EDUARDO JORGE DOS SANTOS GONÇALVES

# CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA E DEFINIÇÃO DE PERÍMETROS DE PROTECÇÃO ÀS CAPTAÇÕES DE ERMIDA (VILAR DA VEIGA – GERÊS)

Dissertação apresentada à Universidade do Porto para a obtenção do grau de Mestre em Prospecção e Avaliação de Recursos Geológicos

FACULDADE DE CIÊNCIAS DA UNIVERSIDADE DO PORTO
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

PORTO
2005

A Presidente do júri
Helena Coelho

EDUARDO JORGE DOS SANTOS GONÇALVES

# CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA E DEFINIÇÃO DE PERÍMETROS DE PROTECÇÃO ÀS CAPTAÇÕES DE ERMIDA (VILAR DA VEIGA – GERÊS)

Dissertação apresentada à Universidade do Porto para a obtenção do grau de Mestre em Prospecção e Avaliação de Recursos Geológicos

FACULDADE DE CIÊNCIAS DA UNIVERSIDADE DO PORTO
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

PORTO
2005

# AGRADECIMENTOS

Para que esta Dissertação de Mestrado tornasse possível, foi necessário um entendimento entre o Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto e duas instituições de carácter local e regional, a Câmara Municipal de Terras de Bouro e o Parque Nacional da Peneda-Gerês, respectivamente. As diligências para este entendimento tiveram lugar durante os primeiros meses do período referente à realização desta mesma Dissertação, e foram efectuadas por mim e pelo Dr. José Martins Carvalho.

Os agradecimentos que apresento de seguida, referem-se a pessoas que de algum modo contribuíram para o alcance dos objectivos inicialmente traçados. Algumas dessas pessoas representam as instituições acima indicadas, enquanto que outras contribuíram simplesmente com a sua boa vontade, amizade ou afecto. Assim sendo, os meus agradecimentos são para:

- A Prof. Helena Couto que, enquanto coordenadora do Mestrado em Prospecção e Avaliação de Recursos Geológicos, sempre mostrou abertura e disponibilidade para colocar à disposição os meios técnicos e procedimentos necessários nas diferentes fases da realização desta Dissertação;

- O Prof. Rui Moura, pelo modo sempre prestável com que colocou à disposição alguns equipamentos, materiais de trabalho e materiais bibliográficos. Do mesmo modo, quero agradecer-lhe algumas ideias importantes e experiências que me transmitiu;

- O Prof. Jorge Espinha Marques, pelos dados bibliográficos que me facultou, referentes à definição de perímetros de protecção, nos quais consta o método de *DISCO (Discontinuité Coverture Protectrice)* (Pochon & Zwahlen, 2002) que foi adoptado neste trabalho;

- A Dona Manuela e a Dona Lurdes, pela forma atenciosa e simpática com que sempre me trataram nas enumeras vezes que, por algum motivo, necessitei contactar com o Departamento de Geologia da Universidade do Porto;

- A Dra. Cristina Rebelo que, em representação do Parque Nacional da Peneda-Gerês, apoiou vivamente a realização deste trabalho numa das áreas (Ermida) daquela zona protegida;

- O Dr. Manuel Pereira e o Eng. Alfredo Carvalho que, em representação da Câmara Municipal de Terras de Bouro, desde o início, mostraram total receptividade e apoio à realização deste trabalho;

- Ainda o Eng. Alfredo Carvalho, juntamente com Eng.ª Liliana Azevedo, o Sr. Jorge Landeira e o Sr. José Vieira, pelo facto de me terem proporcionado o conhecimento, no terreno, das localizações das captações estudadas, e suas condições;

- Aos residentes da povoação de Ermida, com alguns dos quais tive a oportunidade de conversar e obter algumas informações sobre a região;

- O meu amigo, o Dr. José Mota, com quem pude discutir ideias e experiências, algumas das quais úteis para a realização deste trabalho;

- Ao Dr. Renato Gonçalves, meu irmão, professor de Português e Línguas Clássicas, por ter facultado sugestões relativas a alguns textos desta dissertação;

- A minha família, em especial os meus pais, que me incentivaram nos momentos mais difíceis, e que custearam uma boa parte das despesas do Mestrado; e à Paula, minha namorada, pelo apoio, encorajamento e paciência que sempre demonstrou ao longo de todo este trajecto;

- O Dr. José Martins Carvalho pelo facto de, desde o início, ter aceite ser o meu orientador nesta Dissertação de Mestrado. Ao mesmo tempo, quero expressar-lhe a minha gratidão pela experiência, ideias, conceitos e confiança que me transmitiu, assim como a sua tolerância e condescendência para com a minha menor experiência e traquejo nalguns aspectos e situações.

