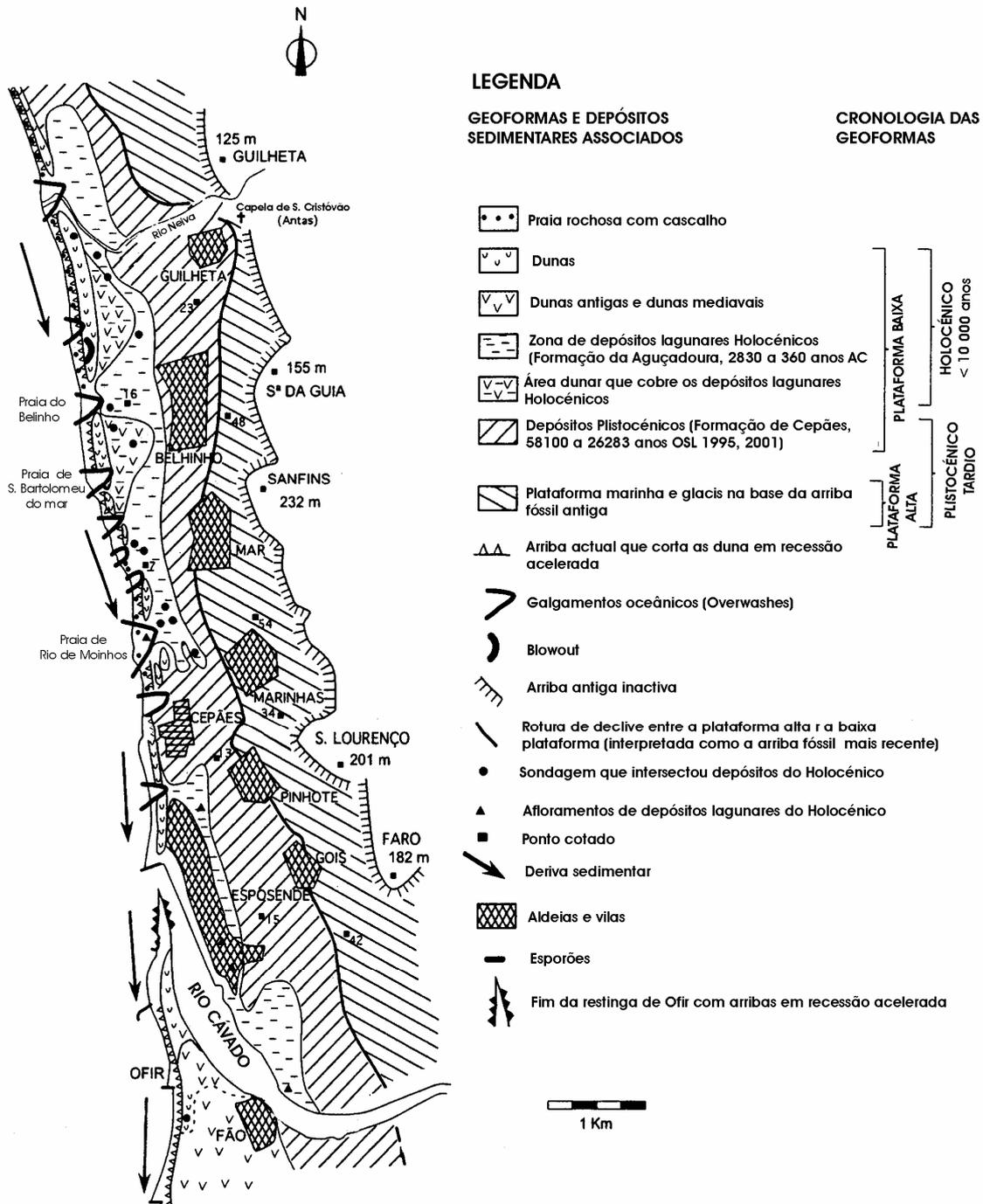
- Afloramentos rochosos pontuais: na área da praia submarina e emersa ocorrem diversos afloramentos rochosos quartzíticos que se constituem como relevos de dureza favorecendo a estabilidade e protecção da linha de costa. Os principais

afloramentos ocorrem entre Fão e Apúlia segundo orientação NNW-SSE (Cavalos de Fão, Praia Nova, Mar, Areia, etc.)

Para além das unidades geomorfológicas mencionadas acima, apresentam-se outras (galgamentos, blowouts, etc) na Figura 1-6, indicando a localização esquemática no segmento de costa entre os rios Neiva e Cávado.

PLANO DE ORDENAMENTO E GESTÃO DO PARQUE NATURAL DO LITORAL NORTE
FASE 1 – PARTE I: DESCRIÇÃO – VOLUME II: CARACTERIZAÇÃO FÍSICA – JULHO 2007

Figura 1-6 - Esboço das unidades geomorfológicas entre os rios Neiva e Cávado. Adaptado de Carvalho et al. (2006).



1.4. CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA

1.4.1. ENQUADRAMENTO NA CADEIA HERCÍNICA

O Maciço Hespérico ou Maciço Ibérico (MI) ocupa cerca da metade ocidental da Península Ibérica, no seu domínio hercínico. Nele afloram diversos materiais de idade Paleozóica e, em menor extensão, do Proterozóico superior. O MI constitui-se como o fragmento mais contínuo do soco hercínico na Europa.

A norte, oeste e sudoeste, este Maciço é limitado por áreas oceânicas (pós-paleozóicas, relacionadas com a abertura do Atlântico). Entre o MI propriamente dito e o domínio oceânico, interpõe-se uma orla de terrenos mesozóicos e cenozóicos que ocupam a plataforma continental e, por vezes, também algumas pequenas áreas emersas ao largo da costa. A este do MI estende-se um amplo domínio triangular, constituído por materiais mesozóicos e cenozóicos, sob os quais existem os terrenos paleozóicos e precâmbrios que formam o Maciço. Os seus limites SE e NE constituem respectivamente a Cordilheira Bética e Pirenáica. Em ambas as cadeias, afloram materiais Pré-Mesozóicos nas chamadas zonas internas, zona Bética, e na zona axial dos Pirinéus.

Lotze (1945) reconheceu a existência de zonação transversal à direcção das estruturas no Maciço, baseando-se especialmente em critérios estratigráficos, estruturais, magmáticos, metamórficos, paleogeográficos e metalogenéticos, os quais revelaram inequivocamente diferenças de fácies, indicadoras de diferentes ambientes de deposição para cada uma destas zonas. Um dos traços mais evidentes é a virgação do Arco Ibero-Armoricano (Matte, 1986; Burg *et al.*, 1987). As estruturas orientam-se fundamentalmente na direcção NE-SW (no interior do continente, principalmente nas proximidades da fronteira luso/espanhola), com encurvamento progressivo para N e NE próximo da costa Atlântica, correspondendo assim a um alargamento dos terrenos metamórficos e a uma maior expressão do magmatismo granítico.

Lotze (1945) estabeleceu cinco zonas, agrupadas em dois ramos (Figura 1-7). A existência desta zonação tem sido aceite pelos especialistas e persistiu até à actualidade, ainda que sujeita a ligeiras modificações, quer nos limites quer na filosofia da sua separação. Assim, no ramo norte ocorrem de NE para SW, as zonas Cantábrica, Oeste-Astúrico-Leonesa e Centro Ibérica (ZCI) e no ramo sul as zonas de Ossa-Morena (ZOM) e Sul Portuguesa (ZSP).

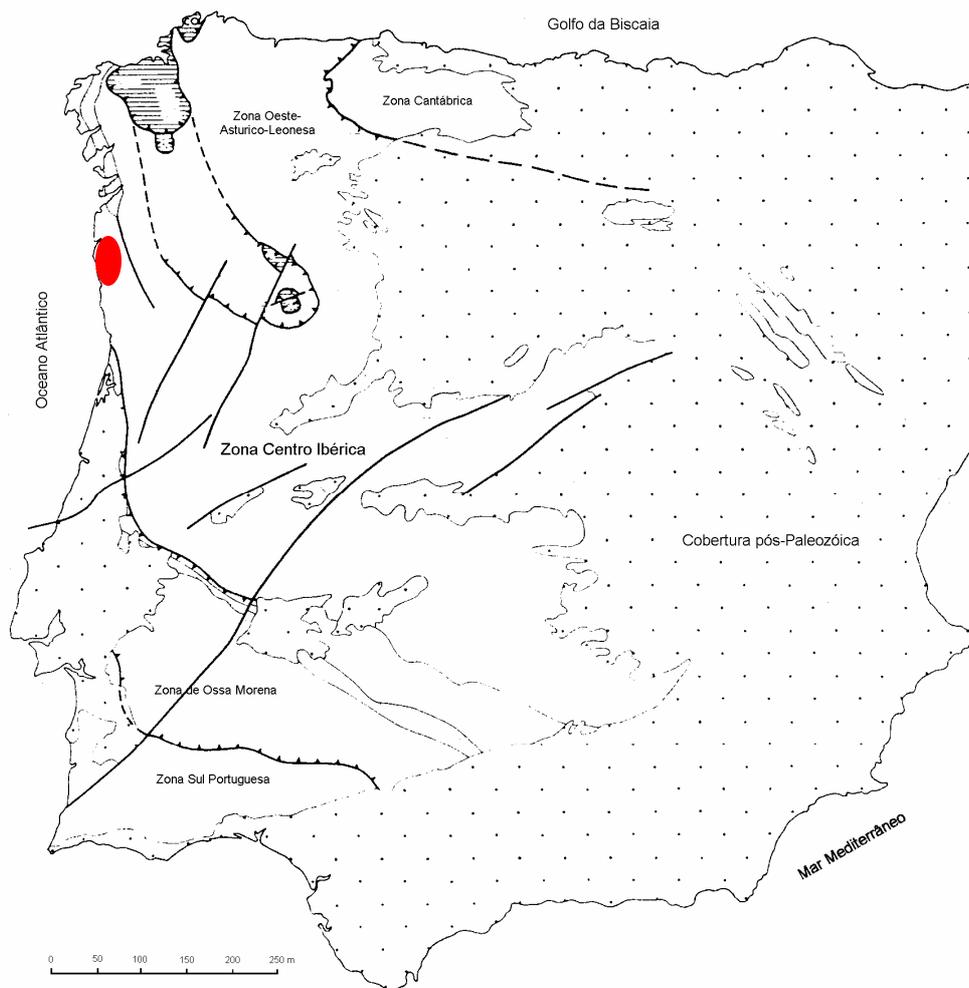
Relativamente ao enquadramento morfoestrutural, a área do PNLN, encontra-se integrada na unidade morfoestrutural do Maciço Hespérico, mais precisamente na unidade geotectónica distinta designada por Zona Centro Ibérica (ZCI).

1.4.2. A ZONA CENTRO IBÉRICA - ZCI

A Zona Centro Ibérica, tradicionalmente, tem como limite: a NE a falha de Vivero e o sinclinal de Sil-Trucha; a W o cavalgamento de Ferreira do Zêzere (materiais da Zona de Ossa Morena sobre materiais da Zona Centro Ibérica) e a zona de cisalhamento de Porto-Tomar; a Sul o alinhamento tectonomagmático de Los Pedroches-Vegas-Altos-Albuquerque-Nisa e a flexura de Guadalquivir.

A ZCI é uma zona heterogénea que compreende áreas com metamorfismo de médio a alto grau e abundantes granitóides a que se opõem áreas sem metamorfismo ou com metamorfismo de baixo grau.

Figura 1-7- Zonamento paleogeográfico e tectónico do Maciço Ibérico com a localização da zona do projecto (bola vermelha) (adaptado de Ribeiro *et al.*, 1979).



1.4.3. ESTRATIGRAFIA DAS LITOLOGIAS OCORRENTES NA PNLN

Relativamente às litologias que afloram na PNLN, apresenta-se seguidamente na Tabela 1-1, a sequência estratigráfica das formações recentes para as mais antigas, bem como a descrição das principais unidades litostratigráficas sedimentares e metamórficas. A Figura 1-8 corresponde à carta geológica da zona da PNLN.

Tabela 1-1 - Unidades Geológicas presentes no PNLN.

| Idade | Unidade | Caracterização Geral |
|--------------------|------------------------|---|
| Moderno-Holocénico | Aluviões | Aluviões; |
| | Sistemas dunares | Areias de duna |
| | Formação da Aguçadoura | Areias limosas e limos |
| Plistocénico | Formação de Cepães | Areia limosas e cascalhos |
| Silúrico | Anticlinal de Valongo | Xistos argilosos |
| Ordovícico | Anticlinal de Valongo | Xistos, grauvaques, quartzitos e conlomerados |

1.4.3.1. Litostratigrafia das Formações do PNLN

Sobre esta região adaptou-se e adoptou-se a legenda da cartografia apresentada, baseada em: Granja *et al.*, (1992), Granja (1993), Carvalho e Granja (1997a) e Carvalho *et al.*, (2006). A figura 8 mostra a carta geológica da área do PNLN.

Recente a Holocénico - Aluviões (a),

Ao longo dos rios Neiva e Cávado acumularam-se aluviões recentes, por vezes apresentando grande desenvolvimento. São fundamentalmente areias, lodos fluviais, depósitos argilosos de fundo de vale, etc.

Holocénico – Areias de duna e de praia

As dunas formam uma faixa quase contínua ao longo da orla costeira, sendo particularmente desenvolvidas na área da Apúlia e Fão, em Esposende e a sul da foz do rio Neiva. Em determinados locais estendem-se para o interior formando pequenas colinas. Correspondem a dunas parabólicas (Séc. XV – XVIII). As areias de praias antigas ocupam uma posição inferior às areias das dunas parabólicas e reconhecem-se pela sua estratificação gradativa sub-horizontal e, muitas vezes, atravessadas por marcas de bioturbação do tipo Scolithus.

Holocénico – Formação da Aguçadoura – Areias limosas e limos

Trata-se de uma extensa formação que ocorre desde a praia do Mindelo (Vila do Conde), passando por A-Ver-o-Mar, Aguçadoura até ao rio Neiva, a qual abrange o estuário do rio Cávado. Trata-se de uma unidade constituída por sedimentos finos -

areias limosas e limos – contendo leitos de turfa e troncos de árvores, ramos e raízes e lenticulas de diatomito.

Esta formação apresenta-se como um geoindicador de sistemas lagunares costeiros, pantanosos e estuarínos (Granja et al., (1992), Granja (1993), Carvalho e Granja (1997a) e Carvalho et al, (2006).

Granja (1999) refere que as diatomáceas são, maioritariamente, de água doce embora associadas a espécies de água salgada, o que corresponderá a fácies costeiras invadidas temporariamente por águas do mar.

Por sua vez, a datação por ^{14}C de fragmentos vegetais de turfa confere idade holocénica à formação (Granja, 1999).

Plistocénico – Formação de Cepães – Areias limosas e cascalhos

Segundo Carvalho & Granja (2003), esta formação inclui duas unidades, a saber: uma inferior, com várias camadas de areias limosas uma das quais é constituída por areia amarelada (datada de 52500 ± 6400 anos OSL); outra superior constituída por cascalho de seixos de quartzito que sugerem um fácies de praia. Para Carvalho & Granja (2003) as areias sugerem um ambiente fluvial ao qual sucedeu posteriormente um ambiente marinho.

Tratam-se de depósitos correspondentes a terraços fluviais ou praias antigas, os quais se apresentam bastante desenvolvidos e extensos. Na orla litoral ocorrem numerosos depósitos de praias antigas, constituídos por areias e calhaus rolados dispostos a diferentes altitudes. Os níveis mais altos são limitados, do interior, por arriba fóssil, esta apresenta-se particularmente desenvolvida e conservada na região a norte do rio Cávado.

Ao longo do rio Cávado são importantes os depósitos de terraço constituídos por areais, calhaus rolados e argilas, escalonados a diferentes níveis. Nas proximidades de Fão os terraços definem o antigo estuário do rio Cávado. Os terraços possuem relativa importância económica, uma vez que as argilas presentes, em parte constituem matéria-prima de alguma indústria cerâmica instalada ente Barcelos e Prado.

Na região da foz do Cávado os depósitos assumem espessuras maiores. Algumas sondagens realizadas em 1946 executadas nas areias de Apúlia e Aguçadoura mostram que o contacto entre os depósitos e o substrato hercínico ocorria entre os 10 e os 25 m.

Silúrico (Sa) - Xistos

Na área do PNLN o Silúrico aflora nas proximidades do rio Cávado. Constituem uma faixa NW-SE constituída por xistos, xistos grafitosos e grauvaques apresentando inclinação média de 80° para SW. Este litótipo ocorre muitas vezes subjacentes às depósitos sedimentares. Foram encontrados nestes xistos fauna graptolítica.

A separação dos xistos do silúrico com os do ordovícico na área norte do rio Cávado não é fácil, por vezes quase impossível.

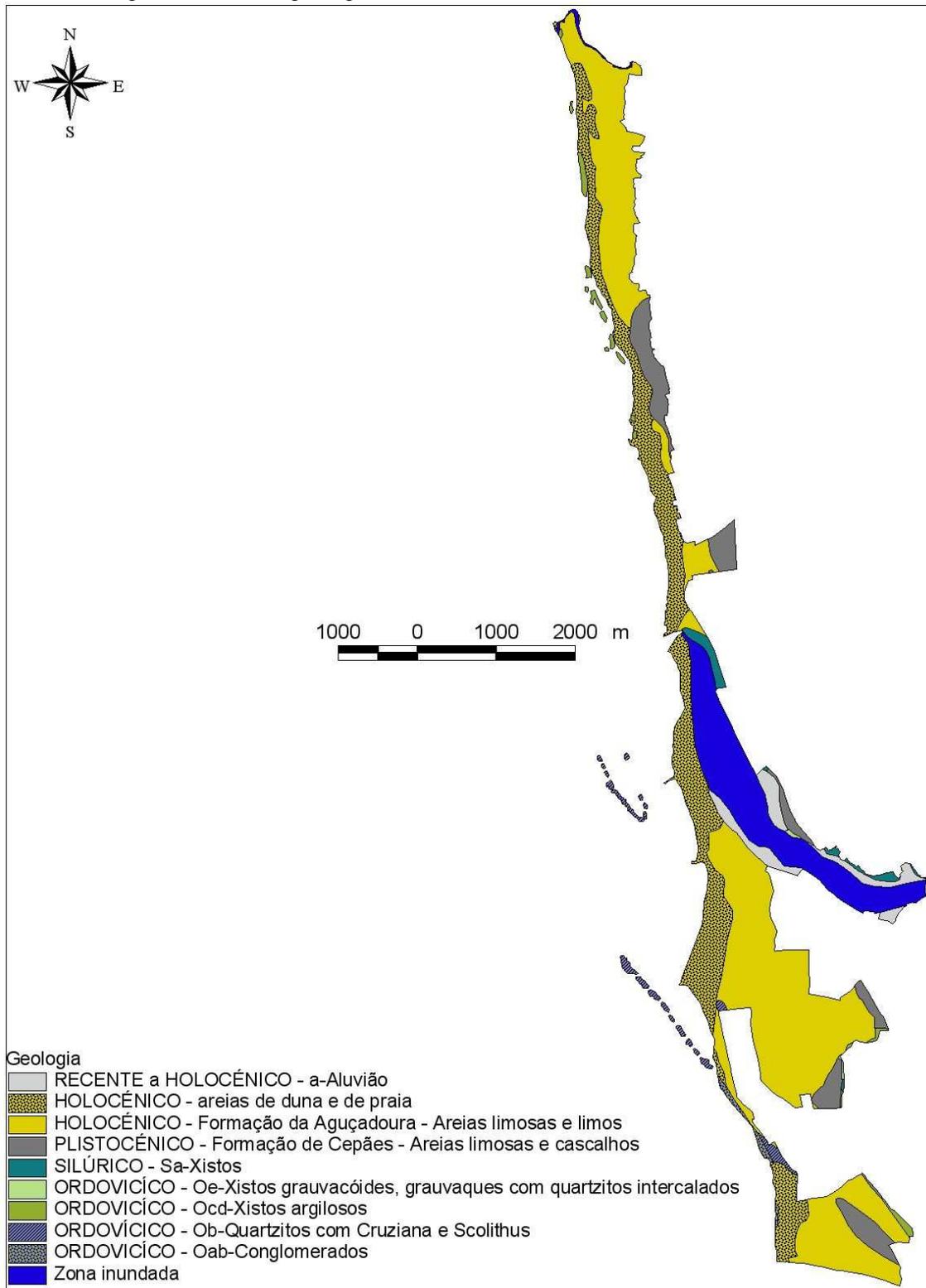
Ordovícico (Oe) – Xistos grauvacóides, grauvaques e quartzitos intercalados

Estas litologias datam do Caradociano-Ordovícico. Tratam-se de xistos grauvacóides, grauvaques com muitas intercalações de quartzitos. No PNLN apenas afloram duas manchas de expressão muito reduzida, uma encostada ao rio Cávado outra na parte SE perto da Apúlia.