# ÍNDICE

**CAPÍTULO – 1 INTRODUÇÃO** 1

**CAPÍTULO – 2 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA** 4

**CAPÍTULO – 3 ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO** 6

3. 1. ROCHAS GRANÍTICAS HERCÍNICAS 7

3. 2. FILÕES E MASSAS 9

3. 3. DEPÓSITOS DE COBERTURA 9

**CAPÍTULO – 4 ENQUADRAMENTO GEOMORFOLÓGICO** 11

4. 1. PRINCIPAIS PADRÕES GEOMORFOLÓGICOS 11

4. 2. GEOLOGIA *VERSUS* MODELO GEOMORFOLÓGICO ACTUAL 13

**CAPÍTULO – 5 HIDROCLIMATOLOGIA** 19

5. 1. A BACIA HIDROGRÁFICA DO CÁVADO 22

**CAPÍTULO – 6 CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA** 27

6. 1. CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA GERAL 27

6. 2. CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA LOCAL 30

6. 2. 1. FRACTURAÇÃO GRANÍTICA 32

6. 2. 2. TOPOGRAFIA 37

6. 2. 3. SOLO E COBERTURA VEGETAL 39

6. 2. 4. ESBOÇO HIDROGEOLÓGICO 41

6. 2. 5. MODELO DE FLUXO TRIDIMENSIONAL 44

6. 2. 6. TERRENOS SATURADOS EM ÁGUA, E ÁREAS FAVORÁVEIS À IMPLANTAÇÃO DE CAPTAÇÕES 47

**CAPÍTULO – 7 PROSPECÇÃO GEOFÍSICA** 49

7. 1. PROSPECÇÃO ELECTROMAGNÉTICA – VLF 50

7. 2. CONTRIBUIÇÃO DOS DADOS GEOFÍSICOS NO CONHECIMENTO HIDROGEOLÓGICO 58

**CAPÍTULO – 8 PERÍMETROS DE PROTECÇÃO** 62

8. 1. FUNDAMENTOS PARA A APLICAÇÃO DO MÉTODO *DISCO* 65

8. 2. ETAPAS PRÉVIAS NECESSÁREAS À APLICAÇÃO DO MÉTODO *DISCO* 67

8. 2. 1. AQUISIÇÃO DE DADOS DE BASE 67

8. 2. 2. CARACTERIZAÇÃO GLOBAL DA VULNERABILIDADE 69

8. 2. 2. 1. PARÂMETRO CAUDAL 69

8. 2. 2. 2. PARÂMETRO TEMPERATURA 72

8. 2. 2. 3. PARÂMETRO CONDUTIVIDADE ELÉCTRICA DA ÁGUA 75

8. 2. 3. AVALIAÇÃO DO GRAU DE HETEROGENEIDADE DOS AQUÍFEROS 81

8. 3. DEFINIÇÃO DE PERÍMETROS DE PROTECÇÃO COM O RECURSO AO MÉTODO *DISCO* 88

8. 4. OUTRAS METODOLOGIAS PARA A DELIMITAÇÃO DE PERÍMETROS DE PROTECÇÃO EM CAPTAÇÕES DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS 107

8. 4. 1. MÉTODOS ANALÍTICOS 107

8. 4. 1. 1. LEI DE DARCY 108

8. 4. 1. 2. RAIO FIXO CALCULADO 108

8. 4. 1. 3. MÉTODO DE KREITLER E SENGER 109

8. 4. 1. 4. FLUXO ENTRE AQUÍFEROS 110

8. 4. 1. 5. EQUAÇÃO DE FLUXO UNIFORME 110

8. 4. 1. 6. EQUAÇÃO DE EQUILÍBRIO DE THIEM 111

8. 4. 1. 7. MÉTODO DE HOFFMAN E LILLICH 112

8. 4. 1. 8. MÉTODO DE WYSSLING 112

8. 4. 1. 9. FORMAS VARIADAS SIMPLIFICADAS 113

8. 4. 1. 10. MÉTODO DE ALBINET 113

8. 4. 1. 11. MÉTODO DE JACOBS E BEAR 114

8. 4. 1. 12. MÉTODO DE KRIJGMAN E LOBO FERREIRA 114

8. 4. 1. 13. COMBINAÇÃO DE MÉTODOS ANALÍTICOS COM O MAPEAMENTO HIDROGEOLÓGICO 115

8. 4. 2. MÉTODOS NUMÉRICOS 116

8. 4. 3. RAIO FIXO ARBITRÁRIO 118

8. 4. 4. OUTROS MÉTODOS 119

8. 4. 4. 1. MÉTODO DE HORSLEY 119

8. 4. 4. 2. UTILIZAÇÃO DE TRAÇADORES 120

**CAPÍTULO – 9 PERÍMETROS DE PROTECÇÃO: INTERESSE AMBIENTAL E ESTRATÉGICO** 122

9. 1. ENQUADRAMENTO DOS PERÍMETROS DE PROTECÇÃO NAS POLÍTICAS ACTUAIS DE ORNENAMENTO DO TERRITÓRIO 123

9. 2. PROPOSTA DE PERÍMETROS DE PROTECÇÃO À CÂMARA MUNICIPAL DE TERRAS DE BOURO 126

**CAPÍTULO – 10 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES** 130

**BIBLIOGRAFIA** 134

**ANEXOS**

- Principais linhas de água da região estudada, e áreas envolventes;
- Hipsometria e distribuição das linhas de água superficiais;
- Áreas de contribuição das captações definidas com base em critérios topográficos;
- Zonas de protecção representadas sob a forma de pontos cartografados e polígonos;
- Ensaios de permeabilidade;
- Localização geográfica dos ensaios de permeabilidade nas diferentes zonas de contribuição das captações;
- Tabelas de dados – VLF;
- Fotografias das captações estudadas;
- Dados dos estudos da fracturação (diaclases);
- Tabelas de dados físico-químicos.