Ordovícico (Ocd) – Xistos argilosos

Tratam-se de xistos argilosos físseis, às vezes andaluzíticos, datados do Ordovícico médio (Landeliano e possível Landvirniano). Estas rochas afloram na fímbria do mar, uma vez que no interior se encontram cobertos pelos sedimentos dunares. No PNLN aflora a SE da Apúlia e nos rochedos litorais a norte entre as Marinhas e a foz do rio Neiva. Estes rochedos sobrevivem à erosão marinhas devido ao facto de possuírem intercalações quartzíticas. Na cartografia geológica a legenda destes litótipos ficou como xisto argiloso, uma vez que não fazia sentido cartografar as intercalações quartzíticas dado que não possuem expressão cartográfica. Estes xistos afloram entre a verticalidade e os 70° com vergência tanto para SW como para NE.

Figura 1-8 - Carta geológica da zona do PNLN.



Ordovícico (Ob) – Quartzitos com *Cruziana* e *Scolithus*

Estes quartzitos com *Cruziana* e *Scolithus* formam bancadas espessas na região da Apúlia, orientadas na direcção NW-SE, com inclinações média da ordem dos 50° com vergência para SW, e estão datadas do Skidaviano-Ordovícico. Entram no domínio marinho estruturando os escolhos da Pena e mais a norte os Cavalos de Fão. Na praia da Apúlia, nas superfícies expostas dos quartzitos, observam-se as icnofácies de *Cruziana* em relevo, o que confirma a posição negativa em afloramento (inversão talvez devida a dobramento). De igual modo também ocorrem leitos de e *Scolithus*. Ainda se vislumbram, embora mais raramente formas *Vexillum*.

Ordovícico (Oab) – Conglomerados

Este litótipo corresponde aos conglomerados base do Ordovícico, possivelmente do Tremadociano, e encontram-se desenvolvidos na área da praia da Apúlia, formando aí bancadas espessas de elementos ora pequenos, ora relativamente grandes, muito bem rolados. São constituídos principalmente por quartzo mas também aparecem sob a forma de quartzito, lidito e ftanita.

Estas bancadas são muito compactas devido à silicificação. Na zona da praia da Apúlia são facilmente observáveis na baixa-mar. A estes conglomerados sucedem os quartzitos que, na base, ainda mostram intercalados leitos conglomeráticos ou greso-conglomeráticos.

Estas camadas também se apresentam com polaridade negativa com direcção para NW-SE, com pendor médio de 55° vergentes para SW.

1.4.4. GEOLOGIA SUBMERSA DO PNLN

Em termos geológicos a parte submersa do PNLN corresponderá à continuidade das formações que ocorrem no continente, nomeadamente as rochas metamórficas e ígneas. A espessura da cobertura sedimentar depende fundamentalmente dos processos da dinâmica costeira e marinha. Esta zona age duplamente como alimentador e receptor de carga sólida, desempenhando, assim, um contributo fundamental no equilíbrio morfossedimentar.

Granja e Ferreira (2006) têm em desenvolvimento um estudo desta área focalizada para a zona dos Cavalos de Fão tendo preliminarmente indicado a existência de um nível de estacionamento marinho aos -15 m de profundidade, demonstrado pela presença de uma solapa na base de uma arriba fóssil com orientação N330°; canais alinhados segundo a mesma orientação, entre afloramentos rochosos de altura superior a 18 m; presença abundante de seixos e blocos; clastos constituídos por detritos orgânicos. Nesta área a areia é quase inexistente.

1.5. TECTÓNICA E NEOTECTÓNICA

A originalidade dos relevos presentes na região do PNLN deve-se muito às características litológicas, em que predominam rochas cristalinas. Para além disso, as condições climáticas húmidas sempre foram favoráveis à potenciação da alteração física e químicas dos minerais constituintes das rochas. Por outro lado a tectónica influenciou de modo decisivo directa ou indirectamente a morfologia criando desníveis ou facilitando a erosão diferencial.

De modo substancialmente resumido apresentam-se de seguida as acções tectónicas e neotectónicas a que foram sujeitos os terrenos do PNLN.

Verifica-se que a região está marcada por depressões alinhadas, ocupadas pela drenagem superficial, constituindo lineamentos importantes dispostos em famílias de orientação preferencial, dos quais se destacam as orientações ENE-WSW e NNW-SSE a N-S, claramente dominantes no modelado, identificando-se igualmente lineamentos NE-SW a NNE-SSW e NW-SE com menor importância.

A direcção ENE-WSW, com oscilações mais próximas de E-W ou NE-SW, corresponde à direcção geral das principais linhas de água (rios Neiva e Cávado). Estes rios parecem estar inadaptados à estrutura geológica regional, disposta segundo a orientação varisca NW-SE a NNW-SSE, interceptando-a perpendicularmente.

Segundo Cabral (1995), a rigidez e paralelismo do traçado do rio Cávado parece estar associada a grandes fracturas crustais. Estas fracturas correspondem a grandes acidentes contínuos, e não estão reconhecidos no terreno, embora sejam identificáveis localmente sistemas fracturados de direcção ENE-WSW. A existirem estas grandes fracturas regionais elas corresponderão a descontinuidades com cisalhamento muito reduzido ou a falhas de movimentação vertical, sem componente de deslocamento horizontal significativa.

Os rios que ocorrem no PNLN ocupam vales largos, de fundo aplanado, onde se escalonam alguns níveis de terraços fluviais e glaciais-terraços, sempre a cotas relativamente mais baixas. A jusante, na faixa litoral, encontram-se plataformas de abrasão marinha e praias elevadas, escalonadas a altitudes diversas. Nalgumas áreas os níveis fluviais no interior dos vales se ligam a níveis marinhos, esta relação sem sempre se observa, como salienta Granja (1990), para a área costeira a sul do rio Neiva, ao referir que “a neotectónica tem aqui grande importância e a impossibilidade de ligar os terraços fluviais dos vales aos correspondentes depósitos de praia é um dos grandes argumentos a favor daquela” (Cabral, 1995).

Para Ferreira (1986), as formas fluviais largas de fundo aplanado e vertentes abruptas, com um contorno frequentemente irregular, com corredores de erosão que penetram ao longo das linhas de água principais, são resultado possivelmente do esvaziamento de antigos alvéolos de erosão diferencial interceptados pelos cursos de água, reflectindo a penetração de uma superfície de aplanamento poligénica, de idade plio-quadernária, para o interior do continente, representada no litoral pelos níveis de aplanção marinhos e fluvio-marinhos.

O escalonamento de alguns níveis de terraço fluvial no interior dos vales assinala um encaixe cíclico das linhas de água, e de aplanções marinhas limitadas interiormente por arribas fósseis na faixa litoral, o que indica claramente, segundo Cabral (1995), uma tendência regional de levantamento do continente no Pliocénico, embora de fraca intensidade.

A aplanção poligénica constituída pelo conjunto dos níveis plio-quadernários caracteriza a área de estudo, onde ocorrem depósitos areno-argilosos atingindo espessuras de 10 a 20 m, de fácies continental, contendo flora fóssil que lhes confere idade do Pliocénico superior (Ferreira, 1986).

Segundo Cabral (1995), os dados tectónicos e neotectónicos disponíveis mostram evidência do desenvolvimento de uma geomorfologia elevada acima do nível do mar (anterior ao Pliocénico) resultante de levantamentos importantes associados a episódios tectónicos terciários, responsáveis pelo escalonamentos de três ou quatro níveis de aplanção acima dos quais se elevam superfícies culminantes (ex. serras de Peneda-Gerês e Cabreira). A descida do nível do mar originada por aqueles movimentos de levantamento, particularmente pelos deslocamentos de natureza epirogénica que terão ocorrido durante o Miocénico, desencadeou uma erosão vertical intensa, responsável pelo desenvolvimento de um paleo-relevo com uma amplitude altimétrica elevada, em que a acção da erosão diferencial sobre rochas profundamente alteradas pelo clima cenozóico terá tido um papel fundamental, desenvolvendo-se paleovales dispostos segundo orientações preferenciais, guiados por fracturas com direcção ENE-WSW. Uma paragem, seguida de inversão de movimentação relativa do nível do mar no Pliocénico, de origem tectónica, associada a movimentos de subsidência, e/ou eustática, originou um alargamento das depressões, por intensificação da erosão lateral, e uma colmatação parcial daquele paleo-relevo por uma cobertura sedimentar de que os depósitos a norte do PNLN, na região de Alvarães, são um exemplo desse testemunho. O retomar dos movimentos de levantamento do continente no final do Pliocénico ou início do Quadernário desencadeia o encaixe da drenagem fluvial instalada nos paleovales pliocénicos que os preenchem, exumando aquela paleotopografia e rejuvenescendo-a, embora com

pouca intensidade na área mais próxima do litoral devido à fraca amplitude do levantamento plio-quadernário.

As arribas fósseis (superior e inferior) já acima mencionadas são indicadores da acção marinha.

Como já foi referido, devido a factores tectónicos, bem como aos períodos glaciários ocorreram transgressões e regressões marinhas. Uma das mais significativas, para este segmento costeiro onde ocorre o PNLN, terá sido uma regressão ocorrida durante a qual se terá originado um sistema lagunar pantanoso, que ocasionalmente era abastecido por água proveniente do mar. Tal ocorrência está provada pela presença de diatomáceas associadas a depósitos lagunares e turfosos. Esses depósitos ter-se-ão formado durante um período relativamente longo da nossa história recente (moderna), tendo os mais antigos cerca de 1500 anos e os mais recentes apenas uma centena, sendo deste modo incluídos no Holocénico (menos de 10000 anos). Posteriormente, sobre os depósitos lagunares acumularam-se as areias das dunas (Gomes et al., 2002, Carvalho & Granja, 2003; Carvalho et al., 2006;). Considera-se que os sistemas dunares desta área se desenvolveram durante a Pequena Idade do Gelo, que ocorreu entre os séculos XV e XVI e os meados do século XIX. O mar estaria então mais afastado da terra (regressão), o que permitiu a instalação da população humana (Ferreira, 2005).

1.6. ANÁLISE SÍSMICA

O território português encontra-se nas proximidades da fronteira entre duas placas tectónicas, a Africana e a Euroasiática. Esta fronteira tectónica, genericamente designada por falha Açores-Gibraltar na sua extensão no Oceano Atlântico, apresenta uma razoável actividade sísmica associada à interacção das duas placas. Através da análise dos estudos sobre sismicidade histórica, observa-se que vários sismos tiveram origem nesta fronteira de placas afectando de um modo dramático o território continental. Os epicentros destes sismos situam-se todos perto do Banco de Gorringe, localizado aproximadamente a 200 km a sudoeste do Cabo de S. Vicente.

A Figura 1-9 representa a Carta de Intensidades Sísmicas de Portugal (Zonas de intensidade máxima), segundo a escala internacional, para o Período 1901-1972.

A PNLN intersecta apenas uma zona correspondente à parte NW a qual apresenta intensidade VI.

Estes valores de intensidade, apesar de pouco representativos em termos de destruição, são fortemente sentidos e susceptíveis de induzirem fenómenos que

podem implicar risco devido à vibração sísmica, potenciando, por exemplo, a instabilidade de vertentes ou de construções em zonas com características geológicas desfavoráveis (terrenos com reduzida resistência e elevada deformabilidade). Também podem ocorrer fenómenos de liquefacção em locais cujo substrato seja detrítico (areias e lodos) e que suportem cargas elevadas (eg. edifícios altos).

Por sua vez, a Figura 1-10 mostra a Carta de Isossistas de Intensidades Máximas – 1996.

Esta representa a sismicidade histórica e actual segundo a escala de Mercalli modificada DGA (1996). O valor que corresponde à maioria da zona da PNLN é a intensidade 6.

Figura 1-9 - Carta de Intensidades Sísmicas de Portugal (Zonas de intensidade máxima), segundo a escala internacional, para o Período 1901-1972.

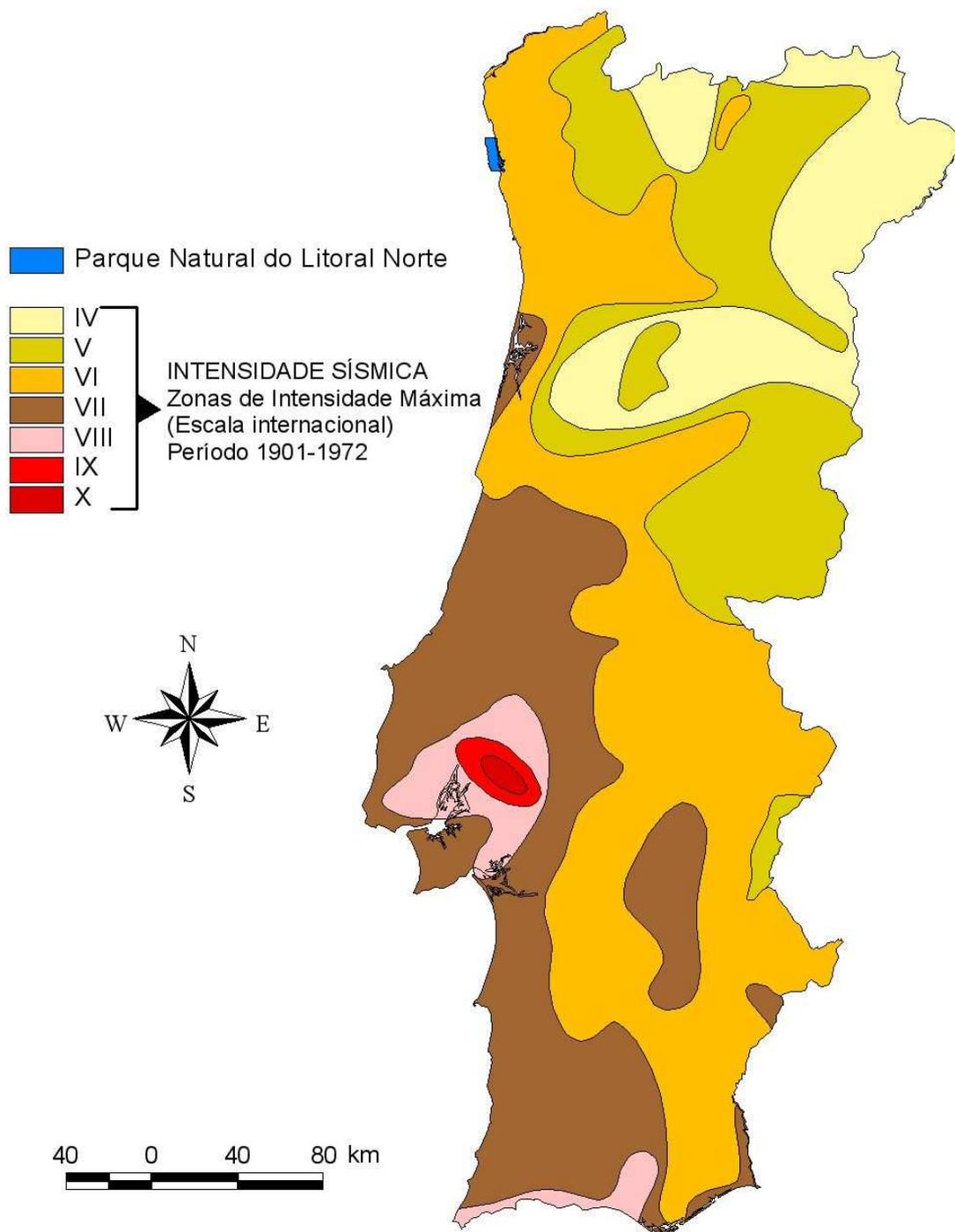
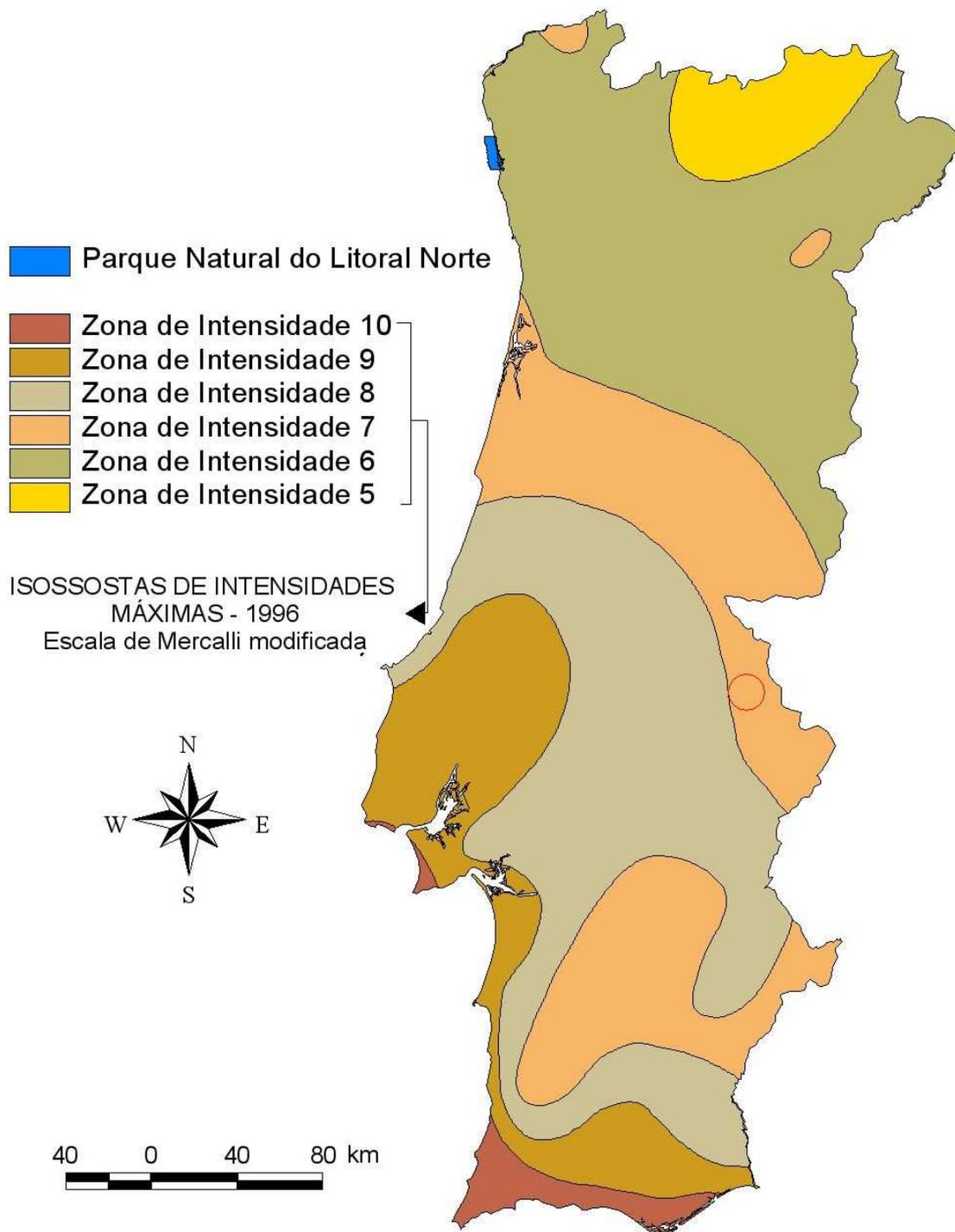


Figura 1-10 - Carta de Isossistas de Intensidades Máximas – 1996. Sismicidade histórica e actual, segundo a escala de Mercalli modificada. DGA (1996).



1.7. RECURSOS GEOLÓGICOS

O aproveitamento actual de recursos geológicos na região em que se integra a PNLN é inexistente, não obstante terem sido aproveitados no passado: areias fluviais e de duna. Na área definida pela PNLN não se localiza nenhuma indústria de exploração

de águas minerais, assim como concessões para a exploração deste recurso ou termas.

Bibliografia

- ALVES, A., (1996), Causas e processos da dinâmica sedimentar na evolução actual do litoral do Alto Minho, Universidade do Minho, Tese de Doutoramento, 442 pp.
- ANTUNES, M. T. & PAIS, J., (1993), The Neogene of Portugal, *Ciências da Terra* 12, Univ. Nova Lisboa: p.p. 7-22.
- BIROT, P. & FEIO, M., (1948), Notes sur la morphologie du Portugal méridional, *Mél. Off. hom. D. Faucher, T. 1*, Toulouse: p.p. 103-127
- BURG, J., BALE, P., BRUN, J. & GIRARDEAU, J., (1987), Stretching lineation and transport direction in the Ibero-Armorican Arc during the Siluro-Devonian collision. *Geodynamica. Acta*, Vol. 1: pp. 71-87
- CABRAL, J., (1995), Neotectónica em Portugal continental, *Memórias do Instituto Geológico de Portugal*, Memória 31, 251 pp.
- CARVALHO, G. S. & GRANJA, H. M., (1997a), Terraços *versus* litostratigrafia e geocronologia do Plistocénico-Holocénico da zona costeira do Minho (Portugal), *Estudos do Quaternário*, Revista da Associação para o Estudo do Quaternário (APEQ), nº 1, 25-40 pp.
- CARVALHO, G. S. & GRANJA, H. M., (1997b). Realismo e pragmatismo: uma necessidade para o aproveitamento dos recursos naturais da zona costeira (O exemplo da zona costeira do noroeste de Portugal), In: *Colectânea de ideias sobre a zona costeira de Portugal*, Publicação da Associação EUROCOAST-Portugal, 25-66 pp.
- CARVALHO, G. S. & GRANJA, H. M., (2002), Paleogeofomas como suporte da paisagem costeira actual. In: *Conservação dos Sistemas Dunares*, Parque Biológico de Gaia, 7-51 pp
- CARVALHO, G. S., GRANJA, H. M., GOMES, P., LOUREIRO, E., HENRIQUES, R., RIBEIRO, I., COSTA, A. L. & RIBEIRO, P., (2002), New data and new ideas concerning recent geomorphological changes in the NW coastal zone of Portugal, In: EUROCOAST Association (ed), *LITTORAL 2002 6th International Symposium proceedings - The Changing Coast*, Porto, Vol 2, 339-410 pp.
- CARVALHO, G. S. & GRANJA, H., (2003), As mudanças da zona costeira pela interpretação dos sedimentos plistocénicos e holocénicos (metodologia aplicada à zona costeira do noroeste de Portugal), *Revista da Faculdade de Letras - Geografia*, I Série, vol.19: 225-236 pp
- CARVALHO, G. S. & GRANJA, H. M., (2005), Dinâmica costeira e as praias entre o rio Minho e o rio Lima, In: *1as Jornadas de História, Ambiente e Urbanismo de Vila Praia de Âncora*. Editado pela Junta de Freguesia de Vila Praia de Âncora (ISBN 972-95151-2-3), 297-306 pp
- CARVALHO, G. S., GRANJA, H. M. & HENRIQUES, R., (2005), *Recent costal defence by engineering structures and their consequences (problems in the NW coastal zone of Portugal)*, ICS, Hofn, Islândia

- CARVALHO, G. S., GRANJA, H. M., LOUREIRO, E. & HENRIQUES, R., (2006), Late Pleistocene and Holocene environmental changes in the coastal zone of Northwestern Portugal, *Journal of Quaternary Science*, vol. 21, 8: 859-877 pp
- DGA, (1996), Atlas do Ambiente, Direcção Geral do ambiente.
- EISMA, D., (1998), Intertidal Deposits, CRC Press: 544 pp.
- FERREIRA, A. B., (1986), L'évolution tectonique tertiaire er quaternaire dans le Nord-Ouest du Portugal, L'apport des méthodes géomorphologiques, Linha de acção de Geografia Física, relatório 26, Centro de Estudos Geográficos, Lisboa, 27 pp.
- FERREIRA, V., (2005), Caracterização do Meio Marinho do Litoral de Esposende, ICN, 48 pp.
- GOMES, P. T., BOTELHO, A. C. & CARVALHO, G., (2002), Sistema dunares do litoral de Esposende, Universidade do Minho, Braga.
- GRANJA, H. M., (1990), Repensar a geodinâmica da zona costeira: o passado, o presente; que futuro?, Tese de doutoramento, Universidade do Minho, 347 pp.
- GRANJA, H. M., (1993), Os conhecimentos actuais sobre o Holocénico do noroeste de Portugal, In: *O Quaternário em Portugal - balanço e perspectivas*. Associação Portuguesa para o Estudo do Quaternário (APEQ), Edições Colibri, Lisboa, 43-49 pp.
- GRANJA, H., (1994), Troço Costeiro entre a Foz do Minho e Espinho – Síntese de Geomorfologia e Dinâmica Costeira, Universidade do Minho. Braga.
- GRANJA, H. M., (1999) Evidence for Late Pleistocene and Holocene sea-level, neotectonic and climatic indicators in the northwest coastal zone of Portugal. *Geologie en Mijnbouw*, Kluwer Academic Publishers, 77 (3-4): 233-245 pp
- GRANJA, H. M., (2000), A geologia do Holocénico aplicada ao ordenamento da zona costeira. *Estudos do Quaternário*, nº 3, 73-90 pp
- GRANJA, H. M., (2001), Paleoenvironmental indicators from the recent Past – a contribute to C Z M purposes, *Proceedings MEDCOAST 01*, The Fifth International Conference on the Mediterranean Coastal Environment, Hamamet, Tunísia, 59-70 pp
- GRANJA, H. M., (2002), Reconstituição paleoambiental da zona costeira, a norte da laguna de Aveiro, desde a Idade Média até à actualidade. In: *O Litoral em Perspectiva Histórica (Séc. XVI a XVIII)*, Instituto de História Moderna, Universidade do Porto, 93-109 pp
- GRANJA, H. M. & CARVALHO, G. S., (1991), The impact of "protection" structures on the Ofir-Apúlia coastal zone (NW Portugal), *Quaternary International*, 9, 81-85 pp
- GRANJA, H. M., & CARVALHO, G. S., (1992), Dunes and Holocene deposits of the coastal zone of Portugal, north Mondego cape, In: R. W. G. CARTER, T. G. F. CURTIS, E. M. J. SHEEHY-SKEFFINGTON A. A. (eds.), *Coastal Dunes (Geomorphology, Ecology and Management for Conservation)*, Ed. Balkema, Roterdão, 43-50 pp
- GRANJA, H. M., CARVALHO G. S., (1994), How can the Holocene help to understand coastal zone evolution? *Proceedings of the Second International Symposium EUROCOAST - Littoral 94*, Setembro, Lisboa, vol. 1, 149-167
- GRANJA, H. M., & CARVALHO, G. S., (1995), Is the coastline "protection" of Portugal by hard engineering structures effective? *Journal of Coastal Research*, vol. 11, nº 4, 1229-1241 pp

- GRANJA, H. & CARVALHO, G., (2000), Inland beach migration (“beach erosion”) and the coastal zone management. The experience of the Northwest coastal zone of Portugal, Fifth International Conference LITTIRAL 2000 UROCOAST, European Coastal Association for Science and Technology, September, Cavtat, Croatia, In *Periodicum Biologicum*, Zagreb, Vol. 102, pp. 413-424
- GRANJA, H. & FERREIRA, V., (2006), Geomorfologia da plataforma continental interna ao largo de Esposende (um caso de estudo – nota preliminar), 3º Congresso Nacional de Geomorfologia, Funchal, Madeira
- GRANJA, H. M., SOUSA, M. M., & CARVALHO, G. S., (1992), Quaternary tectonic movements in NW coastal zone of Portugal (around Cávado estuary). *Bulletin INQUA Neotectonic Commission*, Stokolm, Sweden, 15, 12-17
- GRANJA, H., CARVALHO, G. & GOMES, P., (2002), Estudo de Custo/Benefícios abrangendo a área de Restinga de Ofir e a Barreira de Protecção, Universidade do Minho.
- GRANJA, H. M., GOMES, P., CORREIA, A. M., LOUREIRO, E. & CARVALHO, G. S., (2000), A estabilidade e instabilidade da faixa costeira (sistema praia-duna) revelada pelas mudanças geomorfológicas e sua ligação às associações vegetais (a experiência da zona costeira do NO de Portugal). In: EUROCOAST-Portugal, FERNANDO VELOSO GOMES, JOSÉ ANTUNES DO CARMO, FRANCISCO TAVEIRA PINTO (eds.), *Perspectivas de gestão integrada de ambientes costeiros*, Associação EUROCOAST-Portugal, 1-24 pp
- GRANJA, H. M., DE GROOT, T. A. M. & COSTA A. L., (2003), Evidence for Pleistocene aeolian dune formation and wet interdune deposition in the coastal zone of NW Portugal, Coastal Environmental Change During Sea-Level Highstands: A Global Synthesis with implications for management of future coastal change - Puglia 2003 - Final Conference Project IGCP 437, GI2S Coast, Research Publication, Vol. 4, 117-118 pp
- GRANJA, H. & LOUREIRO, E., (2007), Why are shingle beaches replacing sandy beaches? (coastal zone of NW Portugal). Coastal Sediments’ 07, New Orleans, USA
- GRANJA, H. M., RIBEIRO, I., CARVALHO, G. S., & SENOS MATIAS, M., (1999), Some neotectonic indicators in Quaternary formations of the northwest coastal zone of Portugal, *Physics and Chemistry of the Earth*, Elsevier Science, Ltd., 24(4): 323-336 pp
- LOMBA, A., GRANJA, H., HONRADO, J., FAVENNEC, J. & VIDAL-ROMANI, J., (2005), Conservation of Dune Systems: Contributions from morphodynamics and Vegetation Ecology, Dunes and Estuaries 2005, Bélgica. *Book of Abstracts*, Eds Jean-Louis Herrier, Jan Mees, Albert Salman, Jan Seys, Hannah Van Nieuwenhuysse, Kristin de Lichtervelde, 62-63 pp
- LOMBA, A., HONRADO, J., GRANJA, H., FAVENNEC, J. & VIDAL ROMANI J., (2005), Geomorphology and Vegetation: A Contribution for a Synthesis on Erosion vs. Stability Indicators of the Coastal Zone, Proceedings of the *First International Conference on Coastal Conservation and Management in the Atlantic and Mediterranean (ICCCM,05)*, Eds. Fernando Veloso Gomes, Francisco Taveira Pinto and Luciana das Neves, Alexandra Sena and Óscar Ferreira, ISBN 972-752-083-9, 495-501 pp

- LOMBA, A., VICENTE, J., GRANJA, H. M. SANTOS, A., FIDALGO, F., CALDAS, F. B., HONRADO, J., (2006), Towards an interdisciplinary methodology for the indication of stability conditions in coastal areas, *Littoral 2006*, Gdansk, Polónia
- LOTZE, F., (1945), Zur Gliederrung der Varisziden in der Iberischen Meseta, *Geotekt Forsch*, N.º 6: pp. 78-92
- LOUREIRO, E., (1999), Morfodinâmica das praias de seixos do Litoral de Esposende. Tese de Mestrado da Universidade do Minho. Universidade do Minho
- LOUREIRO, E., (2006), Indicadores geomorfológicos e sedimentológicos na avaliação da tendência evolutiva da zona costeira (aplicação ao concelho de Esposende), Tese de doutoramento, Universidade do Minho, Braga, 329 p.
- LOUREIRO, E. & GRANJA, H. M., (2001), Short-term morphodynamics of a shingle beach (Esposende, northwest Portugal), In: PACKHAM, RANDALL, BARNES e NEAL (eds.), *Ecology and geomorphology of coastal shingle*, 148-159 pp
- LOUREIRO, E., GRANJA, H. M. & PINHO, J. L., (2005), *Morphodynamics of Cávado estuary inlet*. ICS, Junho 2005, Hofn, Islândia
- MATTE, P., (1986), Tectonics and plate tectonics model for the Variscan belt of Europe, *Tectonophysics*, 126: pp. 329-374
- OLIVEIRA, M., GOMES, V. & BETTENCOURT, P., (2002), Zona costeira Esposende-Ofir: Vulnerabilidade/segurança das ocupações edificadas, 64 pp.
- QUEVAUVILLER, P., (1988), Equilibrium conditions for curved shape bays with application to an ancient coast, *Geo-Marine Letters*, Volume 8, Issue 1, Mar: pp. 41 – 47
- RIBEIRO, A., ANTUNES, M. T., FERREIRA, M. P., ROCHA, R. B., SOARES, A. F., ZBYSZEWSKY, G., MOITINHO DE ALMEIDA, F., CARVALHO, D., & MONTEIRO, J. H., (1979), Introduction à la géologie générale du Portugal, *Serviços Geológicos de Portugal*, Lisboa: 114 pp.
- RIBEIRO, A., SILVA, J., DIAS, R., ARAÚJO, A., MARQUES, F., MERINO, H. & FONSECA, P., (1989), Terranes in the variscan fold belt in Portugal, *Tectonothermal Expression of terrane accrecion within the Appalachian orogen*, Athenes, Georgia, USA, Abstracts: 4 pp.
- RIBEIRO, I., (2000), Estudos da evolução paleoambiental quaternária dos sectores costeiros das Marinhas e Belinho (Esposende) com aplicação de métodos geofísicos aliada a sondagens mecânicas e datações, *Comunicações do Instituto Geológico e Mineiro*, Lisboa.
- RIBEIRO, O., (1987), Portugal, o Mediterrâneo e o Atlântico, *Livraria Sá da Costa Editora*, Lisboa: 191 pp.
- TEIXEIRA, C. & GONÇALVES, F., (1980), Introdução à geologia de Portugal, INIC, 475 pp.
- TEIXEIRA, C. & MEDEIROS, A. C., (1969), Notícia explicativa da folha 5-C Barcelos, SGP, Lisboa
- TEIXEIRA, C., MEDEIROS, A. C. & ASSUNÇÃO, C. T., (1965), Notícia explicativa da folha 9-A Póvoa de Varzim, SGP, Lisboa
- UM, (2002), Relatório final, relativo a um contrato de prestação e aquisição de serviços entre a Área de Paisagem Protegida do Litoral de Esposende e a Universidade do Minho (em colaboração com Soares de Carvalho e P. Gomes), Universidade do Minho

Outra Bibliografia e Pareceres

2002: - Parecer sobre um estudo de custo/benefícios abrangendo a área da restinga de Ofir e a barreira de protecção, solicitado pela Área de Paisagem Protegida do Litoral de Esposende (APPLE)

2002: - Parecer sobre a eventual acção de abertura do molhe paralelo à marginal do estuário do Cávado, solicitado pela Área de Paisagem Protegida do Litoral de Esposende (APPLE)

2002: - Parecer técnico sobre um projecto de recuperação de um troço de cordão dunar na Aguçadoura (Póvoa de Varzim), solicitado pela Oceanergia, no âmbito da colocação de uma sub-estação para aproveitamento da energia de ondulação

2003: - Relatório, apresentado à Área de Paisagem Protegida do Litoral de Esposende e à Câmara Municipal de Esposende, sobre a evolução da orla costeira entre a foz do Neiva e a Apúlia, referente ao período entre 2001 e 2002 (em colaboração com Eduardo Loureiro)

2004: - Relatório, apresentado à Área de Paisagem Protegida do Litoral de Esposende e à Câmara Municipal de Esposende, sobre a evolução da orla costeira entre a foz do Neiva e a Apúlia, referente ao período entre 2002 e 2003 (em colaboração com Eduardo Loureiro)

2006: - Relatório final, apresentado à Área de Paisagem Protegida do Litoral de Esposende e à Câmara Municipal de Esposende, sobre a zona costeira do concelho de Esposende, referente ao período entre 2001 e 2006 (em colaboração com Eduardo Loureiro)

2. HIDROGEOLOGIA

2.1. INTRODUÇÃO

A caracterização da hidrogeologia foi realizada e estruturada de acordo com a dimensão e a complexidade dos aspectos hidrogeológicos em causa. Esta área do ponto de vista hidrogeológico apresenta muitos poucos dados, informações e estudos. Contudo, a informação considerada pertinente foi devidamente ponderada e configurada à escala deste trabalho.

2.2. METODOLOGIA

Com o propósito de efectivar a caracterização dos recursos hídricos subterrâneos, da área afecta ao PNLN, tentou-se recolher informação bibliográfica disponível em artigos científicos, eventuais teses de mestrado e doutoramento, bem como a partir de relatórios técnicos de projectos de investigação (INAG-SNIRH). No entanto, tudo o que foi encontrado apresenta-se de modo disperso e pouco aprofundado. Foi ainda consultado o Plano de Bacia Hidrográfica do Cávado– PBHC (2000) e alguns artigos científicos publicados. De igual modo foram contactadas diversas instituições públicas, as quais possuíam informações relevantes para o estudo a saber: CCDR-N e INAG.

Não foram encontrados dados quantitativos mas procurou-se correlacionar a tipologia aquífero presente no PNLN com as características hidrogeológicas do Sistema Aquífero do Quaternário de Aveiro. Este aquífero encontra-se bastante a Sul, mas, em certa medida, é semelhante ao que ocorre na zona de estudo, pelo menos no sistema detrítico superficial.

Quanto à componente qualitativa foram descortinados apenas 5 pontos de água com análises físico-químicas, ainda que incompletas.

2.3. ANÁLISE HIDRO-CLIMATÓLOGICA

Na análise climatológica, da área afecta ao PNLN, teve-se em consideração a temperatura do ar, a precipitação e a evapotranspiração (potencial) cujos elementos influenciam o valor dos excedentes hídricos que efectuem a recarga dos aquíferos.

2.3.1. TEMPERATURA DO AR (T)

A temperatura do ar é um parâmetro de grande importância na dinâmica do ciclo hidrológico. Os valores obtidos de temperaturas médias mensais estão apresentados na Tabela 2-1 referido à estação de Esposende.

Tabela 2-1 - Distribuição das temperaturas médias mensais ao longo do ano em graus centígrados.

| JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN | JUL | AGO | SET | OUT | NOV | DEZ |
|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|-----|-----|
| 4,7 | 5,0 | 7,0 | 8,3 | 10,3 | 11,9 | 12,6 | 12,3 | 11,2 | 10,7 | 6,4 | 4,6 |

2.3.2. PRECIPITAÇÃO (P)

Quando se verificam variações das condições meteorológicas, o vapor de água contido na atmosfera proporciona a ocorrência de precipitação (sob diversas formas). As primeiras quedas pluviométricas destinam-se à satisfação das exigências resultantes da capacidade de campo dos solos e da evapotranspiração, após a qual que se origina o escoamento superficial e/ou a infiltração. A precipitação é uma das componentes básicas do ciclo hidrológico. Constitui a fonte principal da recarga dos aquíferos. A importância da precipitação é avivada quando se admite que é igualmente, em muitas situações, a principal fonte de alimentação subterrânea de bacias hidrogeológicas contíguas. As rochas detríticas do PNLN, apresentam características hidrogeológicas particulares, de tal modo que podem receber recarga directa através da chuva precipitada sobre os afloramentos e, por via indirecta, através de fluxos subterrâneos oriundos rochas ígneas e metamórficas circundantes. A precipitação média anual da área do PNLN é de cerca de 1200 mm/ano, distribuídos fundamentalmente por 130 dias. A precipitação mais significativa ocorre no período de Outubro a Dezembro, bem como, no mês de Março. De Junho a Agosto ocorre a época estival com precipitação inferior a 40 mm.

2.3.3. EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL (ETP)

Thornthwaite introduziu o conceito de evapotranspiração potencial (ETP), correspondendo à perda máxima de água para a atmosfera por evaporação e transpiração das plantas, num solo completamente abastecido e com uma cobertura vegetal uniforme e em óptimo desenvolvimento vegetativo. A ETP, ou seja, a transferência de água no estado de vapor do Globo para a atmosfera, condiciona a carga energética desta e altera as características das massas de ar nela existentes, bem como a evolução do ciclo hidrológico. Em hidrogeologia é determinante o seu conhecimento, uma vez que permite condicionar a recarga natural dos aquíferos. Segundo PBHRC (2000), a ETP cifra-se em 1076 mm/ano.

2.4. ENQUADRAMENTO HIDROGEOLÓGICO REGIONAL

De acordo com Almeida et al., (2000) o PNLN insere-se no vasto sistema constituído pelo Maciço Antigo. Neste grande sistema, contudo é possível, de acordo com as características geométricas, fisiográficas e a estrutura geológica de superfície e de subsuperfície, aparecerem, aquíferos de âmbito local. É nesse âmbito que existe o

designado Aquífero Livre de Esposende-Vila do Conde. Este aquífero ocupa principalmente todo o PNLN desde a margem esquerda do rio Cávado para Sul em direcção a Vila do Conde. Subsidiariamente, também podem ser considerados os depósitos detríticos que existem a Norte do rio Cávado até ao rio Neiva como aquífero. O INAG, entidade gestora dos sistemas subterrâneos em Portugal ainda não promoveu uma definição final dos limites deste aquífero. A este respeito, apenas foi considerada até agora uma zona designada legalmente por Zona Vulnerável do Aquífero livre entre Esposende e Vila do Conde, da qual os seus limites foram definidos puramente por critérios geográficos (limite de freguesias) e não em função dos limites hidrogeológicos.

Todos os litótipos onde se estruturam este pequeno aquífero estão discriminados no capítulo da Geologia/Geomorfologia.

2.5. HIDROGEOLOGIA – ASPECTOS HIDRÁULICOS E QUANTITATIVOS

2.5.1. PONTOS DE ÁGUA

Verifica-se que o poço é por excelência a tipologia de captação mais frequente na área do PNLN. A partir da recolha de informação constante no Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH) do INAG obtiveram-se 5 pontos de água (poços) com inclusão de resultados analíticos. Por outro lado, com base na carta militar foram identificados mais 35 pontos de água. Todos correspondem a poços. A Figura 2-1 mostra a localização das referidas captações no PNLN.

Verifica-se que as grandes concentrações ocorrem a Norte do PNLN, entre Mar e o rio Neiva. Também ocorrem alguns núcleos a Norte e a Sul da Apúlia. Os poços que têm análise são públicos e ocorrem 4 na área a Norte da Apúlia e 1 a Sul.