# ÍNDICE DE FIGURAS

**Figura 2. 1.** Localização geográfica da área definida para a realização do estudo hidrogeológico 5

**Figura 3. 1.** Geologia da região do Gerês 6

**Figura 3. 2.** Geologia da região de Ermida 7

**Figura 4. 1.** Hidrologia superficial da região de Ermida *versus* orientações das principais estruturas tectónicas 11

**Figura 4. 2.** Modelo digital do terreno, representativo do relevo de Ermida 12

**Figura 4. 3.** Linha de água apertada, provavelmente implantada numa zona de falha 13

**Figura 4. 4.** Saibreira representativa do processo contínuo de alteração do granito até formar solo 14

**Figura 4. 5.** Causas, processos, efeitos e suas interacções, que estão na base do modelo geomorfológico da região do Gerês 16

**Figura 4. 6.** Mapa geomorfológico simplificado da região de Ermida 17

**Figura 5. 1.** Distribuição das precipitações médias anuais no norte de Portugal 19

**Figura 5. 2.** Distribuição dos valores médios anuais de escoamento hídrico, no norte e centro de Portugal 21

**Figura 5. 3.** Principais cursos de água da bacia hidrográfica do Cávado 22

**Figura 5. 4.** Distribuição dos valores das precipitações na bacia hidrográfica do Cávado 23

**Figura 5. 5.** Variação dos valores de evapotranspiração potencial média anual, ao longo da bacia hidrográfica do Cávado 24

**Figura 5. 6.** Variações altimétricas das áreas referentes à bacia Hidrográfica do Cávado 24

**Figura 5. 7.** Variações do número de escoamento, ao longo das diferentes áreas da bacia hidrográfica do Cávado 26

**Figura 6. 1.** Vale do Rio Arado, um exemplo da tipicidade de paisagem granítica da região de Ermida 27

**Figura 6. 2.** Representação dos principais contrastes de relevo de Ermida e regiões envolventes 28

**Figura 6. 3.** Localização geográfica das captações em funcionamento e seus caudais médios anuais 31

**Figura 6. 4.** Sectores da área estudada onde foram efectuadas as medições dos planos de fracturas 32

**Figura 6. 5.** Projecções estereográficas representativas das zonas com maior e menor concentração de pólos de planos de diaclases, nos diferentes sectores 33

**Figura 6. 6.** Diagramas de roseta representativos das principais orientações dos planos de diaclasamento 34

**Figura 6. 7.** Projecções estereográficas representativas dos planos perpendiculares à zonas com maior e menor concentração de pólos da Figura 6. 5. 34

**Figura 6. 8.** Principais alinhamentos tectónicos da região de Ermida 35

**Figura 6. 9.** Representação, sob a forma de "diagrama de cerca", da disposição das principais famílias de fracturas, e estimativas da extensão, em profundidade dos níveis de granito meteorizado 36

**Figura 6. 10.** Principais linhas hipsométricas da região estudada 37

**Figura 6. 11.** Mapa de declives da região de Ermida 38

**Figura 6. 12.** Mapas de classes altimétricas da região do Gerês e de Ermida 39

**Figura 6. 13.** Representação das áreas com predomínio de vegetação de grande e/ou pequeno porte 40

**Figura 6. 14.** Esboço hidrogeológico da região de Ermida 43

**Figura 6. 15.** Modelo de fluxo tridimensional 45

**Figura 6. 16.** Localização dos terrenos saturados em água 47

**Figura 7. 1.** Localização geográfica das áreas onde foram efectuados os perfis geofísicos 52

**Figura 7. 2.** Variações dos valores da fase e da quadratura na secção 1 53

**Figura 7. 3.** Variações dos valores da fase e da quadratura na secção 2 54

**Figura 7. 4.** Variações dos valores da fase e da quadratura na secção 3 54

**Figura 7. 5.** Variações dos valores da fase e da quadratura na secção 4 55

**Figura 7. 6.** Variações dos valores da fase e da quadratura na secção 5 56

**Figura 7. 7.** Representação dos dados filtrados da secção 2 57

**Figura 7. 8.** Representação dos dados filtrados da secção 4 57

**Figura 7. 9.** Representação tridimensional dos dados filtrados da secção 2, e descontinuidades tectónicas supostas 59

**Figura 7. 10.** Representação tridimensional dos dados filtrados da secção 4, e descontinuidades tectónicas supostas 59

**Figura 8. 1.** Localização das áreas potencialmente sujeitas a processos promotores de poluição 65

**Figura 8. 2.** Localização das bacias de contribuição das captações de ermida 68

**Figuras 8. 3. e 8. 4.** Representações gráficas do parâmetro caudal nas captações de Ermida (C2 e C4) 70

**Figuras 8. 5. e 8. 6.** Representações gráficas do parâmetro caudal nas captações de Ermida (C5 e C6) 71

**Figuras 8. 7. e 8. 8.** Representações gráficas do parâmetro temperatura nas captações de Ermida (C2 e C4) 73

**Figuras 8. 9. e 8. 10.** Representações gráficas do parâmetro temperatura nas captações de Ermida (C5 e C6) 74

**Figuras 8. 11.** Representações gráficas do parâmetro condutividade nas captações de Ermida (C2) 77

**Figuras 8. 12., 8. 13. e 8. 14.** Representações gráficas do parâmetro condutividade nas captações de Ermida (C4, C5 e C6) 78

**Figuras 8. 15. e 8. 16.** Representações gráficas do parâmetro pH nas captações de Ermida (C2 e C4) 79

**Figuras 8. 17. e 8. 18.** Representações gráficas do parâmetro pH nas captações de Ermida (C5 e C6) 80

**Figuras 8. 19.** Modelos digitais do terreno representativos das condições topográficas das bacias de contribuição das captações de Ermida 83

**Figuras 8. 20.** Organigrama representativo das fases preliminares e efectivas para a aplicação do método *DISCO* 87

**Figura 8. 21.** Determinação do parâmetro cobertura protectora para a bacia de contribuição da captação C2 93

**Figura 8. 22. .** Determinação do parâmetro cobertura protectora para a bacia de contribuição da captação C4 94

**Figura 8. 23.** Determinação do parâmetro cobertura protectora para a bacia de contribuição das captações C5 e C6 95

**Figura 8. 24.** Distribuição dos valores referentes ao parâmetro descontinuidades para a bacia de contribuição da captação C2 96