2.5.2. MODELO CONCEPTUAL HIDROGEOLÓGICO

O modelo conceptual hidrogeológico para a área do PNLN segue em consonância com aquíferos semelhantes.

Assim ocorre um sistema livre superficial constituído por sedimentos dunares, fluviais e marinhos. Subjacente a este ocorrem os litótipos metamórficos e ígneos (hard rocks). Este aquífero cristalino fracturado pode ocorrer, igualmente do ponto de vista hidráulico, como livre, ou então, consoante os teores de argila presentes nos sedimentos, pode ocorrer alguma componente de confinamento.

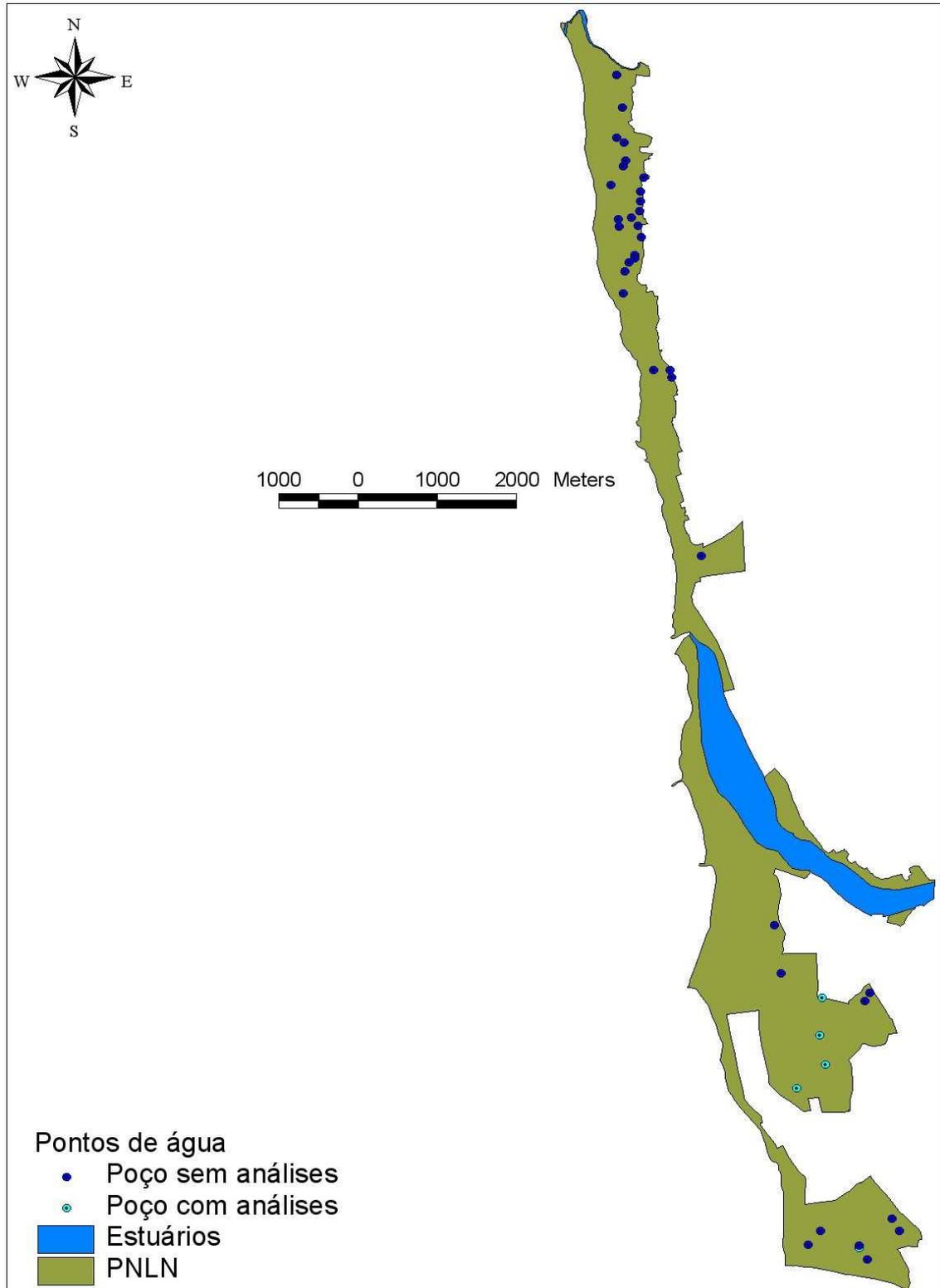
Em termos hidrogeológicos, a área do PNLN é muito semelhante àquela que ocorre na Unidade Mesocenozóica Ocidental, designada por Sub-sistema Aquífero do Quaternário de Aveiro. A semelhança verifica-se fundamentalmente na componente

detrítica superior, uma vez que, em profundidade, ocorrem rochas carbonatadas (ex. Cretácico de Aveiro).

O sub-sistema dunar apresenta assim características evidentes de um aquífero livre em meio poroso, separado da unidade subjacente através de uma camada de cascalheira de espessura variável. A sua espessura pode atingir os 20 m na zona do PNLN. As componentes aluvionares podem propiciar esquemas de captação por infiltração induzida dependentes da qualidade e quantidade de água disponível nas linhas de água a que hidráulicamente estejam ligados. A referida camada de cascalheira de base é bastante produtiva. Em diversos furos de prospecção realizados perto de Ofir, apareceu sempre água aquando da sua intercepção.

Em termos médios podemos admitir que as principais características hidráulicas do sistema livre dunar são: a relativa homogeneidade em termos de potencial hidrogeológico, sendo as produtividades baixas (cerca de 3 L/s), uma vez que estão dependentes das características geológicas da zona; a porosidade eficaz compreendida entre 2 a 5 %; a permeabilidade variando entre 10-20 m/dia; a transmissividade situando-se entre 150 a 250 m²/dia. A taxa de infiltração é relativamente alta, podendo atingir valores até 30 a 35 % dos valores médios anuais de precipitação.

Figura 2-1 - Pontos de água na área do PNLN (com informação de presença ou ausência de resultados analíticos)



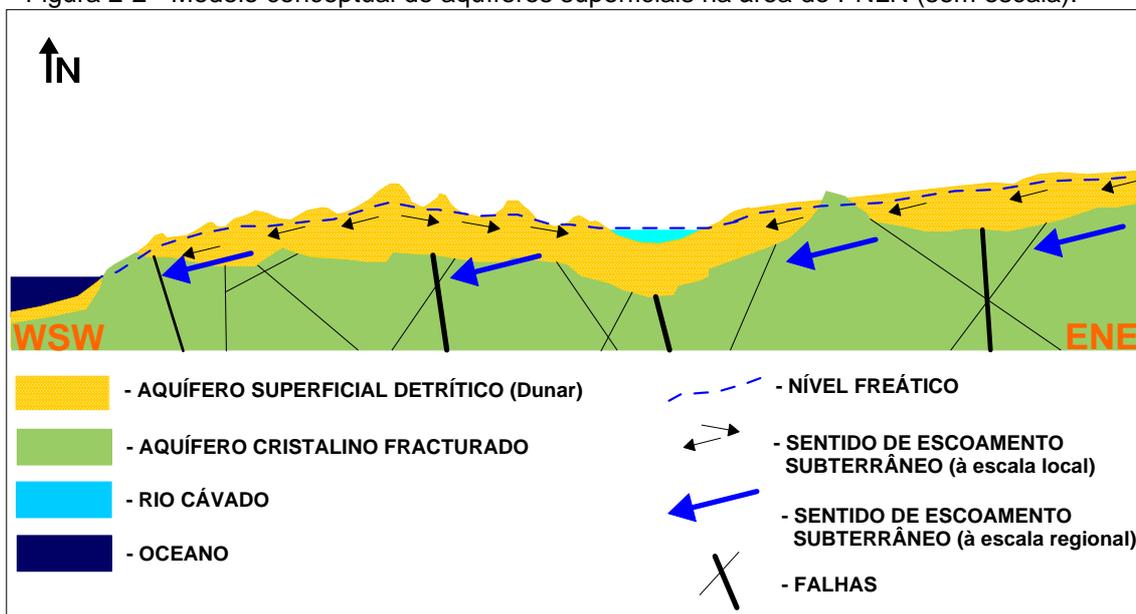
As transmissividades entre 50 e 370 m²/dia e valores de condutividade hidráulica entre 20 e 49 m/dia são referidos por Almeida et al. (2000) em aquíferos semelhantes. Abrunhosa (2004), no aquífero de Leirosa (a sul da Figueira da Foz), cujas formações, génese e tipologias aquíferas são, em tudo, semelhantes às presentes no aquífero dunar que ocorre na PNLN, estimou a porosidade na ordem dos 30%, a porosidade eficaz entre 10 a 15%, e a permeabilidade em 20 m/dia.

Por sua vez o aquífero cristalino fracturado subjacente ao dunar é constituído pelas litologias ígneas e metamórficas que apresentam segundo PBHRC (2000), baixa permeabilidade e produtividades regra geral inferiores a 3 L/s. Em termos de estruturação vertical hidrogeológica, o sistema cristalino apresenta uma zona alterada, a decomposta, cuja permeabilidade é do tipo intergranular, podendo coexistir com a circulação fissural a profundidades da ordem dos 100 m.

PBHRC (2000) ainda menciona uma zona intermédia menos alterada cortada por descontinuidades do tipo falha, fractura, diaclase ou filão até profundidades da ordem dos 200 m. Por fim a zona profunda caracterizada por permeabilidade quase nula apresentando-se os maciços completamente fechados sem descontinuidades apropriadas para a circulação hidrogeológica. PBHRC (2000) admite taxas de recarga da ordem dos 20% da precipitação média anual. Genericamente ambos os aquíferos funcionam hidraulicamente como uma entidade única sendo assim considerados como um único aquífero.

A Figura 2-2 é uma representação do modelo conceptual dos aquíferos livres presentes na área do PNLN num corte idealizado a cortar ambas as margens do rio Cávado.

Figura 2-2 - Modelo conceptual do aquíferos superficiais na área do PNLN (sem escala).



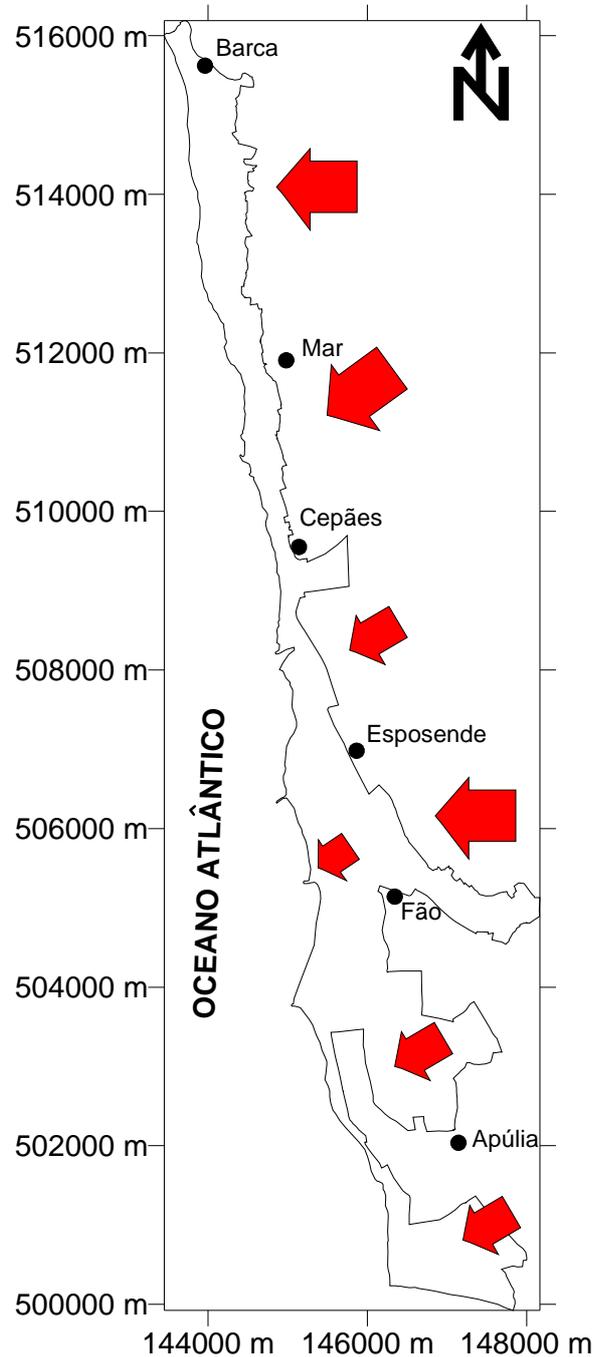
Na zona de estudo em apreço verifica-se a ausência de um conjunto de medições recente de níveis piezométricos, referidos a uma mesma época e discriminada a cada um dos aquíferos que compõem o sistema (aquífero superficial Quaternário e aquífero cristalino fracturado).

Contudo é perfeitamente admissível que a piezometria dos aquíferos superficiais – dunar e cristalino – deverá seguir a influência topográfica uma vez que se tratam de aquíferos fundamentalmente livres com ligação conjunta (muito pontualmente confinados). A zona de recarga, para além daquela que ocorre directamente sobre os terrenos do PNLN, a partir da chuva, provêm de E sendo que a drenagem dá-se preferencialmente para W e WSW. A descarga é realizada parcialmente para o rio Cávado e Neiva e grande parte é efectuada directamente para o mar.

O sistema é recarregado na época invernososa e gradualmente vai atingindo o equilíbrio com o avanço da época estival.

A Figura 2-3 procura traduzir os sentidos de escoamento subterrâneo atendendo à correlação elevada que os sistemas superficiais têm com a topografia, referido à zona do PNLN.

Figura 2-3 - Sentidos de escoamento dos aquíferos superficiais na área do PNLN.



2.5.3. CÁLCULO DE RECURSOS RENOVÁVEIS

A avaliação da recarga aquífera é fundamental para a concretização do conhecimento hidrogeológico de uma zona e ao mesmo tempo permite a estimação do volume de recursos hídricos subterrâneos anualmente renováveis. Tal situação tem implicações directas no planeamento e gestão integrada dos recursos hídricos regionais, especialmente em climas relativamente secos.

Como já foi mencionado, o PBHRC (2000) admite que 20% da precipitação que ocorre na área em apreço (1200 mm/ano) corresponde à infiltração eficaz (embora para aquíferos semelhantes mas distantes geograficamente os valores possam ser um pouco diferentes). Uma vez que o PNLN ocorre fundamentalmente neste sistema aquífero livre esse valor é o admitido nos cálculos dos recursos renováveis anuais.

A área bruta do PNLN, referido à sua parte terrestre, é de cerca de 13,16 km². A área da zona submersa foi excluída da área de recarga inserida no PNLN, a qual corresponde a cerca de 1,88 km². A área útil de recarga corresponde a 11,28 km².

Assim, calculou-se a infiltração global nos 11,28 km² do sistema na região do PNLN, com base no valor de infiltração eficaz anual de 0,24 m³/m², o que corresponde a que corresponde a uma infiltração de 2,7x10⁶ m³/ano (2,7 h³/ano) na área do PNLN.

2.6. HIDROGEOLOGIA – ASPECTOS QUALITATIVOS

2.6.1. INTRODUÇÃO E METODOLOGIA

A caracterização a situação de referência no que respeita à qualidade da água foi realizada à escala local com base nos dados analíticos encontrados.

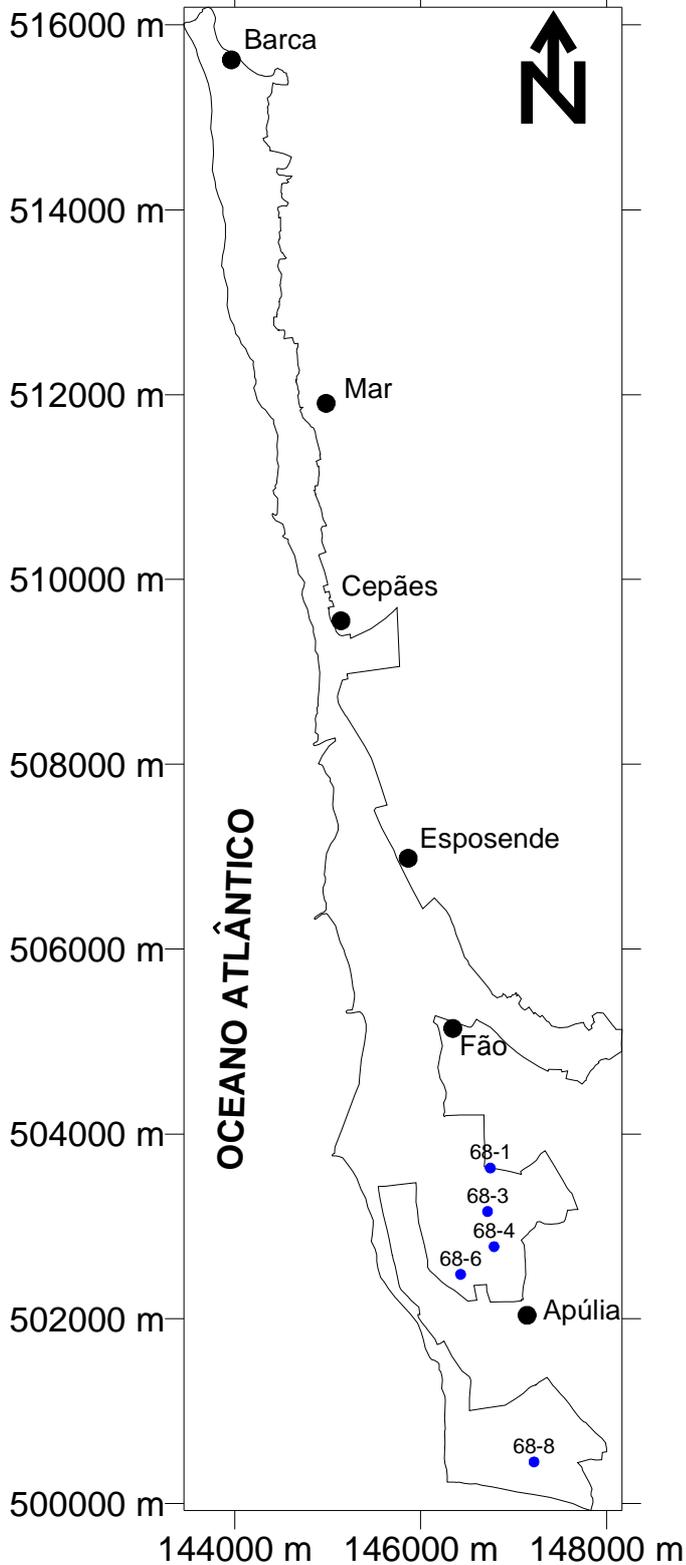
Um dos factos salientes é realmente a existência de poucos dados que permitam a concretização de um estudo mais aprofundado relativamente à realidade qualitativa dos sistemas que ocorrem no PNLN. Os dados estão mal distribuídos espacialmente, estão concentrados a Sul do PNLN, e correspondem a 5 análises de captações do tipo poço (Figura 2-1).

2.6.2. CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA

A possibilidade de realizar uma caracterização hidroquímica, da parte do aquífero livre que ocorre exclusivamente no PNLN, verificou-se muito difícil devido à inexistência de dados qualitativos necessários para o efeito. De qualquer modo segundo PBHRC (2000) referem que as fácies predominantes variam entre Bicarbonatada Magnésiana a Bicarbonatada-cloretada sódico-magnésiana.

Atendendo apenas aos valores obtidos a partir do SNIRH para as captações e piezómetros instalados unicamente no PNLN apresenta-se a Tabela 2-2, a qual representa os resultados estatísticos para os três únicos parâmetros disponíveis (condutividade eléctrica, pH e nitrato). Estes resultados correspondem aos 5 pontos de água projectados na figura seguinte com indicação de terem análise.

Figura 2-4 - Projecção dos pontos de água com análises.



**PLANO DE ORDENAMENTO E GESTÃO DO PARQUE NATURAL DO LITORAL NORTE
FASE 1 – PARTE I: DESCRIÇÃO – VOLUME II: CARACTERIZAÇÃO FÍSICA – JULHO 2007**

Os resultados referem-se a um largo período de amostragem que varia desde 1997 a 2006. Os Gráfico 2-1, Gráfico 2-2 e Gráfico 2-3 correspondem aos gráficos de caixa e bigodes respectivamente para condutividade eléctrica (CE), pH e nitrato (NO3).