**Figura 8. 25.** Distribuição dos valores referentes ao parâmetro descontinuidades para a bacia de contribuição da captação C4 96

**Figura 8. 26.** Distribuição dos valores referentes ao parâmetro descontinuidades para a bacia de contribuição das captações C5 e C6 97

**Figura 8. 27.** Distribuição dos valores referentes ao factor de protecção intermédio para a bacia de contribuição da captação C2 98

**Figura 8. 28.** Distribuição dos valores referentes ao factor de protecção intermédio para a bacia de contribuição da captação C4 99

**Figura 8. 29.** Distribuição dos valores referentes ao factor de protecção intermédio para a bacia de contribuição das captações C5 e C6 99

**Figura 8. 30.** Determinação das zonas S para a bacia de contribuição da captação C2 102

**Figura 8. 31.** Determinação das zonas S para a bacia de contribuição da captação C4 103

**Figura 8. 32.** Determinação das zonas S para a bacia de contribuição das captações C5 e C6 104

**Figura 8. 33.** Método de Pochet para a determinação da permeabilidade de solos 105

**Figura 9. 1.** Estrato do Plano Director Municipal, referente à região estudada 124

**Figura 9. 2.** Localização geográfica das áreas propostas para englobar os perímetros de protecção 127

**Figura 9. 3.** Áreas propostas para englobar os perímetros de protecção 128

# ÍNDICE DE TABELAS

**Tabela 8. 1.** Valores e critérios de avaliação do parâmetro: descontinuidades 91

**Tabela 8. 2.** Classes e valores de avaliação do parâmetro: descontinuidades 92

**Tabelas 8. 3. e 8. 4.** Dedução e classificação dos valores referentes ao factor de protecção intermédio 98

**Tabelas 8. 5. e 8. 6.** Parâmetros de classificação do fluxo superficial difuso e linear 100

**Tabela 8. 7.** Relações de equivalência entre o factor de protecção final, a vulnerabilidade e as zonas S 101

**Tabela 8. 8.** Graus de permeabilidade para diferentes gamas de valores 106

**Tabela 8. 9.** Síntese das metodologias de delimitação dos perímetros de protecção 121

**Tabela 9. 1.** Áreas englobadas num perímetro de protecção e suas Especificidades 126

# RESUMO

Neste trabalho de dissertação de mestrado, após as etapas de enquadramento geológico e geomorfológico, seguiu-se uma caracterização do contexto hidrogeológico da região. Esta caracterização baseia-se em aspectos de ordem física e ambiental, e na análise e exploração de informação bibliográfica e dados de terreno.

Foram realizados modelos digitais de terreno, um modelo de fluxo tridimensional e uma carta hidrogeológica. Por sua vez, os dados de índole física e ambiental correspondem, concretamente: à fracturação granítica, à topografia, ao solo e cobertura vegetal.

A caracterização do contexto geológico e geomorfológico, suportada em dados recolhidos por meio de análises de terreno e de dados cartográficos de variada índole, tornou-se importante para a definição das principais direcções de fluxo hídrico superficial e prováveis orientações preferenciais de fluxo de águas subterrâneas.

A este nível, a elaboração de trabalhos de prospecção electromagnética (VLF) teve como propósito identificar secções que materializam anomalias (electromagnéticas), as quais possam ser o pronuncio da existência de importantes alinhamentos estruturais, típicos de um meio cristalino fracturado. Esses alinhamentos podem corresponder a falhas, filões, cisalhamentos, etc., que em muitas circunstâncias criam condições propícias à circulação e ao armazenamento de águas subterrâneas.

A prospecção geofísica, juntamente com os dados de índole geológica e geomorfológica, e principalmente, da caracterização hidrogeológica, criaram as bases necessárias para a implementação de perímetros de protecção para as captações de Ermida.

No âmbito da definição e implementação de perímetros de protecção, fez-se uso do método *DISCO (Discontinuités – Couverture Protectrice)* (Pochom & Zwahlen, 2002). Este método assenta no estabelecimento de determinados requisitos, importantes para a sua realização, tais como: avaliação global da vulnerabilidade das captações, e avaliação do grau de heterogeneidade dos eventuais aquíferos e outras formações hidrogeológicas, possíveis de se encontrar. Estes requisitos foram obtidos com o recurso a análises de parâmetros físico-químicos (caudal, temperatura e condutividade eléctrica), determinações dos limites das bacias de contribuição das captações, inventários de eventuais fontes de poluição, potenciais ou reais, caracterização das descontinuidades à escala dos afloramentos, etc.

No âmbito dos perímetros de protecção, são também alvo de destaque algumas metodologias alternativas (mais correntes) de definição de perímetros de protecção, entre as quais se destacam dois grandes grupos: os métodos analíticos e os métodos numéricos.

Neste trabalho, procurou-se também fazer referência ao interesse ambiental e estratégico inerentes à execução de políticas de implementação de perímetros de protecção. Nesse sentido, procedeu-se à síntese de algumas directivas e decretos-lei nos quais é destacada a importância dos perímetros de protecção. A esta síntese, seguir-se-á uma proposta concreta (conforme o Decreto-Lei n.º 382/99 de 22 de Setembro) à Câmara Municipal de Terras de Bouro, sobre as áreas (definidas a partir do método *DISCO*) a integrar nos perímetros de protecção referentes às captações de Ermida.

Procurou-se assim, levar-se a Universidade do Porto ao encontro de necessidades concretas da sociedade, quer no âmbito estrito das águas subterrâneas, como no âmbito do ordenamento do território.

# ABSTRACT

The aim of this report is to describe the master's degree dissertation work.