Tabela 2-2 - Estatísticas das águas do aquífero superficial (dunar+cristalino) que ocorre no PNLN.

| Parâmetros | n | Média | Mediana | Mínimo | Máximo | 1º Quartil | 3º Quartil | Desvio Padrão |
|------------------------|----|-------|---------|--------|--------|------------|------------|---------------|
| Condut. Elect. (µS/cm) | 10 | 696,7 | 637 | 410 | 992 | 473 | 966 | 237,98 |
| pH | 57 | 6,58 | 6,7 | 4,9 | 8,46 | 6,1 | 7 | 0,81 |
| Nitrato (mg/L) | 82 | 37,48 | 17,1 | 0,2 | 180 | 2,5 | 75 | 42,38 |

Gráfico 2-1 - Projecção das estatísticas num gráfico de caixa e bigodes para a condutividade eléctrica

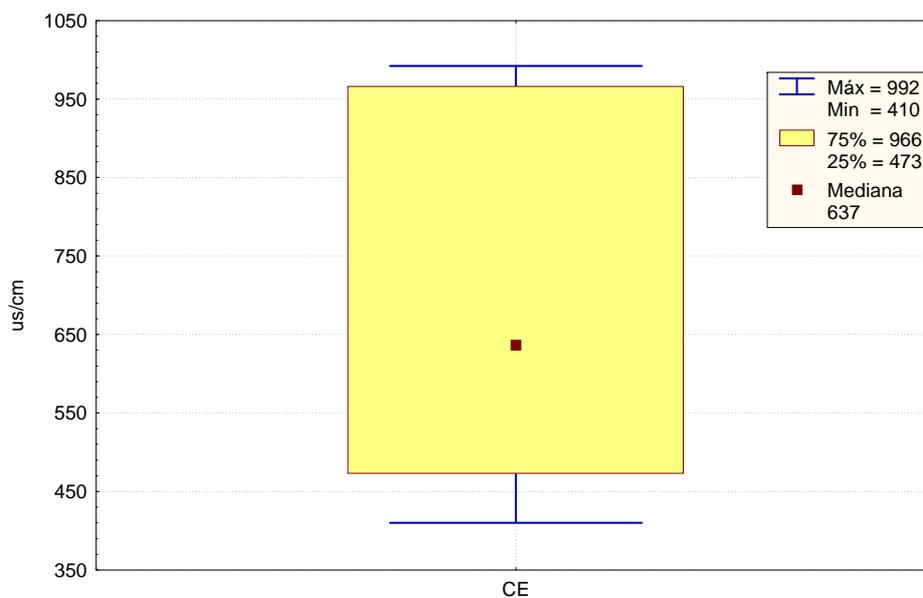


Gráfico 2-2 - Projecção das estatísticas num gráfico de caixa e bigodes para o pH.

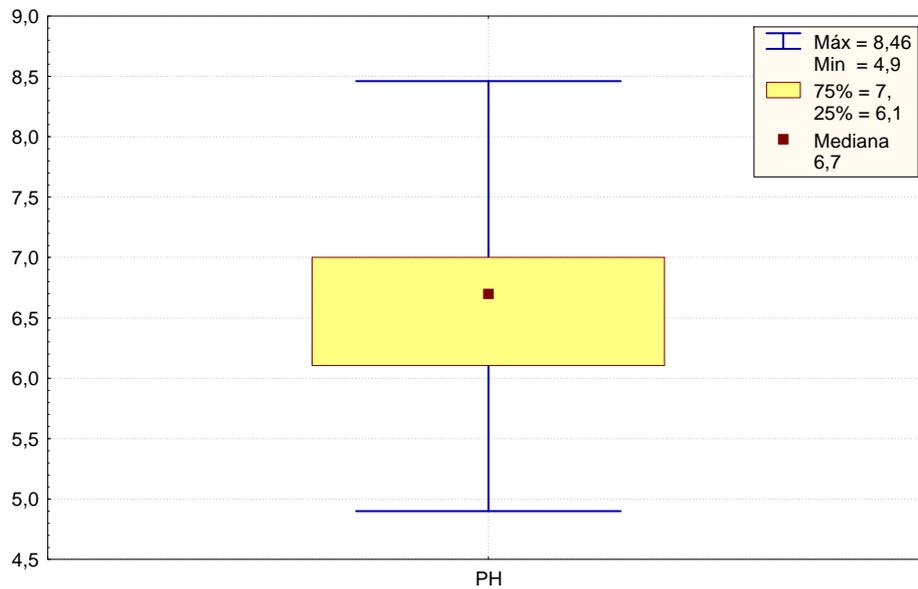
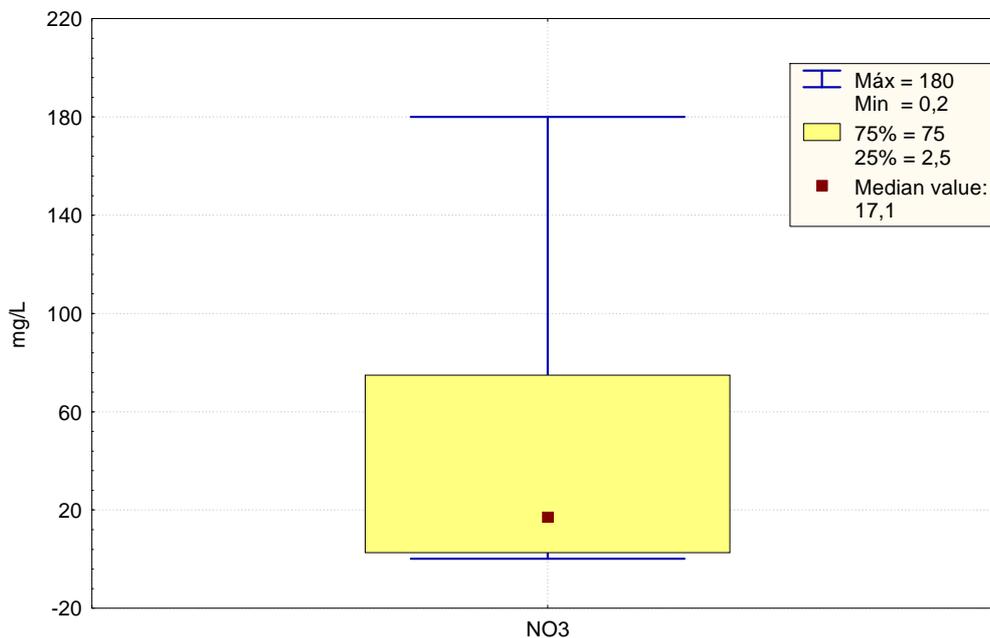


Gráfico 2-3 - Projecção das estatísticas num gráfico de caixa e bigodes para o nitrato.



Tratam-se de águas com alguma mineralização dado que a mediana da condutividade eléctrica é da ordem dos 640 ($\mu\text{S}/\text{cm}$). É possível que a influência marinha dote estes perfis químicos com esta elevada mineralização (apesar de não se ter dados de cloretos).

Relativamente ao pH varia desde água com evidente tendência ácida a tendência alcalina. Em termos medianos verifica-se uma certa tendência para ácida, o que

repercute as condições de infiltração e circulação aparentemente rápida, ou então são os minerais que estruturam os aquíferos que são menos reactivos. Tais factos não serão de estranhar uma vez que se trata de um aquífero muito superficial constituído fundamentalmente por materiais silicatados.

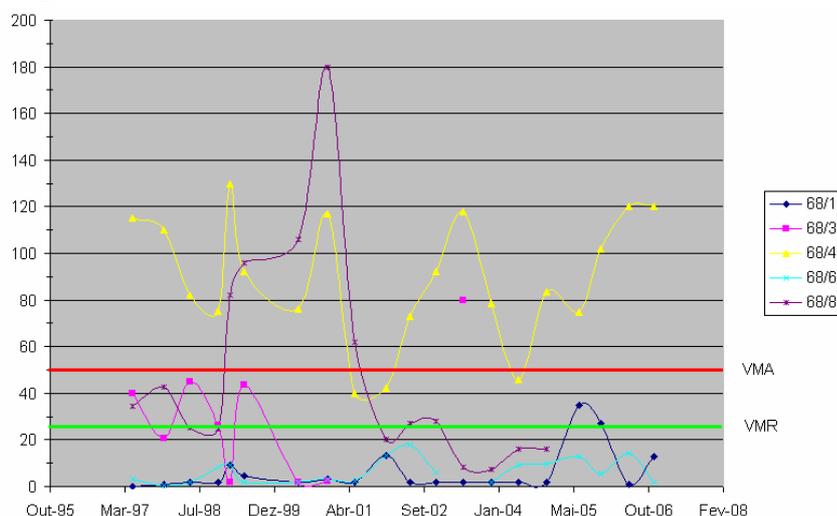
Quanto ao nitrato a apreciação estatística pode induzir em erro, dado que a amplitude de variação é da ordem dos 180 mg/L. A mediana indica que os valores são de 17,1 mg/L. Contudo a mediana está sujeita ao facto de haver muitos valores de medição, no mesmo ponto de água, onde os teores eram mais baixos. De qualquer modo verifica-se que o nitrato apresenta valores superior ao VMA (50 mg/L).

A melhor forma para avaliar a tendência da concentração do nitrato nestas águas é através da projecção da evolução temporal. O Gráfico 2-4 mostra a projecção temporal da evolução nos nitratos nas 5 captações que se encontra a norte e a Sul da Apúlia.

Apenas os pontos 68/4 e 68/8 ultrapassam o VMA. Verifica-se que, em termos médios, os valores mais elevados de nitrato ocorrem no Inverno e baixam no Verão. Apenas o ponto 68/4 manteve a tendência evolutiva constante, por outro lado no ponto de água 68/8 os teores de nitrato desceram significativamente.

A origem destes nitratos é agrícola e a evolução temporal dos nitratos, como refere Duque (2005) depende em grande medida do regime pluviométrico, da tipologia de aplicação dos mesmos, da taxa de concentração de carbono orgânico no solo que influi nas taxas de nitrificação/desnitrificação, etc..

Gráfico 2-4 - Evolução temporal das concentrações de nitratos em 5 captações dentro do PNLN.



2.6.3. VULNERABILIDADE À POLUIÇÃO

De acordo com Ribeiro (2005), a definição da vulnerabilidade está na percepção de que determinadas áreas são mais susceptíveis à contaminação do que outras, tomando em conta o grau de eficácia dos processos de atenuação natural, que variam por vezes drasticamente de um local para outro e a constituição litológica das formações onde ocorre ou poderá vir a ocorrer um fenómeno de poluição.

Já Lobo-Ferreira & Cabral (1991) entendem por vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas “a sensibilidade da qualidade das águas subterrâneas a uma carga poluente, função apenas das características intrínsecas do aquífero”. Para Ribeiro (2005) a vulnerabilidade pode ser definida como o grau da potencial susceptibilidade da água subterrânea a uma fonte de poluição tópica ou difusa.

Para caracterizar a vulnerabilidade à poluição dos aquíferos da área do PNLN foram aplicados métodos conducentes com a tipologia e especificidades dos aquíferos superficiais em questão e de acordo com os dados disponíveis.

Dado não existir uma rede piezométrica eficiente e bem distribuída, não foi possível aplicar o método DRASTIC de Aller *et al.*, (1987) e o Índice de Susceptibilidade (IS) de ERHSA (2001) e Ribeiro (2005).

A vulnerabilidade à poluição da área do PNLN foi realizada e avaliada de acordo com o método EPPNA (1998), uma vez que se entendeu não considerar a hipótese V8 do método EPPNA (Inexistência de aquíferos).

De acordo com este método, atribui-se uma classe de vulnerabilidade em função das características litológicas/hidrogeológicas de uma área, de acordo com a Tabela 2-3.

Tabela 2-3 - Classes e respectiva vulnerabilidade à poluição segundo o método EPPNA. In Oliveira & Lobo-Ferreira (2003).

| Classes | Vulnerabilidade |
|---|------------------|
| V1 - Aquíferos em rochas carbonatadas de elevada carsificação | Alta |
| V2 - Aquíferos em rochas carbonatadas de carsificação média a alta | Média a alta |
| V3 - Aquíferos em sedimentos não consolidados com ligação hidráulica com a água superficial | Alta |
| V4 - Aquíferos em sedimentos não consolidados sem ligação hidráulica com a água superficial | Média |
| V5 - Aquíferos em rochas carbonatadas | Média a baixa |
| V6 - Aquíferos em rochas fissuradas | Baixa e variável |
| V7 - Aquíferos em sedimentos consolidados | Baixa |
| V8 - Inexistência de aquíferos | Muito baixa |

In Oliveira & Lobo-Ferreira (2003).

Na definição da vulnerabilidade não foram considerados os litótipos metamórficos localizados na faixa litoral ou já instalados no meio do mar.

Quanto ao sistema livre, constituído fundamentalmente por rochas detríticas, que ocorre nas proximidades dos rios permanentes (rio Neiva e Cávado), teve-se em consideração a existência de ligação hidráulica a esses colectores superficiais, podendo ser incluído na classe V3 – - Aquíferos em sedimentos não consolidados com ligação hidráulica com a água superficial, o que resulta numa **Vulnerabilidade Alta**.

Por sua vez, no restante sistema livre constituído também por rochas detríticas, já com algum afastamento dos rios Neiva e Cávado, teve-se em consideração a inexistência de ligação hidráulica a esses colectores superficiais, podendo ser incluído na classe V4 – - Aquíferos em sedimentos não consolidados sem ligação hidráulica com a água superficial, o que resulta numa **Vulnerabilidade Média**.

Por fim, as restantes rochas metamórficas que afloram pontualmente em janelas do sedimentar foram incluídas na classe V6 – - Aquíferos em rochas fissuradas, o que resulta numa **Vulnerabilidade Baixa e variável**.

A Figura 2-5 mostra a projecção dos polígonos de vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas para o sistema superficial no seio do PNLN.

Embora não haja dados para o confirmar, provavelmente a componente cristalina pode estar em contacto hidráulico com o mar.

O principal factor que domina na afectação de todos os aquíferos, da região do PNLN, é a possibilidade de, no futuro, existirem extracções de água capazes de poderem alcaçar o limiar da sobreexploração. A exploração elevada dos recursos hidrogeológicos num sistema destes, dominado pela grande superficialidade, provoca a invariável descida dos níveis piezométricos com possibilidade de esgotamento inclusive das reservas. Tal situação pode provocar três perigos para o aquífero do ponto de vista qualitativo a saber:

1. As planta hidrófitas deixam de ter possibilidade de absorver água. Este facto pode ter implicações em plantas capazes de preservar os sistemas dunares
2. A descida dos níveis coloca o oxigénio em contacto com parte mais profundas do aquífero. Tal facto pode promover reacções água-rochas tendentes a gerar precipitação de minerais que gradualmente podem colmatar as fracturas e poros reduzindo a porosidade e conseqüentemente a permeabilidade. Estes fenómenos são potenciados com sucessivas variações altas e baixas do níveis piezométricos.

3. Uma grande descida dos níveis piezométricos faz com que a zona saturada seja maior. Assim durante a época chuvosa, há maior capacidade de recarga do aquífero superficial, os gradientes são maiores, bem como as velocidades de infiltração. Perante tal cenário potenciam-se os arrastes de contaminante com mais intensidade e para partes mais profundas do aquífero.

Estas dinâmicas são muito complexas, de tal modo que importa monitorizar tanto os níveis piezométricos como as extracções realizadas na área do PNLN.

Recomenda-se assim a realização de um estudo de implantação de piezómetros neste aquífero, que permita capacitar toda a área do PNLN, de locais de medição. A partir desses resultados será possível traduzir a repercussão dos fenómenos de índole hidrogeologia que ocorrem, de modo a atenuar, caso possível, a contaminação, quase definitiva, dos recursos hidrogeológicos destes sistemas aquíferos superficiais.

No PNLN recomenda-se o abate com cimentação das captações que apresentem problemas estruturais (roturas, deficiências etc.). Sendo igualmente fundamental a fiscalização por parte das entidades licenciadoras do domínio hídrico tanto com as empresas de sondagem e captação de água, que realizam as captações (exigências na identificação e perfeito isolamento dos níveis salgados) como na verificação dos caudais captados à posteriori. Estas acções são extremamente benéficas para usar e ao mesmo tempo preservar os recursos hidrogeológicos de modo sustentado na zona da bacia do Cávado e particularmente na área afectada à PNLN. O desprezo por estas normas repercute-se no incremento da vulnerabilidade à poluição designadamente na componente da contaminação por nitratos e eventual intrusão salina.

Um dos processos legislativos que traduzem essas preocupações foi a definição da Zona Vulnerável do aquífero livre entre Esposende e Vila do Conde.

2.7. A ZONA VULNERÁVEL DO AQUÍFERO LIVRE ENTRE ESPOSENDE E VILA DO CONDE

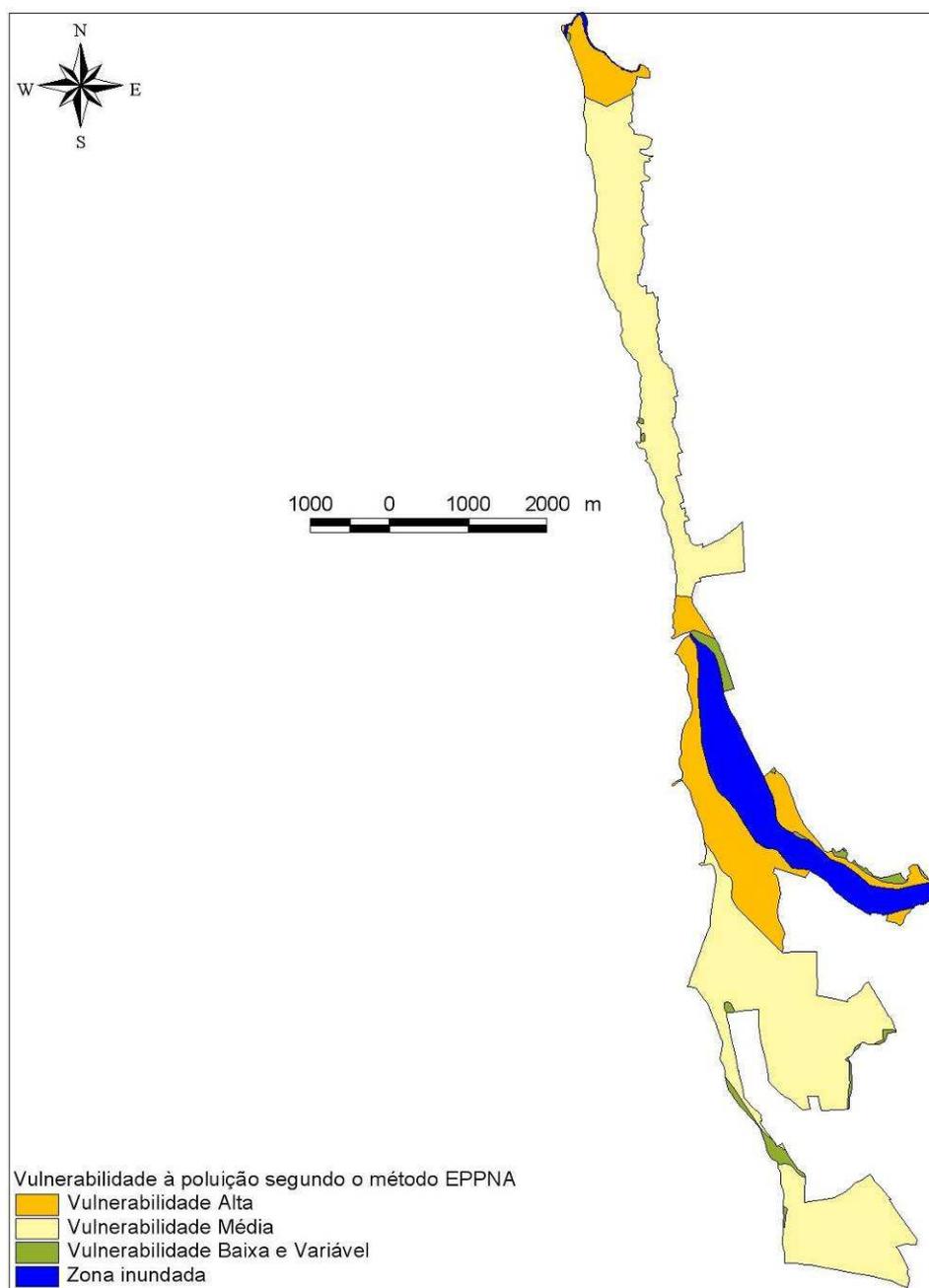
A Europa tem desde sempre manifestado grande preocupação com a problemática dos nitratos, o que levou à aprovação de legislação sobre a matéria: a Directiva 80/788 sobre a Qualidade da Água Destinada ao Consumo Humano (CEE, 1980) e a Directiva 91/676, conhecida como Directiva Nitratos (CE, 1991).

A Directiva 80/788 dá orientações para a criação de legislação nacional sobre a qualidade da água para consumo humano, referindo os valores da Concentração

Máxima Admissível para todos os sistemas públicos de abastecimento, ou seja, 50 mg/L de ião nitrato, 0,1 mg/L de ião nitrito e 0,5 mg/L de amoníaco.

A Directiva Nitratos transposta para o direito nacional, através do Decreto-Lei n.º 235/97, de 3 de Setembro, visa reduzir a poluição das águas causada ou induzida por nitratos de origem agrícola e determina a identificação de zonas vulneráveis e respectivos programas de acção.