After the stages of geological and geomorphologic base studies, a context hydrogeologic characterization of the area is preceded. This characterization is based on physical and environmental order aspects, and in the analysis and exploitation of theorical-practical data.

Among the theorical-practical data stand out the numeric digital models of topography, the three-dimensional flow model and hydrogeologic map. In the other hand, the physical and environmental data correspond, concretely: to the granite fracturation, to the topography, to the soil and vegetable covering.

The characterization of the geological and geomorphologic context, supported in data collected through land analyses and varied cartographic nature data, becomes an important instrument to the main directions of superficial hydric flow definition and probable preferential orientations of groundwater flow.

At this level, the elaboration of electromagnetic exploration works (VLF) had as a purpose, the identification of sections that materialize electromagnetic anomalies, which can be a pronounce to the existence of important structural alignments, typical of a crystalline fractured geological middle. Those alignments can correspond to faults, veins, and so on, that in many circumstances creates favourable conditions to the circulation and the storage of waters.

The geophysical exploration, together with the geological and geomorphologic data, and mainly, the hydrogeologic characterization, created the essential bases for the implementation of well head protection areas for the Ermida water collections.

The definition and implementation of well head protection areas process was based on the application of the method *DISCO (Discontinuités – Couverture Protectrice)* (Pochom & Zwahlen, 2002). This method became viable by the establishment of important requirements, such as: vulnerability global evaluation of water collections, and evaluation of the heterogeneity degree in eventual aquifers and other hydrogeologic formations, that is possible to find. These requirements was obtained with the resource to physic and chemical parameters analyses (flow, temperature and electric conductivity), limits determinations of contribution basins, eventual pollution sources inventories, potentials or real, the discontinuities characterization to the local scale, and so on.

In the well head protection areas chapter, it is also made prominence to some alternative definition methodologies of well head protection areas implementation, among which stand out two great groups: the analytical methods and the numeric methods.

In this work, it was also tried to do reference to the environmental and strategic interest inherent to the politics implementation execution of well head protection areas. In that sense, syntheses are made from some orientations and ordinance-law us, which the importance of the well head protection areas is, stand out. This synthesis, is following for a concrete proposal, to the local administration, about the areas to integrate the well head protection areas for the Ermida water collections.

It was sought like this, to take the University of Oporto to the encounter of concrete society needs, simultaneously in the groundwater resources strict extent, as in territory administration subjects.

# CAPÍTULO - 1

# INTRODUÇÃO

O trabalho que aqui é apresentado resulta de um conjunto de actividades de âmbito geológico, geomorfológico e, fundamentalmente, hidrogeológico, desenvolvido durante cerca de pouco mais de ano e meio, na região de Ermida (Gerês). Tais actividades encontram-se, nos capítulos que se seguem, explicadas e interpretadas sob a forma de dissertação.

Trata-se, portanto, de um trabalho de dissertação, que visa a obtenção do grau académico de Mestre, em "Prospecção e Avaliação de Recursos Geológicos", pela Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

Os objectivos inicialmente projectados para esta dissertação de Mestrado, posteriormente alvo de algumas revisões, foram sempre direccionados para uma caracterização hidrogeológica, e para a prospecção. A revisão dos mesmos objectivos levou à introdução da problemática dos perímetros de protecção. Desta forma, pretendeu-se elaborar uma caracterização hidrogeológica que servisse de base para a definição de perímetros de protecção das captações.

Tudo isto, se inseriu numa lógica que teve como ambição a obtenção de um melhor conhecimento dos aspectos relacionados com os recursos hídricos subterrâneos da região, e do funcionamento das captações.

Creio que deste modo, foi possível "caminhar" de encontro ao tema deste mestrado (Prospecção e Avaliação de Recursos Geológicos), e ao mesmo tempo, contribuir para a satisfação de algumas das necessidades locais.

Com efeito, principais capítulos que compõem esta dissertação, dizem respeito à caracterização hidrogeológica, e à definição de perímetros de protecção para as captações de águas subterrâneas que abastecem a povoação de Ermida. Neste processo de definição e delimitação de perímetros de protecção, fez-se uso de um método não utilizado em Portugal, o método *DISCO (Discontinuités – Couverture Protectrice)* (Pochon & Zwahlen, 2002), o qual, para além de envolver processos relativamente

simples, pode aplicar-se às especificidades geológicas daquela região. Essas especificidades (na região) resumem-se a um ambiente cristalino (granítico) fracturado.

Desde o início da planificação dos trabalhos, houve a especial preocupação de se estabelecer um tema de estudo com aplicabilidade prática, e como tal, contribuisse para um melhor conhecimento hidrogeológico da região, tornando-se dessa forma, útil às populações residentes, à administração local e outras entidades com responsabilidade no ordenamento do território na região.

Para que todos estes objectivos e desafios fossem alcançados e superados, foi indispensável a orientação, e estreita colaboração do Dr. José Martins Carvalho. Aliás, foi com a sua ajuda que, através de contactos com a Câmara Municipal de Terras de Bouro e com o Parque Nacional da Peneda – Gerês, foi possível seleccionar-se um tema definitivo e consensual, potencialmente apropriado às necessidades da região.

O estudo que veio a ser empreendido compreendeu diferentes fases, que envolveram a aplicação e a implementação de várias técnicas e actividades, necessárias para o cumprimento dos planos inicialmente estabelecidos.

Com efeito, após a definição do tema e dos propósitos de trabalho, seguiu-se uma etapa onde se procedeu à selecção e pesquisa de material bibliográfico de base, apropriado para o efeito. Numa fase posterior, seguiu-se um período de doze meses (entre Agosto de 2003 e Julho de 2004), ao longo do qual se deu sequência a inúmeras actividades: definição de uma área geográfica, enquadramento geológico e geomorfológico, selecção das captações a estudar, recolha de dados físico-químicos das águas das captações (débito, temperatura, pH, condutividade eléctrica e mineralização total) com o recurso a um medidor apropriado, identificação de nascentes e outros pontos de água, sínteses hidroclimatológicas, localização de áreas favoráveis à implantação de novas captações, e definição de perímetros de protecção às captações estudadas.

Os últimos cinco meses de trabalho foram empregues na compilação e redacção da dissertação, na realização de trabalhos de campo complementares, que vieram a tornar-se necessários, e na correcção de alguns pormenores relacionados com os subsequentes avanços no conhecimento hidrogeológico da região. Alguns desses trabalhos corresponderam a estudos de prospecção geofísica, georeferênciação de alguns aspectos (localização das nascentes, análises geofísicas, etc.).

Convém, entretanto salientar que as pesquisas bibliográficas tiveram continuidade um pouco por todos os períodos dedicados aos trabalhos de campo e,

posteriores: compilação e redacção da dissertação. Isto verificou-se sempre que se tornou necessária a utilização de novos equipamentos e instrumentos de trabalho, e também, devido à especificidade do ambiente geológico-geomorfológico da região.

Na realidade, o ambiente geológico-geomorfológico da região é marcado por extensos afloramentos graníticos, extremamente fracturados, com claros sinais de elevado grau de alteração superficial, onde poderão existir meios hidrogeológicos típicos de rochas cristalinas (aquíferos fissurais).

# CAPÍTULO - 2

# LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA

Na região de Ermida, a área definida para o estudo tem um total de nove quilómetros quadrados, na qual se destacam significativos contrastes topográficos, que se enquadram perfeitamente na tipicidade das paisagens da Serra do Gerês.

Pode dizer-se que a região estudada se estende, essencialmente, por entre cumes e vertentes de topos da encosta Norte do vale do Rio Cávado. Os limites mais a Sul estão definidos nas extremidades mais a jusante da povoação de Ermida, enquanto que os limites Norte prolongam-se até cerca de 250 metros acima da Cascata do Arado.

As zonas da Malhadoura e Pedra Bela, por sua vez, correspondem respectivamente, aos limites Este e Oeste da referida área definida para este estudo.

Esta área foi previamente definida por motivos de conformidade, pois, encontra-se distribuída "em redor" das captações estudadas, tendo sido, nalguns locais, definida obedecendo ao traçado das linhas de cume.

A povoação de Ermida corresponde a uma aldeia pertencente à Freguesia de Vilar da Veiga, pelo que os seus acessos são facultados pela Estrada Nacional 308-1 que liga Rio Caldo à Vila do Gerês e à Fronteira de Portela do Homem, e pela Estrada Municipal que faz ligação à povoação de Ermida (Figura 2. 1).