Figura 2-5 – Vulnerabilidade à poluição



O principal objectivo desta transposição da Directiva visa reduzir a poluição das águas causada ou induzida por nitratos de origem agrícola e impedir a propagação da referida poluição, com o fim de proteger a saúde humana, os recursos vivos, os sistemas aquáticos e salvaguardar outras utilizações legítimas da água.

Assim as entidades competentes que têm a seu encargo o domínio hídrico têm por obrigação:

- Controlar a concentração de nitratos nas águas doces superficiais e nas águas subterrâneas, bem como, analisar o estado de eutrofização das águas doces superficiais, estuarinas, costeiras e marinhas.
- Identificar as águas poluídas e as susceptíveis de o serem, em conformidade com os critérios do Anexo I do Decreto-Lei n.º 235/97, alterado pelo Decreto-Lei n.º 68/99, e designar as Zonas Vulneráveis. A lista das Zonas Vulneráveis deve ser revista, pelo menos, de 4 em 4 anos;
- Elaborar Programas de Acção para as Zonas Vulneráveis. O prazo para a elaboração dos referidos programas é de 2 anos a contar da designação inicial, e de 1 ano a partir de cada nova designação. O prazo de execução é de 4 anos a contar da respectiva elaboração;
- Elaborar um código ou códigos de boas práticas agrícolas a aplicar voluntariamente pelos agricultores e obrigatoriamente no âmbito dos Programas de Acção, bem como, programas de formação e informação dos agricultores, para promover a aplicação do(s) código(s) de boas práticas agrícolas.
- Controlar a eficácia de aplicação dos Programas de Acção para as Zonas Vulneráveis.

Foram assim definidas as Zonas Vulneráveis, que correspondem a áreas que drenam para as águas poluídas ou susceptíveis de serem poluídas por nitratos e onde se praticam actividades agrícolas que possam contribuir para a poluição das mesmas.

Na identificação das águas poluídas por nitratos os legisladores entenderam que deveria ser aplicado, entre outros, o seguinte critério que afecta directamente os recursos hidrogeológicos:

- As águas subterrâneas que contenham ou possam conter mais do que 50 mg/L de nitratos (critério b).

Na aplicação dos critérios, no qual se inclui aquele que está mais ligado à componente hidrogeológica, deverá igualmente atender-se:

- Às características físicas e ambientais das águas e dos solos;
- Aos conhecimentos disponíveis quanto ao comportamento dos compostos de azoto no ambiente (águas e solos);

- Aos conhecimentos disponíveis acerca do impacto das acções empreendidas no âmbito da aplicação dos Programas de Acção.

Com esta elevada preocupação foi criada através da Portaria n.º 1037/97, de 1 de Outubro, a denominada Zona Vulnerável n.º 1 (ZV1), a qual é constituída pela área de protecção do aquífero livre entre Esposende e Vila do Conde. A Portaria n.º 546/98, de 18 de Agosto determina o Programa de Acção para esta zona, no qual se limita as épocas de aplicação de produtos azotados, determina as quantidades máximas de azoto, refere a necessidade de executar planos e balanços de fertilização e prevê um plano de monitorização. Durante a execução deste Programa, constatou-se que as medidas impostas eram insuficientes ou careciam de clarificação e daí a aprovação de um novo Programa de Acção, através da Portaria n.º 556/2003, de 12 de Julho.

A Zona Vulnerável n.º 1 foi recentemente alargada (Portaria n.º 833/2005 de 16 de Setembro), estando actualmente circunscrita pelo limite das freguesias de Antas, Forjães, Vila Chã, Curvos, Vila Cova, Perelhal, Fornelos, Gilmonte, Milhazes, Vilar de Figos, Paradela, Cristelo, Barqueiros, Estela, Navais, Aver-o-Mar, seguindo pela IC 1 até ao limite da freguesia de Argivai até ao IC 1 para Sul até ao limite da freguesia de Touguinha, seguindo pela freguesia de Vila do Conde e a orla costeira até à freguesia de Antas. Assim resulta que toda a área do PNLN integra a totalidade deste instrumento legislativo e de ordenamento do território.

Bibliografia

- ALLER, L.; BENNET, T.; LEHR, J. H. & PETTY, R. J., (1987), DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings, U.S. EPA Report 600/2-85/018
- ALMEIDA, C.; MENDONÇA, J. J. L.; JESUS, M. R. & GOMES, A. J. (2000), Sistemas aquíferos de Portugal Continental. Centro de Geologia da Fac. Ciências Univ. Lisboa, Instituto da Água, vol. III.
- CABRAL, J., (1995), Neotectónica em Portugal Continental, Memórias do Instituto Geológico e Mineiro, Memória 31, Lisboa, 265 pp.
- CABRAL, J. & RIBEIRO, A., (1988), Carta Neotectónica de Portugal Continental, Escala 1:1000000. Lisboa, Serviços Geológicos de Portugal, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa - Departamento de Geologia, Gabinete de Protecção e Segurança Nuclear, pp. 10.
- CEE, (1980), Comunidade Económica Europeia, Council directive of 15 July 1980, relating to the quality of water intended for human consumption (80/778/EEC), Official Journal of the European Communities, Vol 23, n.º L229/11-29 (30.8.80)
- CCE, (1991), Comunidade Europeia, Council directive of 19 December 1991 on the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources (91/676/EC). Official Journal of the European Communities vol. 34, n.º L375/3

- CHAMBEL, A., DUQUE, J., MATOSO, A. & ORLANDO, M. (2006), Hidrogeologia de Portugal continental, Boletín Geológico y Minero, Vol. 117 (1), pp. 163-185
- DIAMANTINO, C. M., (1996) – Intrusão salina: Caracterização na Faixa Costeira de Portugal Continental e Aplicação de um modelo Matemático a uma Região a Norte de Sines. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Informação Científica Hidráulica ICTINCH 6, 143 pp.
- EPPNA (1998), Informação Cartográfica dos Planos de Bacia - Sistematização das Figuras e Cartas a Imprimir em Papel, Equipa de Projecto do Plano Nacional da Água, versão de Outubro de 1998, 29 pp.
- INAG, (1997), Definição, caracterização e cartografia dos sistemas aquíferos de Portugal Continental, Instituto da Água, Lisboa: 236 pp.
- INAG, (2007), Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos – SNIRH, www.inag.pt
- INAG, (1997), Definição, Caracterização e Cartografia dos Sistemas Aquíferos de Portugal Continental. Instituto da Água, Direcção de Serviços de Recursos Hídricos, Divisão de Recursos Subterrâneos. Estudo Coordenado pelo Prof. C. A. Costa Almeida, Faculdade de Ciências de Lisboa para o Instituto da Água, 236 pp.
- KRUSEMAN, G. P. & RIDDER, N. A., (1990), Analysis and evaluation of pumping tests data, 2ª Ed., Pub. 47, International Institute for Land Reclamation and Improvement
- LANGMUIR, D., (1997), Aqueous environmental geochemistry, Prentice-Hall Inc., New Jersey: 600 pp.
- LNEC, (1997), Cartografia automática da vulnerabilidade de aquíferos com base na aplicação do método DRASTIC, Relatório 60/97-GIAS, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 273 pp.
- PBHRC, (1999), Plano de Bacia hidrográfica do Rio Cávado – Volume III - Análise, Parte 1, 74 pp.
- LOBO-FERREIRA, J. P. & CABRAL, M., (1991), Proposals for an Operational Definition of Vulnerability for the European Community's Atlas of Groundwater Resources, in the framework of the Meeting of the European Institute for Water, Groundwater Work Group, Brussels.
- LOBO-FERREIRA, J. P. & OLIVEIRA, M. M., (1993), Desenvolvimento de um inventário das águas subterrâneas de Portugal – Caracterização dos recursos hídricos subterrâneos e mapeamento DRASTIC da vulnerabilidade dos aquíferos de Portugal. Lisboa, LNEC, Relatório 179/93 – GIAS
- OLIVEIRA, & LOBO-FERREIRA, J.P., (2003), Análise de sensibilidade da aplicação de métodos indexados de avaliação da vulnerabilidade à poluição de águas subterrâneas, Jornadas Luso-espanholas sobre águas subterrâneas no Sul da Península Ibérica, 10 pp.
- RIBEIRO, L., (2005), Um novo índice de vulnerabilidade específico de aquíferos – formulação e aplicações, Publicações do VII Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa (SILUSBA). Évora, 30 de Maio a 2 de Junho de 2005, 15 pp.

PLANO DE ORDENAMENTO E GESTÃO DO PARQUE NATURAL DO LITORAL NORTE
FASE 1 – PARTE I: DESCRIÇÃO – VOLUME II: CARACTERIZAÇÃO FÍSICA – JULHO 2007

RIBEIRO, A., ANTUNES, M. T., FERREIRA, M. P., ROCHA, P. B., SOARES, A. F., ZBYSZEWSKI, G., ALMEIDA, F., MOITINHO DE; CARVALHO, D. & MONTEIRO, J. H., (1979) Introduction à la Géologie Générale du Portugal. Serv. Geol. Portugal, Lisboa, 114 pp.

3. DINÂMICA COSTEIRA

3.1. INTRODUÇÃO

Em Portugal, desde há algumas décadas que se tem vindo a assistir à degradação sistemática de um valioso recurso natural que é finito e em grande parte não renovável à escala temporal humana: o litoral.

A linha de costa, mesmo quando aparenta estar em equilíbrio, está sujeita a um fenómeno dinâmico. Grandes quantidades de areia encontram-se em movimento, quer por acção da capacidade de transporte das correntes longitudinais (transporte litoral), quer devido à acção directa da ondulação que provoca alterações no perfil da praia. Mesmo em casos de equilíbrio dinâmico, em que a quantidade de areia que entra num troço num determinado intervalo de tempo é igual à quantidade de areia que sai nesse mesmo período, é normal verificarem-se oscilações do perfil de praia, tanto transversalmente como longitudinalmente, relacionadas com a variação do clima de agitação ao longo do ano - altura e direcção da onda -, mas sem que haja alteração da quantidade de areia nesse troço.

O processo erosivo é provocado por um rompimento do equilíbrio dinâmico longitudinal da orla costeira, que se deve, fundamentalmente, a quatro factores principais: elevação do nível do mar, alteração da quantidade de sedimentos fornecidos ao litoral, degradação antropogénica das estruturas naturais e obras de engenharia costeira. Se o primeiro não tem (ainda) efeitos notórios, os outros três revestem-se de alguma importância.

A alteração da quantidade de sedimentos fornecidos ao litoral deve-se sobretudo às actividades humanas localizadas quer no interior quer nas zonas ribeirinhas e que se traduziram:

- até meados do milénio passado, em deposição de sedimentos provocados essencialmente pelo desaparecimento da floresta (incêndios e início de uma agricultura mais intensiva) e que deram origem a grande parte dos cordões dunares existentes no litoral português e à formação da ria de Aveiro;
- depois, ao abrandamento e à redução exponencial desses sedimentos provocada por actividades que, se imprescindíveis para o desenvolvimento económico do país - florestações, aproveitamentos hidroeléctricos e hidroagrícolas, obras de regularização dos cursos de água, explorações de inertes nos rios, estuários, dunas e praias, dragagens, obras portuárias e de protecção costeira -, se desenvolvem sistematicamente sem serem avaliados quais os seus impactes no litoral (por exemplo, os aproveitamentos hidroeléctricos e hidroagrícolas das bacias hidrográficas que desaguam em Portugal, são responsáveis pela retenção

de mais de 80% dos volumes de areias que eram transportadas pelos rios antes da construção desses aproveitamentos).

A destruição das defesas naturais do litoral é devida principalmente:

- ao pisoteio das dunas que, destruindo, o coberto vegetal, facilita o transporte das areias por acção do mar e do vento;
- à construção de caminhos e edifícios no topo das arribas e na crista do cordão dunar que impedem directa ou indirectamente o seu equilíbrio dinâmico, fixando ou obrigando a fixar um perfil que deveria ser flexível e, muitas vezes, com obras de protecção cujos custos directos e indirectos são, em grande parte dos casos, superiores aos dos bens a proteger;
- ao aumento da escorrência devida às regas e a drenagens insuficientes que intensificam o ravinamento, mesmo de falésias; e,
- às extracções de areias, em terra ou no mar que não só retiram sedimentos do trânsito litoral como contribuem muitas vezes para a instabilidade do equilíbrio dinâmico.

Por último, as obras de engenharia costeira, quer sejam molhes exteriores e dragagens portuárias, quer obras de protecção do litoral construídas ao longo da costa, incluindo esporões e defesas frontais, aderentes ou não-aderentes:

- construídas para proteger propriedade pública ou privada e que, ao limitarem o recuo da linha de costa em determinado troço, retém os sedimentos necessários aos troços a sotamar;
- têm sucesso variável, dependendo essencialmente da qualidade do projecto e da construção, do tipo de costa, do clima de agitação marítima, das características da deriva litoral, da quantidade de sedimentos transportados por essa deriva, da frequência dos temporais e do período de recorrência das grandes tempestades.

O Litoral de Esposende, como veremos em seguida, está sujeito à influência de todos estes factores.

3.2. O LITORAL DE ESPOSENDE

3.2.1. GEOMORFOLOGIA

O litoral de Esposende apresenta uma costa baixa e arenosa, com uma ampla plataforma litoral, cujo modelado original foi em grande parte modificado pela actividade humana, associada à ocupação urbana e agrícola, subsistindo apenas nalguns sectores a morfologia natural, correspondente a sistemas de dunas interiores de pequena altura e amplitude, mais ou menos preservados quando ocupados por pinhais.

A faixa litoral é delimitada, em grande parte da sua extensão por um cordão dunar proeminente, cuja formação e evolução permitem distinguir um sistema de dunas mais recentes e outro de dunas mais antigas. O primeiro sistema de dunas é possante essencialmente a Sul do rio Neiva, apesar de recortado por pequenas ribeiras, tornando-se descontínuo à medida que se encaminha para o estuário do Cávado, enquanto que o maciço de dunas mais antigo é bem desenvolvido em toda a frente marinha e para o interior da costa, desde a restinga do Cávado até à Apúlia.

Este sistema de dunas corresponde a uma acumulação de material arenoso quer por acção marítima como por acção eólica que é fundamental para o equilíbrio da posição da linha de costa: constitui simultaneamente uma barreira ao avanço do mar e uma “fonte” de abastecimento de material para o processo de transporte ao longo da costa.

O troço do litoral a Norte da cidade de Esposende inclui uma faixa de praia, delimitada por uma área de vegetação rasteira e arbustiva associada ao cordão dunar, mais larga entre a Barca e Rêgo do Cunha e estreitando para Sul até Esposende. Para o interior do cordão dunar, localiza-se uma área agrícola que, entre a Barca e Rêgo do Cunha se apresenta cortada por pequenas manchas de área florestal e para Sul, e até Barrelas, é interrompida pelos núcleos edificados de Rêgos, Mar e Lugar de Baixo.

Fotografia 3-1 - Regos - Praia, duna e área agrícola



(Ago 1995)

A partir de Cepães, a mancha da área edificada vai-se sucessivamente tornando mais densa ocupando o espaço inicialmente usado como área agrícola e florestal, terminando junto ao rio Cávado, na cidade de Esposende.

A embocadura do rio Cávado está ancorada a Norte por um molhe, e a Sul por uma restinga arenosa que separa o rio do mar e que está enraizada em Ofir. Esta língua

de areia além de possuir um elevado valor ecológico, constitui um elemento fundamental de protecção da frente urbana de Esposende.

O crescimento de Sul para Norte da restinga demonstra uma inversão localizada do transporte sólido litoral, vulgar junto às embocaduras da costa oeste portuguesa, e que pode ser explicada pela interacção entre as correntes e a propagação da agitação (fenómenos locais de refacção e de difracção). O local onde se inicia a inversão do sentido do transporte é variável e potencialmente débil do ponto de vista aluvionar. No entanto, em termos globais, a resultante do transporte sólido continua a ser no sentido Norte-Sul.

No sector terminal do rio Cávado desenvolve-se uma zona de estuário caracterizada pela acumulação de materiais finos, essencialmente lodosos, sendo os elementos dominantes a zona húmida em ambas as margens e a restinga arenosa a Sul.

Todo o troço a Sul do rio Cávado é dominado pela língua de areia da área de praia, rematada do lado de terra por um cordão dunar que ainda mantém alguma robustez, apesar de parcialmente cortado pela áreas de edificado de Ofir, Sr^a da Bonança, Pedrinhas, Cedobém e Apúlia e limitado interiormente, entre a flecha da restinga do Cávado e Pedrinhas, por uma vasta área florestal e a Sul de Pedrinhas por áreas agrícolas, designadamente “campos de masseira”.

Fotografia 3-2 - Ofir/Sr^a da Bonança - Praia, cordão dunar, área florestal



(Ago 1995)

Na orla marítima, afloramentos de quartzitos orientados na direcção NW-SE, formam verdadeiros esporões naturais, que ocorrem na praia submarina e emersa, e vêm favorecer a estabilidade da linha de costa, uma vez que dissipam uma parte da energia das ondas e contribuem para alguma retenção dos sedimentos ao impedir a sua remobilização pela deriva natural.

Estes afloramentos rochosos localizam-se sobretudo entre Fão e Apúlia, sendo de salientar, pela sua notoriedade e interesse geológico, os rochedos que a Sul da embocadura do rio Cávado recebem a denominação de Cavalos de Fão.

Fotografia 3-3 - Cedobém - Afloramentos rochosos

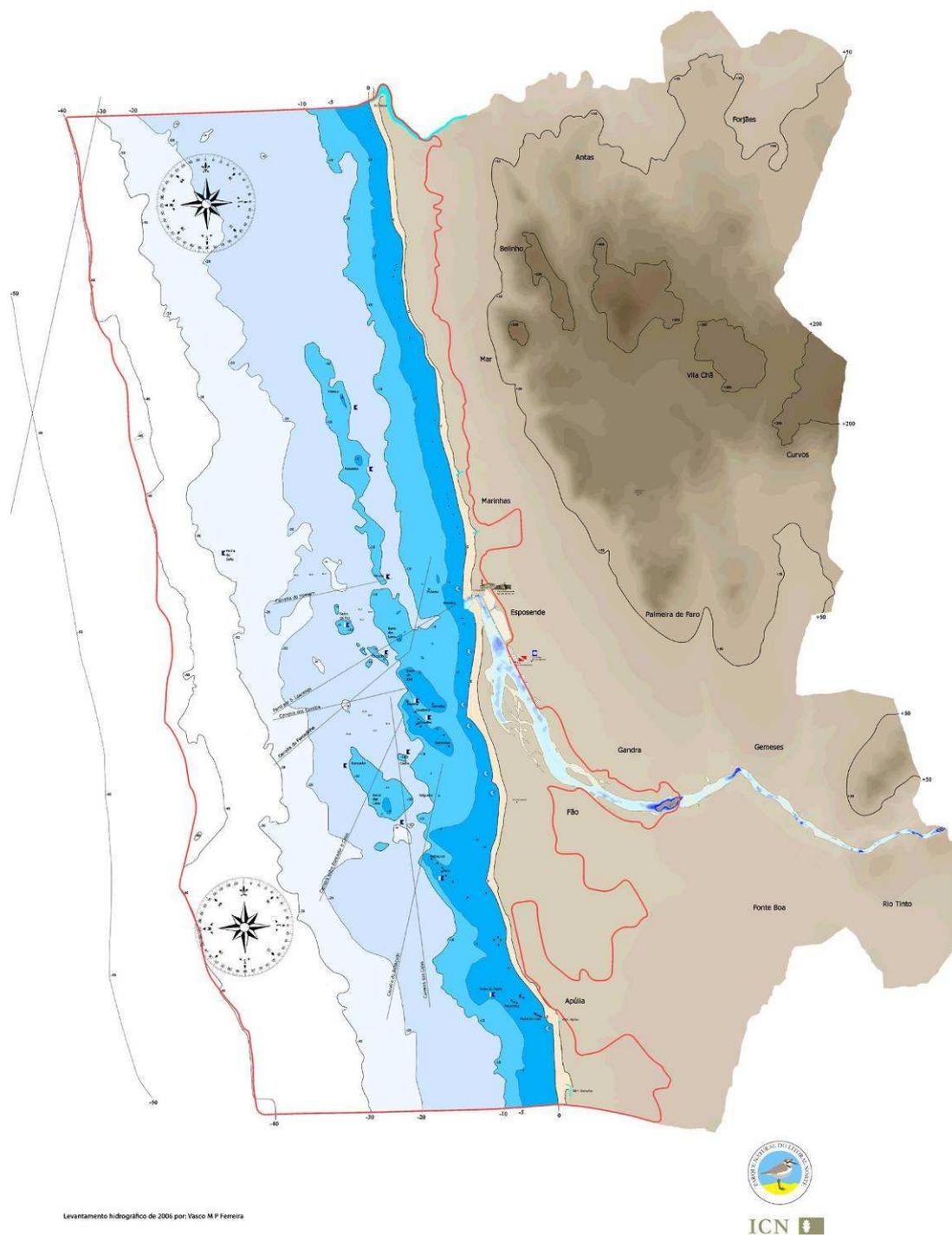


(Mar 2007)

A batimetria do litoral de Esposende é claramente influenciada por esses afloramentos, que dão origem a uma larga bancada entre as cotas -5 e -10 ZH; na faixa entre Ofir e Pedrinhas, a batimétrica do -5 ZH chega a afastar-se 800 metros da linha de costa.

Na faixa mais próxima da costa é evidente a influência das diversas obras de engenharia costeira, designadamente do molhe Norte do Cávado e esporões de Ofir, Pedrinhas e Apúlia, quase não se notando efeitos de deposição na barra exterior do Cávado.

Figura 3-1 - Batimetria no Parque Natural do Litoral Norte, Agosto de 2002



Fonte: Parque Natural do Litoral Norte

3.2.2. AGITAÇÃO MARÍTIMA

Os registos de agitação marítima que permitem caracterizar a direcção, altura e período médios das ondas na costa oeste portuguesa, foram obtidos a partir de

ondógrafos posicionados em Leixões e Figueira da Foz, ao abrigo do programa NATO PO-WAVES.

A agitação marítima na costa Oeste caracteriza-se pela ocorrência de ondas com rumos provenientes de Oeste e Norte, sendo Noroeste o rumo dominante, com mais de 70% dos registos. Em períodos de maior agitação, a ondulação do quadrante Sudoeste é também significativa.

Das observações em Leixões conclui-se que o escalão de alturas mais frequente é o de 1 a 2 m (40%), seguindo-se o de 2 m a 3 m; as alturas superiores a 5 m têm uma pequena frequência (2%) mas são responsáveis pelas maiores interações com as praias e dunas de que resultam frequentemente intensas alterações das mesmas (galgamentos, erosões). Os períodos de pico de 12 a 14 s têm maior frequência (33,5%) seguidos pelos períodos de 10 a 12 s (26%), surgindo os períodos superiores a 15 s, associados a grandes tempestades e às maiores alturas de ondas, com frequências de 8%.

As distribuições de rumos revelam que não se verificam diferenças significativas para os meses de Inverno e de Verão, o que não acontece relativamente às distribuições de alturas, onde é perceptível uma diferença relevante entre os meses de Inverno e de Verão.

3.3. A DINÂMICA DO LITORAL DE ESPOSENDE

3.3.1. SITUAÇÃO ACTUAL

3.3.1.1. Enquadramento

A degradação da costa NW de Portugal é uma realidade, podendo mesmo dizer-se que, salvo algumas excepções, está em erosão. Mesmo na maior parte das zonas aparentemente estáveis, como sejam praias encaixadas ou protegidas por afloramentos rochosos, se lhes for fornecida mais areia rapidamente o processo de dinâmica litoral se encarregará de a transportar, retornando à situação inicial.

No troço em estudo, a caracterização geomorfológica vem corroborar esta ideia. De facto constata-se que a degradação do cordão dunar litoral tem vindo a reduzir as acções de barreira e alimentação que desempenha, originando-se assim um processo de rotura que resulta numa alteração da morfologia litoral com o emagrecimento de praias ou a sua extinção, dando lugar à ocorrência de afloramentos rochosos por vezes com extensão e largura apreciáveis.

Com a redução e degradação do cordão dunar a frequência de afloramentos rochosos tende a aumentar como consequência do avanço do mar e da sua maior

ação erosiva, em consequência da falta de material de abastecimento e da redução da barreira.

A determinação do regime litoral neste troço de costa não é passível de ser traduzida em valores de volumes aluvionares por, em primeiro lugar não ser conhecido o caudal sólido nas secções de barlar e sotamar, nem a dimensão das fontes aluvionares, e, em segundo lugar por não haver séries cronológicas de coberturas topo-hidrográficas que permitam estabelecer comparações.

Assim, apenas se poderá proceder a uma descrição qualitativa, da dinâmica do litoral de Esposende.

Ao longo do litoral oeste de Portugal, o caminhamento litoral tem um saldo médio anual com resultante para Sul. Esse facto é amplamente demonstrado pelo "emagrecimento" das praias a Sul das obras exteriores de Viana do Castelo e, sobretudo pela observação da influência da implantação de esporões perpendiculares à costa.

Este caminhamento litoral tem sido alimentado, fundamentalmente, pelas areias lançadas no litoral pelos rios Minho, Lima e Cávado e, com menor importância, pelo rio Neiva.

Tabela 3-1 - Presumíveis volumes de materiais transportados pelos principais rios a Norte de Esposende (10^3 m³/ano)

| Rios | Sedimentos totais (10^3 m³ / ano) | Sedimentos totais junto ao fundo (10^3 m³/ano) | Sedimentos totais em suspensão (10^3 m³/ano) |
|-------------|--|---|---|
| Minho | 988,1 | 122,2 | 865,9 |
| Lima | 63,4 | 6,5 | 56,9 |
| Neiva | 3,5 | | |
| Cávado | 83,2 | 8,5 | 74,7 |

Fonte: Hidrotécnica Portuguesa - Estudo dos Problemas Aluvionares entre o Rio Minho e Leixões

Tal como já referido, a destruição da floresta que cobria a Península Ibérica associada à intensificação da agricultura, há alguns séculos atrás, e a erosão dos solos provocada pela diminuição de coberto vegetal aumentaram extraordinariamente a importância das fontes aluvionares provocando o enchimento dos estuários e lagunas - origem da ria de Aveiro -, e um alargamento das praias. A recuperação da cobertura vegetal e a utilização de novas práticas de cultivo, começaram gradualmente a baixar a erodibilidade média das bacias e, por

consequência, a reduzir o caudal aluvionar transportado pelos rios que alimentava a capacidade de transporte do clima de agitação.

Este fenómeno foi drasticamente agravado com a construção de aproveitamentos hidroeléctricos - os rios Minho, Lima e Cávado apresentam grande parte das suas bacias dominadas por aproveitamentos desse tipo - e com a intensificação da extracção de areias dos leitos dos cursos de água e da faixa litoral.

Não existe praticamente transporte litoral proveniente da costa a Norte da foz do rio Minho.

As obras exteriores do porto de Viana do Castelo (incluindo o canal de acesso) funcionam também como barreira ao transporte aluvionar: a bacia portuária do porto de Viana do Castelo funciona como decantador dos aluviões transportados pelo rio Lima, de onde são retirados por dragagem; o caudal sólido proveniente da costa a Norte é interceptado pelo molhe Norte e/ou pelo canal de acesso ao porto de onde é também removido por dragagem: praticamente não existe qualquer fornecimento aluvionar ao troço para Sul; para além disso, os molhes do porto de Viana e a embocadura do rio Lima induzem a Sul, por difracção, correntes de Sul para Norte que tendem a alimentar o Cabedelo à custa da zona costeira a Norte da foz da ribeira de Anha.

A supressão da fonte aluvionar, constituída pelos rios Minho e Lima é compensada pela erosão dos depósitos aluvionares mais antigos (como o atestam as erosões registadas na zona de Rodanho/Amorosa, Pedra Alta e Foz do Neiva), até que ocorra ou o esgotamento desses depósitos, ou o realinhamento da costa arenosa para uma nova posição de equilíbrio.

No entanto, até esta fonte de abastecimento aluvionar veio a ser reduzida pelas obras de protecção da povoação de Pedra Alta - campo de esporões e defesa frontal - que contribuíram para agravar as erosões em zonas consideradas estáveis há alguns anos atrás - Foz do Neiva e praias a Sul - e praticamente interrompida pelo quebra-mar recentemente construído (2001) para melhorar o acesso marítimo ao núcleo piscatório de Pedra Alta, previsto como quebra-mar destacado mas ao qual não foi retirado o "caminho de acesso".

Figura 3-2 - Quebra-mar “destacado” de Pedra Alta, vendo-se a acumulação de areia induzida pelo “caminho de acesso”



(Foto GoogleEarth)

3.3.1.2. O troço em análise

No litoral de Esposende é bem notória a regressão acentuada da linha de costa, sendo bem visíveis as dunas com perfil em arriba, devido ao avanço do mar sobre a terra e ao desgaste provocado pela acção mecânica das ondas e, verificando-se, no troço a Norte do Cávado e na restinga de Ofir, locais onde ocorrem frequentes galgamentos oceânicos.

Fotografia 3-4 - Falésia de erosão nas dunas do Belinho



(Mar 2007)

Também os fortes ventos do quadrante Norte, intensos e frequentes no Verão, são poderosos agentes de erosão/evolução dos sistemas dunares, sendo responsáveis por uma multiplicidade de corredores eólicos bem marcados, transversais e

longitudinais, bem como pela deflacção de areias para a alta praia e, posteriormente, pela sua movimentação nas dunas activas.

A estreita faixa de praia do litoral de Esposende é permanentemente actuada pela ondulação e sujeita a fenómenos erosivos de grande intensidade, ocorrendo um progressivo emagrecimento das praias as quais permanecem com uma cobertura arenosa pouco espessa e de onde sobressaem diversos afloramentos rochosos.

A alimentação das praias tem origem essencialmente nos materiais transportados pelos cursos de água e na erosão das dunas, apresentando em geral sedimentos quartzosos finos que junto à embocadura dos rios, ribeiras e na faixa entre-marés se combinam com material de dimensão granulométrica de seixo.

As praias entre o Neiva e o Cávado na sua maioria manifestam um carácter reflectivo dominante, apresentando a face da praia abrupta, enquanto que desde a Foz do rio Cávado até à Apúlia as praias possuem características mais dissipativas que se reflectem nas regueiras nos períodos de baixa mar.

A Sul da foz do Neiva a praia delimitada na base por uma bancada rochosa que se estende até Mar, tem vindo a sofrer um progressivo processo de emagrecimento, sendo cada vez mais notórias as bancadas de seixo.

O cordão dunar apresenta-se com alguma robustez: as dunas, bem desenvolvidas em planta e em altura e razoavelmente protegidas por vegetação rasteira, são no entanto intercaladas por algumas aberturas provocadas por pequenos cursos de água que têm favorecido a erosão dunar e mesmo o alagamento pelo mar dos terrenos agrícolas interiores.

A maioria destes cursos de água tem um regime muito irregular, o que favorece a colmatação cíclica das embocaduras e a sua divagação, o que provoca frequentemente a erosão da duna pelo interior: com a colmatação da embocadura o leito da ribeira instala-se nos espaços interdunares explorando e aprofundando as zonas mais frágeis da duna – corredores eólicos e provocados pelo pisoteio ou por anteriores galgamentos.

Entre Mar e a foz do Cávado a praia é arenosa, continuando a surgir, embora a menor escala afloramentos rochosos na base do areal. Na zona de Cepães torna a surgir o cordão dunar que se estende até Esposende, tendo sido promovidas algumas acções de estabilização como seja a colocação de paliçadas para retenção de areias. Neste troço são evidentes os problemas de erosão, sobretudo derivados da existência do aglomerado de Mar cujas construções sobre a crista da duna levaram à colocação de enrocamentos de protecção e ao conseqüente agravamento

da erosão a Sul. Em 2005 registou-se mesmo o galgamento do cordão dunar em Rio de Moinhos, junto à embocadura do ribeiro do Peralta. O processo erosivo é depois atenuado em direcção a Esposende devido à influência do esporão Norte do rio Cávado.

A Sul do Cávado surgem alguns dos problemas mais complexos deste troço de costa, sobretudo na zona de Ofir, limitada a Sul pela crista rochosa da Apúlia e a Norte pelo tómbolo induzido pelos Cavalos de Fão.

Em primeiro lugar refira-se a restinga de Ofir, que limita por Sul a embocadura do rio Cávado e que apresenta alguma fragilidade, resultado do avanço para Sul do processo erosivo e por outras razões antropogénicas e naturais (redução do transporte sólido fluvial, extração de areias, subida generalizada do nível médio das águas do mar, variabilidade da morfologia devido a acções extremas do mar). Em 1992, veio mesmo a ocorrer o rompimento da restinga, passando o estuário a ter duas barras. Desde essa altura a alimentação da restinga com produtos das dragagens no interior do estuário do Cávado, têm contribuído para o seu robustecimento. Em 2005 tornou a verificar-se o rompimento da restinga, numa faixa de cerca de 200 m, tendo-se procedido em 2006 a nova alimentação.

A Sul da restinga, e até à zona das Pedrinhas, a costa arenosa encontra-se em erosão tendo sido necessário proceder-se à execução de diversas obras de protecção, mais ou menos bem sucedidas.

O esporão curvilíneo na zona da restinga tem induzido acumulação a Norte e alguma a Sul, contribuindo para defender as moradias aí existentes, já protegidas por uma defesa frontal e paliçada. Numa faixa localizada a acumulação de areia na alta praia permitiu o crescimento da duna frontal, crescimento que chega a atingir duas a três dezenas de metros.

A frente-mar de Ofir apesar de protegida pelo esporão curvilíneo na zona da restinga e por outro esporão imediatamente a Sul do Hotel de Ofir, que têm conferido alguma estabilidade a este troço de costa, embora pontualmente se registem zonas de erosão. No entanto a faixa edificada neste local encontra-se demasiado próxima do mar para que sejam evitados fenómenos de enxovalhamento e galgamento e mesmo de risco de erosão, perante uma eventual sucessão de temporais de Sudoeste.

Fotografia 3-5 - Ofir - frente-mar



(Ago 1995)

A Sul do esporão que protege o hotel e as torres de apartamentos verifica-se novamente erosão, que coloca em risco as moradias existentes, atenuada em seguida pelo esporão das Pedrinhas. Este, por induzir fortes erosões a Sul que puseram em risco o aglomerado das Pedrinhas, foi encurtado quase uma centena de metros, tendo-se verificado desde essa altura um acentuar da erosão no troço entre os dois esporões.

A zona a Sul do esporão das Pedrinhas, apresenta uma estabilidade relativa no troço protegido pela obra de defesa aderente ao aglomerado das Pedrinhas, que no entanto vem agravar o processo erosivo a Sul, frente ao aglomerado de Cedobém, e não evita os fenómenos de ensovalhamento e galgamento dos dois aglomerados.

Fotografia 3-6 - Pedrinhas e Cedobém - aglomerados construídos sobre o cordão dunar



(Mar 2007)

Desde Cedobém à Apúlia a areia é retida por bancadas rochosas na base da praia, tendo as obras de fixação da ribeira da Apúlia (rio Calvo) contribuído para alargar a praia desta povoação.

Fotografia 3-7 - Apúlia - Praia e obras de fixação da ribeira



(Ago 1995)

A zona a Sul da Apúlia manifesta desde há vários anos sinais claros de instabilidade, mais severa no trecho adjacente à ribeira da Apúlia mas já bem sensível em todo o trecho até à Aguçadoura.

3.3.2. OBRAS DE DEFESA COSTEIRA

3.3.2.1. Existentes

Refiram-se, neste troço a existência de obras de protecção, destinadas a suster ou controlar o processo erosivo e cuja implantação já tem reflexos nos troços costeiros a Sul:

- Enrocamento de protecção de edificações em Mar (Mar 2007)



PLANO DE ORDENAMENTO E GESTÃO DO PARQUE NATURAL DO LITORAL NORTE
FASE 1 – PARTE I: DESCRIÇÃO – VOLUME II: CARACTERIZAÇÃO FÍSICA – JULHO 2007

- Esporão de fixação da foz do rio Cávado, na margem direita da embocadura (Ago 1995)



- Esporão curvilíneo de fixação da restinga de Ofir e protecção das moradias (Ago 1995)



- Defesa frontal de protecção de moradias na restinga de Ofir (Mar 2007)



- Esporão de protecção ao Hotel de Ofir e torres de apartamentos (Ago 1995)



- Defesa frontal de protecção do Hotel de Ofir (Mar 2007)



- Esporão das Pedrinhas (Ago 1995)



- Defesa frontal das Pedrinhas (Mar 2007)



- Esporões de fixação da foz do rio Calvo na Apúlia (Ago 1995)



Os esporões inicialmente interceptam parcialmente o transporte longitudinal que se verifica de Norte para Sul, reflectindo-se na acumulação a Norte do esporão e erosão a Sul. Uma vez que parte do material aluvionar é retido a Norte, a acumulação de areias no esporão seguinte é conseguida com a erosão dos maciços dunares a Sul dos esporões.

Após a estabilização do enchimento, por acumulação de areias na praia a Norte (barlamar) dos esporões, o transporte para Sul deixa de ser significativamente afectado por estes e os processos erosivos podem continuar havendo défice entre a capacidade de transporte pelas ondas e a chegada de sedimentos para substituição dos que foram "arrastados".

Para além destas obras de defesa costeira de grande envergadura existem outras intervenções neste troço de litoral de tipo mais "ligeiro" que têm como objectivo retardar o processo erosivo e proteger estruturas naturais de elevada sensibilidade como as dunas.

São exemplo de intervenções mecânicas as paliçadas e a recomposição dos maciços dunares, que não substituindo a função dos esporões ou das obras aderentes, possuem uma reduzida complexidade e implicam investimentos e impactes ambientais reduzidos. Porém, face à intensidade dos processos erosivos, por si só estas intervenções em muitos casos são manifestamente insuficientes para fazer face à situação.

Outro exemplo são as intervenções de fixação dos troços terminais das pequenas ribeiras, também com recurso a paliçadas de madeira, destinadas a impedir a divagação das embocaduras e a consequente destruição do cordão dunar adjacente.

- Paliçadas na praia da Ramalha (Mar 2007)



- Fixação de ribeira na zona de Regos, Belinho (Mar 2007)



Refira-se também como intervenção de protecção a deposição de areias na restinga de Ofir, essencial para a salvaguarda da marginal de Esposende e das moradias localizadas na restinga, que tem sido realizada, por um lado, devido à necessidade de encontrar um destino final para os sedimentos dragados no interior do estuário, e por outro lado, devido à necessidade de se robustecer o cordão dunar. Estas intervenções tiveram lugar no início de 1994 (ICN) depois de se ter verificado o rompimento da restinga, no final de 2001, uma intervenção de menor envergadura (ICN/Instituto Portuário do Norte) e no final de 2006 (ICN).

- Embocadura do rio Cávado, reforço da restinga



3.3.2.2. Previstas

Para além da manutenção e conservação das obras existentes, com especial destaque para os esporões existentes no troço Cávado/Apúlia, são de referir algumas intervenções que foram previstas no âmbito do POOC Caminha-Espinho e das Obras de Fixação da Embocadura do rio Cávado.

Neste último caso, prevê-se o melhoramento das condições hidráulicas e de navegabilidade da embocadura e canal de acesso do Rio Cávado, desde o passe da barra, através da construção de dois molhes de fixação da embocadura com 120 m (Molhe Norte) e 300 m (Molhe Sul) e da dragagem de um canal, com 80 a 100 m de largura, à cota - 1 ZH..

Para a Apúlia está prevista a reconstrução do muro marginal de remate à zona urbana, devendo a solução a utilizar prever a dissipação da energia da onda por forma a evitar fenómenos localizados de erosão, bem como a reposição de areia na praia adjacente.

Ainda na Apúlia está prevista a reparação do molhe Norte da embocadura do rio Calvo, associada a uma ligeira redução do seu comprimento inicial, uma vez que a praia da Apúlia se apresenta com um desenvolvimento considerável.



Esporões da foz do rio Calvo na praia de Apúlia (Mar 2007)

Para a globalidade do troço, com especial destaque para os troços Dunas de Belinho/Cepães e Pedrinhas/Cedobém/Apúlia, são preconizadas no POOC Caminha-Espinho intervenções de protecção dunar, recomendando-se a recomposição da duna, eventualmente com recurso a produtos das dragagens de manutenção do Porto de Viana do Castelo.

3.4. CONCLUSÕES

Pode concluir-se que o troço litoral de Esposende se encontra num processo de erosão contínuo, sendo frequentes os fenómenos de recuo muito acentuado das praias e dunas e os episódios de galgamento durante os temporais que colocam em risco muitas das ocupações localizadas nesta costa.

A existência de um cordão dunar robusto a Norte do troço em estudo e no troço entre o hotel de Ofir e o aglomerado de Pedrinhas, a existência de bancadas rochosas ao largo frente a Ofir (“cavalos de Fão”) e Apúlia que contribuem para atenuar a dureza do clima de agitação e frente a Cedobém e moinhos de Apúlia que actuam como defesas frontais destacadas provocando o efeito de tómbolo e algumas das obras de defesa costeira existentes, têm permitido manter alguma estabilidade na dinâmica desta faixa de litoral.

As análises efectuadas apresentam um cariz qualitativo, sendo imperativa a quantificação do processo de transporte dinâmico numa perspectiva global. Esta abordagem quantitativa deverá passar pela elaboração de um sistema de monitorização da evolução verificada e pela subsequente avaliação da dinâmica deste troço de costa para cálculo da erosão, transporte e sedimentação.

4. CLIMA

4.1. INTRODUÇÃO

O presente capítulo pretende classificar e caracterizar o clima na área do PNLN. Para tal foi realizada uma análise das variáveis climáticas existentes, bem como uma classificação teórica do mesmo.