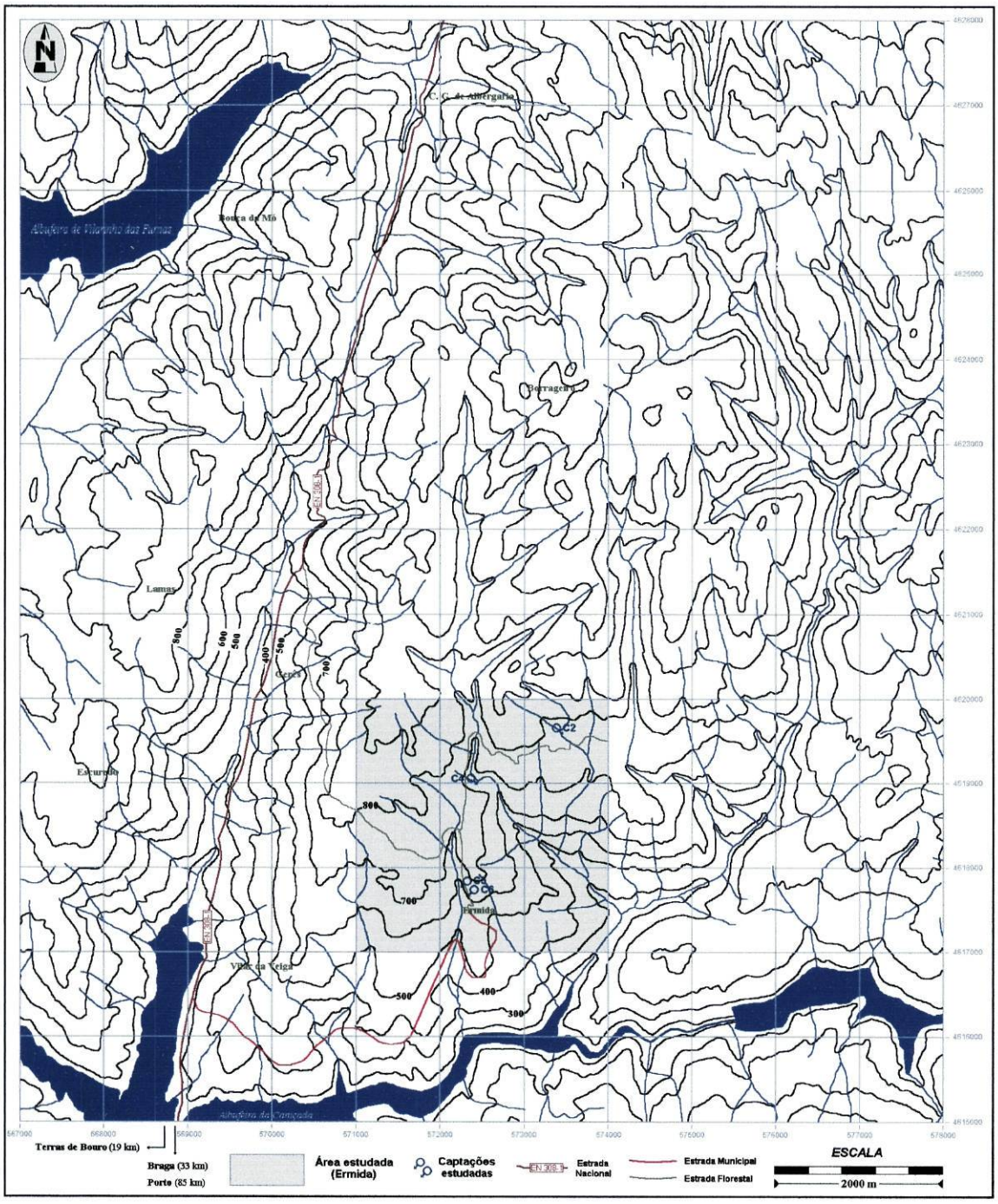



**Figura 2. 1.** Localização geográfica da área definida para a realização do estudo hidrogeológico (Adaptado de E. Gonçalves, 2002).

# CAPÍTULO - 3

# ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

As áreas geográficas onde se localiza o Parque Nacional da Peneda-Gerês, juntamente como a freguesia de Vilar da Veiga, integram o noroeste da Península Ibérica. Desta forma, fazem parte do "Maciço Antigo Ibérico", que é constituído por formações geológicas com idades superiores a trezentos milhões de anos. Entre estas formações, destacam-se os metassedimentos ante-ordovícicos e Silúricos e os Granitos Hercínicos (Figura 3. 1.).

Na mesma região, localmente, evidenciam-se algumas acumulações recentes de sedimentos inconsolidados, que correspondem a depósitos de cobertura e que apesar terem tido origens diversas, resultaram da erosão dos maciços rochosos antigos.

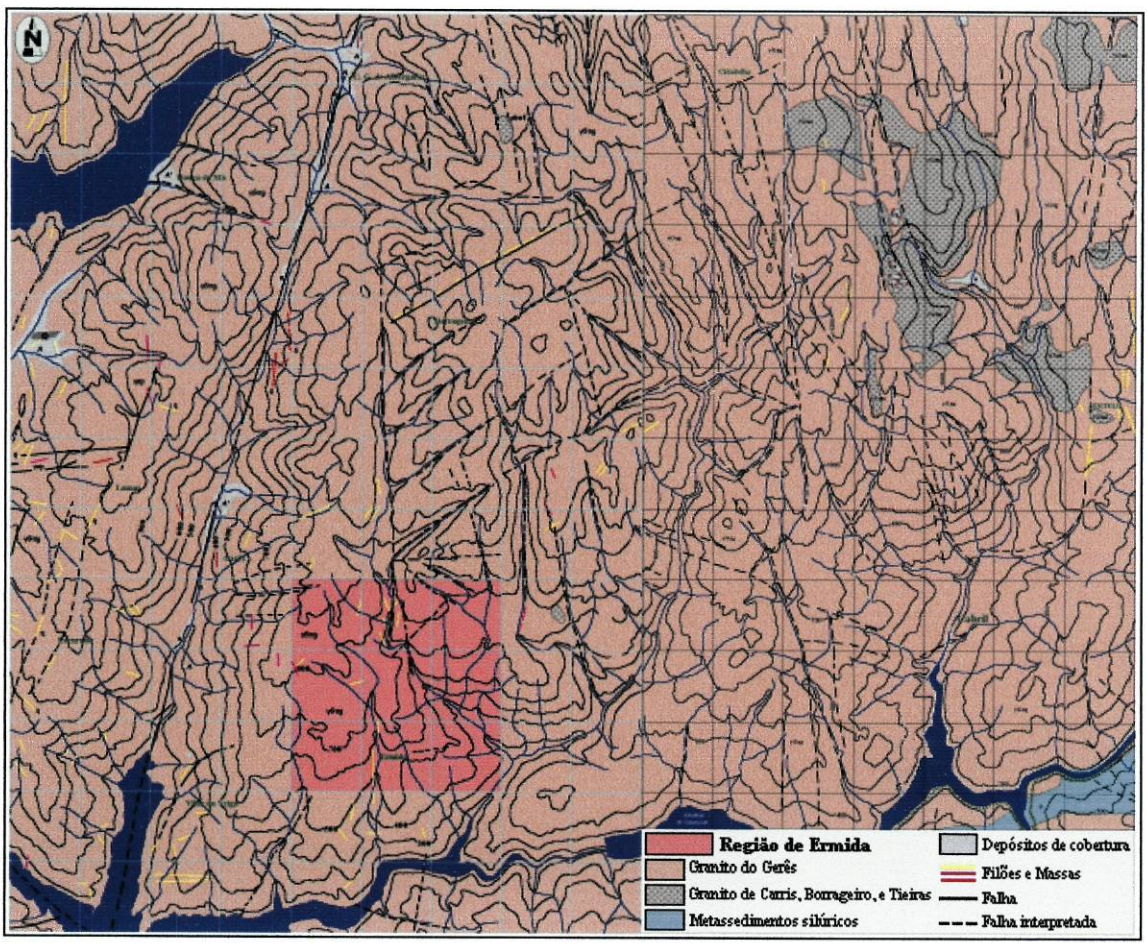



**Figura 3. 1.** Geologia da região do Gerês (Adaptado de Moreira e Ribeiro, 1991).

## 3. 1. ROCHAS GRANÍTICAS HERCÍNICAS

A região de Ermida enquadra-se num contexto geológico que é dominado pelo Granito do Gerês. Esta afirmação pode ser comprovada mediante a observação de inúmeros e extensos corpos graníticos que ocorrem na mesma região, assim como, em mais de cinquenta por cento do território do Parque Nacional da Peneda-Gerês (Figura 3. 2.).