A classificação climática utilizada foi a de Thornthwaite, tendo-se consultado a publicação do Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica (INMG), “O clima de Portugal – Fascículo XXIV – Contribuição para o Estudo do Balanço Climatológico de Água no Solo e Classificação Climática de Portugal Continental” (Casimiro Mendes & Bettencourt, 1980), na qual são apresentados os balanços climatológicos de água no solo e as respectivas classificações climáticas para 259 localidades de Portugal com estações climatológicas.

A classificação climática de Thornthwaite tem por base a elaboração de um balanço hidrológico do solo, utilizando os valores de precipitação média ocorrida mensalmente (mm) e os valores de evapotranspiração potencial (mm), a partir do qual se calculam o índice de aridez, o índice de humidade e a eficácia térmica no Verão.

Adicionalmente, apresenta-se a classificação bioclimática de Rivas-Martínez para a área do PNLN. Esta classificação divide, de uma forma genérica, o clima mundial em cinco macrobioclimas (tropical, mediterrânico, temperado, boreal e polar) com base em índices bioclimáticos.

Para o estudo dos elementos climáticos foram utilizados os dados registados nas “Normais Climatológicas da 1.ª Região, Entre Douro e Minho e Beira Litoral - fascículo XLIX, volume 1” (Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, 1990).

Existe apenas uma estação climatológica inserida na área em estudo, a estação de Esposende. Porém, uma vez que não existem normais climatológicas publicadas para esta estação, optou-se por considerar os registos da estação climatológica principal de Viana do Castelo, situada a cerca de 10 km do limite Norte do PNLN. Outra opção seria a estação climatológica principal do Porto (Pedras Rubras), localizada aproximadamente a 27 km do limite Sul da área em estudo.

Há que referir, porém, que as normais climatológicas da estação de Viana do Castelo dizem respeito a dados recolhidos num período de 11 anos, de 1970 a 1980, ficando aquém do período de 30 anos que normalmente se aceita como razoável para

considerar a representabilidade deste tipo de observações, no entanto apenas esses elementos estão disponíveis, para a envolvente da área em estudo.

No capítulo referente à Hidrogeologia são também apresentados alguns descritores climáticos (relativos à estação de Esposende), particularmente a Temperatura do Ar e a Precipitação, no sentido de proceder à determinação da Evapotranspiração Potencial e Real e ao Balanço Hídrico.

4.2. CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA

O clima da região do PNLN é o resultado da sua posição geográfica, da proximidade do Atlântico e da reduzida altitude e relevo suave. Deste modo e em termos globais, a área do PNLN tem um clima de tipo *marítimo, fachada atlântica*.

Segundo a classificação de Thornthwaite, o clima desta área é classificado como:

- húmido, pelo índice hídrico;
- de 1º mesotérmico, pela evapotranspiração potencial anual;
- apresentando défice de água anual nulo ou pequeno, pelo índice de aridez;
- tendo eficácia térmica no Verão nula ou pequena.

Ainda de acordo com a classificação bioclimática de Rivas-Martinéz, o clima do PNLN é classificado como temperado hiperoceânico submediterrânico (no Volume III. No capítulo referente à flora é feito um enquadramento bioclimatológico bem como fitogeográfico e fitossociológico).

4.3. ANÁLISE DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS

4.3.1. TEMPERATURA DO AR

Para o período em análise, a temperatura média anual do ar registada na estação climatológica de Viana do Castelo foi de 14,3 °C. O regime mensal apresenta os valores mais elevados nos meses de Verão, sendo o mês de Julho, em média, o mais quente do ano (20 °C). Por outro lado, os valores mínimos registam-se no período de Inverno. Janeiro é o mês que, em média, regista os valores mais baixos (9,5 °C). A variação anual da temperatura média é de 10,5 °C.

A temperatura máxima média é superior também no mês de Julho, com o valor de 25,6 °C, e as temperaturas mínimas médias registam-se no mês de Janeiro, descendo até aos 5,0 °C.

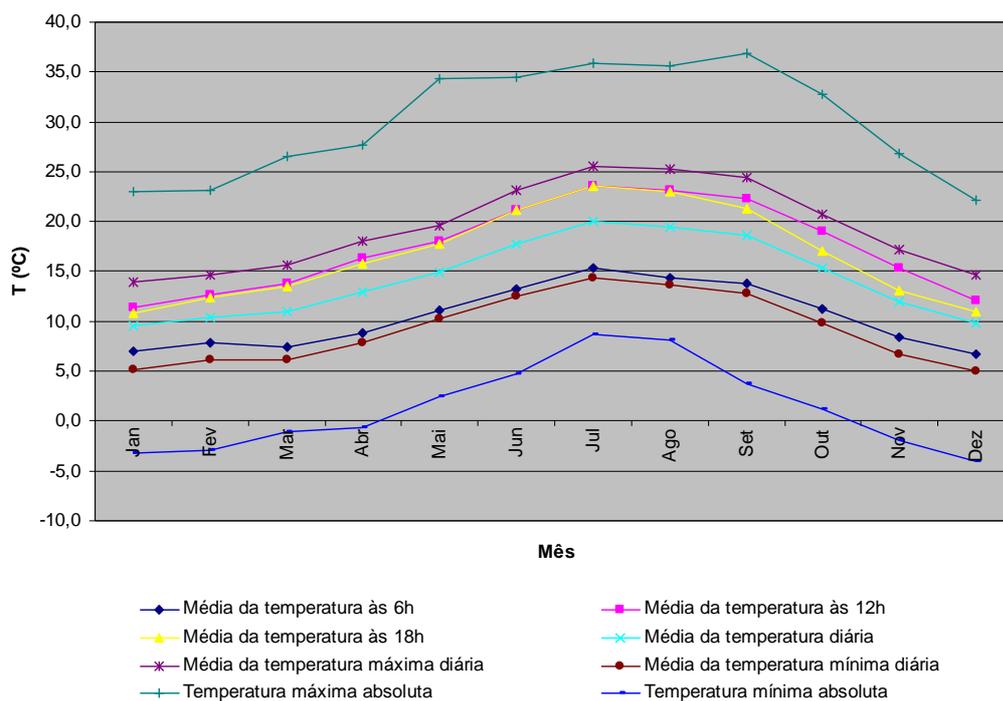
No que concerne aos valores absolutos da temperatura, os valores máximo e mínimo atingidos foram 36,9 °C e -4,0° C, nos meses de Julho e Janeiro, respectivamente.

As temperaturas máximas superiores a 25° C, registadas em média em 61,6 dias por ano, ocorrem com maior frequência nos meses de Julho e Agosto (cerca de 15 dias/mês). As temperaturas negativas ocorrem com maior frequência nos meses de Janeiro e Dezembro (cerca de 5 dias/mês), numa média de 13,1 dias/ano.

Temperaturas mínimas superiores a 20° C (noites tropicais) foram raramente observadas, ocorrendo apenas nos meses de Junho, Julho e Agosto, com uma média máxima de 0,3 dias para o mês de Agosto. A frequência anual de ocorrência de temperaturas mínimas do ar superiores a 20° C é de 0,5 dias.

No Gráfico 4-1 pode consultar-se os registos efectuados para a temperatura do ar na estação climatológica de Viana do Castelo, no período de 1970 a 1980 (únicos dados actualmente disponíveis).

Gráfico 4-1 - Registos da temperatura do ar efectuados na estação climatológica principal de Viana do Castelo, no período de 1970 a 1980



4.3.2. PRECIPITAÇÃO

A análise da variação anual da precipitação média mensal (Gráfico 4-2) permite verificar que existe um máximo no mês de Dezembro (242,4 mm) e um mínimo no mês de Agosto (20,2 mm).

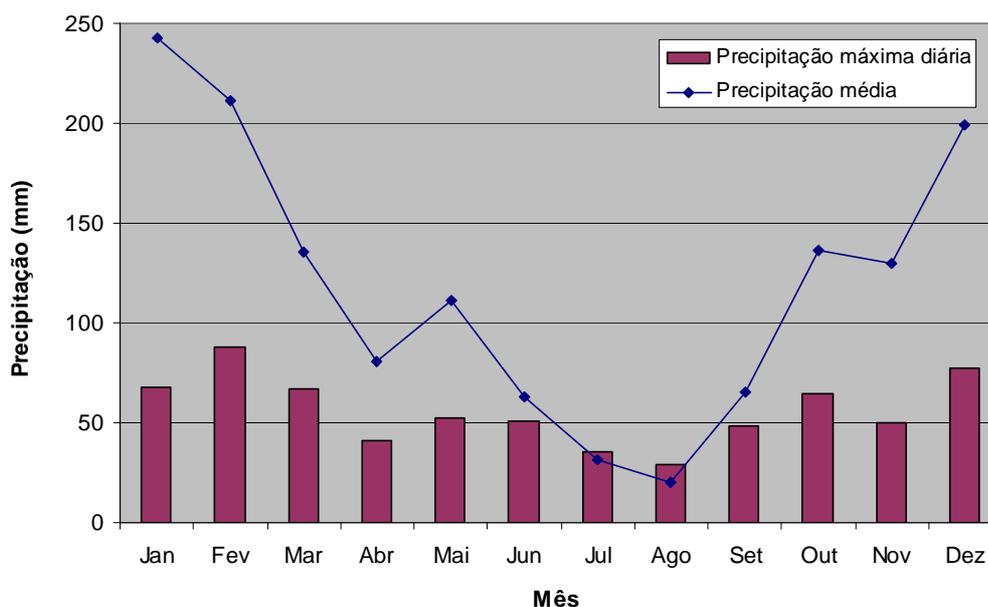
O valor médio de precipitação anual para o período considerado foi de 1427,1 mm.

No que se refere aos quantitativos diários, registou-se um valor máximo no mês de Fevereiro, com 88,3 mm. Por outro lado, Agosto foi o mês com precipitação máxima diária mais baixa com um valor de 28,8 mm.

O número médio de dias por ano com precipitação igual ou superior a 0,1 mm foi de 149,8 dias, com precipitação superior ou igual a 1,0 mm foi de 115,9 dias, e superior ou igual a 10 mm, 53,9 dias.

A precipitação sob a forma de neve não tem praticamente expressão na região, tendo-se registado, em média, em 0,1 dias/ano. A ocorrência de granizo ou saraiva é mais frequente no mês de Janeiro (2,6 dias, em média), totalizando 9,4 dias/ano. As trovoadas são pouco frequentes tendo ocorrido, em média, em 23,4 dias/ano.

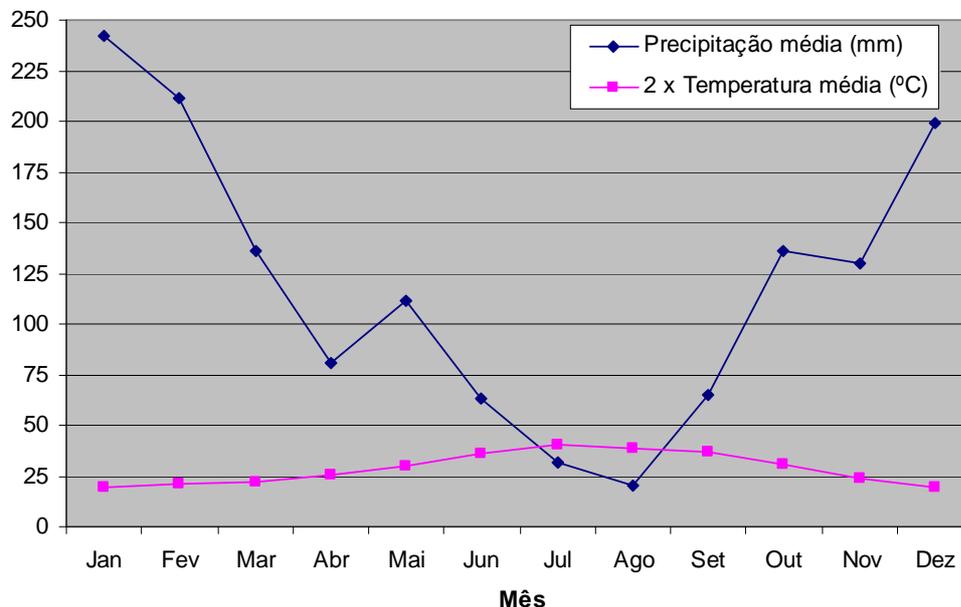
Gráfico 4-2 - Variação da precipitação mensal média ao longo do ano, registada na estação climatológica principal de Viana do Castelo, no período de 1970 a 1980



4.3.3. DIAS SECOS

A análise do gráfico termopluviométrico (Gráfico 4-3) evidencia um curto período biologicamente seco ($P < 2T$) que se estende entre o mês de Julho e o mês de Agosto.

Gráfico 4-3 - Gráfico termopluiométrico para o período 1970-1980 na estação climatológica principal de Viana do Castelo



4.3.4. EVAPORAÇÃO

A evaporação anual média é de 892,5 mm, cerca de 535 mm inferior à precipitação anual média.

Apenas no mês de Agosto se registaram valores de evaporação superiores a 100 mm, com uma média de 106,5 mm. O mês que regista menores valores de evaporação é Janeiro, com 45,8 mm.

4.3.5. VENTO

Para a análise deste descritor, mais uma vez foram utilizados da estação de Viana do Castelo, face à inexistência de dados para a estação de Esposende.

A velocidade média anual do vento registada na estação de Viana do Castelo é 8,5 km/h, sendo o rumo Sul o que regista, em média, a maior velocidade (12,3 km/h) e o rumo Sudeste, a menor (6,9 km/h).

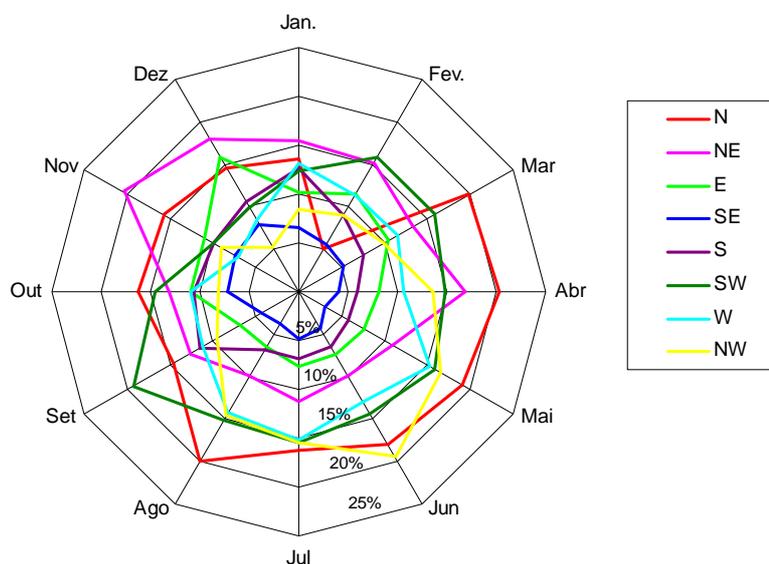
O valor mais elevado de velocidade média mensal do vento corresponde ao rumo Sudoeste, para o mês de Fevereiro (15,7 km/h).

A direcção mais frequente do vento é para Norte, com uma frequência anual média de 17,0%. No Gráfico 4-4 apresenta-se um diagrama dos valores médios de frequência do vento por rumo.

Os períodos de calma têm uma frequência média anual de 7,7 %, ocorrendo principalmente em Agosto (9,2%), Setembro (9,8%), Novembro (9,5%) e Dezembro (9,2%). A frequência de calmas é inferior nos meses de Abril (5,7%) e Maio (5,6%).

De referir ainda que praticamente não ocorrem na região ventos fortes, com velocidade igual ou superior a 36 km/h (apenas em 3,8 dias/ano) ou muito fortes, com velocidade igual ou superior a 55 km/h (apenas 0,1 dias/ano).

Gráfico 4-4 - Frequência (%) de ventos por rumo registados na estação climatológica principal de Viana do Castelo, no período de 1970 a 1980

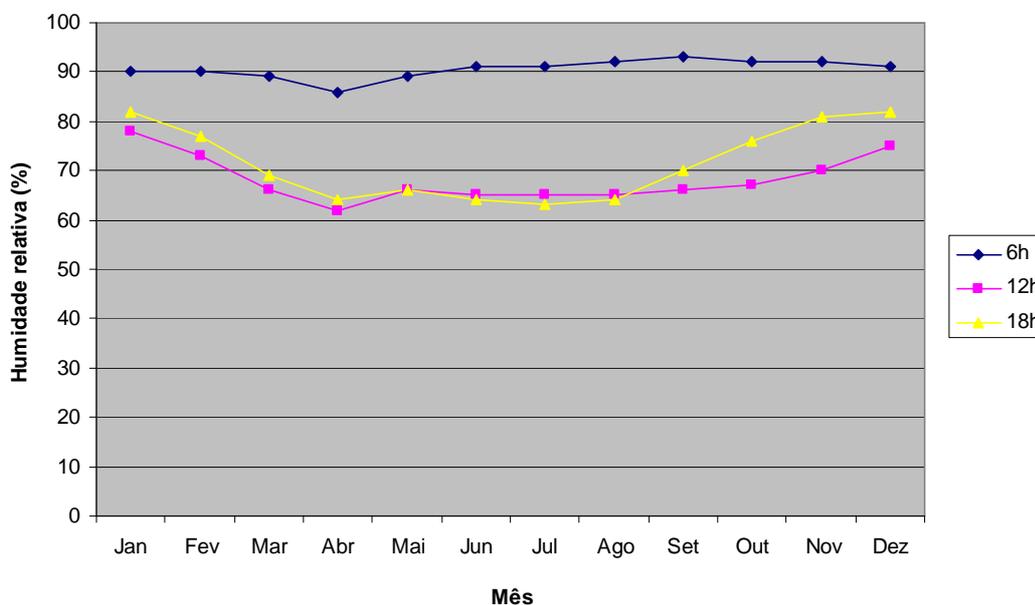


4.3.6. HUMIDADE RELATIVA DO AR

A humidade relativa média anual do ar é 90%, às 6 horas, 68%, às 12 horas e 71% às 18 horas.

De uma forma geral, a humidade relativa do ar é maior nos meses mais chuvosos e com temperaturas mais baixas, isto é no período compreendido entre os meses de Novembro e Fevereiro. Os valores mais reduzidos de humidade relativa do ar registam-se em Abril (Gráfico 4-5).

Gráfico 4-5 – Humidade relativa média registada na estação climatológica principal de Viana do Castelo, no período 1970-1980



4.3.7. NEVOEIRO

A frequência média anual de nevoeiro no concelho é reduzida, ocorrendo em cerca de 51 dias/ano. Os meses que registam maior número de dias de nevoeiro são Dezembro e Janeiro, com valores médios de 10,0 e 8,3, respectivamente. Pelo contrário, os meses de Maio a Agosto são aqueles em que se verifica a menor ocorrência de nevoeiro, com um número médio de dias de nevoeiro mensais entre 1,1 e 1,7.

4.3.8. NEBULOSIDADE

No que concerne ao parâmetro número de dias de nebulosidade igual ou superior a oito (elevada nebulosidade), a região apresenta uma média anual de 101,0 dias, com maior frequência deste elemento climático nos meses de Janeiro (13,4 dias), Fevereiro (12,2 dias) e Dezembro (11,8 dias). Nos meses Julho e Agosto, o número de dias nebulosos é reduzido, 3,6 dias e 4,2 dias, respectivamente.

Quanto ao número de dias com nebulosidade igual ou inferior a 2 (céu limpo), estes ocorrem em média em 119,5 dias/ano, com maior frequência nos meses de Julho (16,2 dias) e Agosto (15,3 dias).

4.3.9. ORVALHO E GEADA

A ocorrência de orvalho é bastante frequente, ocorrendo, em média, em 258,1 dias por ano. Este hidrometeoro ocorre mais frequentemente nos meses de Abril a Novembro, de 22,4 dias/mês (Novembro) a 27,4 dias/mês (Julho).

O mês com menor frequência de ocorrência de orvalho é Janeiro (14,0 dias).

A ocorrência de geada é pouco frequente, sendo o número de dias por ano em que ocorre geada igual a 28,7 em média. O período de geada ocorre entre os meses de Outubro e Maio, registando-se o valor mais alto em Dezembro (9,2 dias).

4.3.10. INSOLAÇÃO

A insolação média anual varia, a nível nacional, entre as 1600 e as 3300 horas.

No que concerne à região em estudo, verifica-se que os valores de insolação são médios, com um valor anual, para o período em análise, igual a 2423,9 horas/ano, em média. Este valor representa cerca de 54 % da insolação anual máxima possível.

No Gráfico 4-6 apresenta-se a variação da insolação mensal média.

A insolação média mensal varia entre um valor correspondente a 46% da insolação mensal máxima possível, no mês de Janeiro (138,9 horas) e um valor de 82 % no mês de Agosto (359,3 horas).

Gráfico 4-6 - Insolação mensal média registada na estação climatológica principal de Viana do Castelo, no período 1970-1980