O Granito do Gerês, em toda a sua extensão geográfica, integra a "Zona de Galiza Média Trás-os-Montes", e é considerado por um grande número de autores, como sendo um granito pós-tectónico. Tal ideia baseia-se no facto desta rocha plutónica não exibir características texturais e estruturais evidenciadoras da actuação de esforços tectónicas significativos, aquando da sua formação. Na realidade (a nível macroscópico), o Granito do Gerês não evidencia qualquer tipo de foliação, nele são frequentes os cristais euédricos e subédricos de feldspato potássico, onde não se detectam indícios de deformação dúctil ou frágil – dúctil.

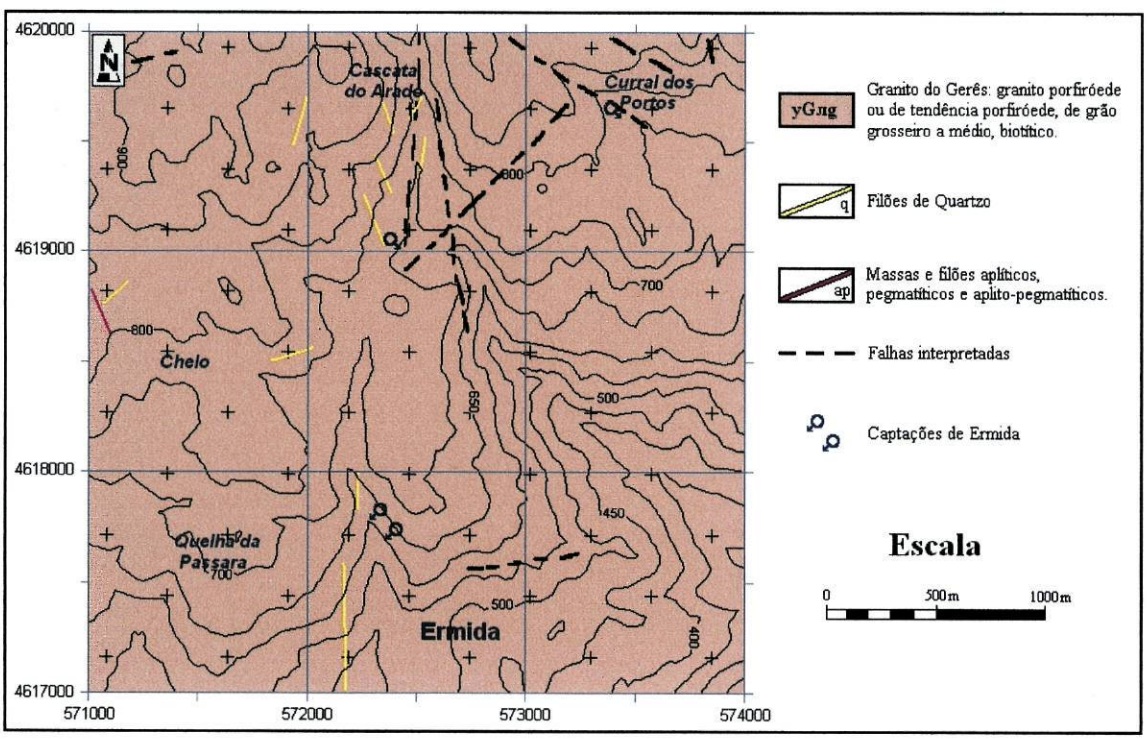



**Figura 3. 2.** Geologia da região de Ermida (Adaptado de Moreira e Ribeiro, 1991).

Com maior ou menor dificuldade, constata-se a presença de um "granito porfiróide ou de tendência porfiróide, de grão grosseiro a médio, e biotítico", no qual se destinguem os seguintes minerais (Moreira & Ribeiro 1991):

- Feldspato potássico de cor rosada, com dimensões próximas do centímetro;

- Cristais brancos de plagioclase, com dimensões próximas do centímetro;
- Cristais anédricos e incolores de quartzo, com dimensões variáveis e fracturados;
- "Lâminas" de biotite, que podem aparecer parcial ou totalmente cloritizadas.

Segundo o mesmo autor, através de análises de lâminas delgadas, são identificáveis, ainda neste granito, minerais acessórios de magnetite e de alanite. A sua textura e grau de cristalização (cem por cento) indicam que este granito resultou de um lento processo de solidificação magmática, característica de ambientes crustais intrusivos. Segundo Ribeiro (1983), *in* Moreira & Ribeiro (1991), o mesmo magma resultou da diferenciação profunda de magmas básicos de origem mantélica, e por isso, não foi originado por fusão crustal.

Na região estudada, assim como em áreas envolventes, pode ser também observável uma fácies granítica de grão fino. Esta fácies, que apresenta uma distribuição bastante mais reduzida e descontínua que o Granito do Gerês, corresponde ao Granito de Carris, Borrageiro e Tieiras. É um "granito biotítico de grão fino, por vezes porfiróide", com constituição semelhante ao Granito do Gerês (Moreira & Ribeiro, 1991), sendo também considerado pós-tectónico.

Tanto o Granito do Gerês, como o Granito de Carris, Borrageiro e Tieiras podem, localmente, apresentar alinhamentos cisalhados com enrubescimento dos minerais feldspáticos.

Além dos granitos acima descritos, salienta-se a presença de outros granitos hercínicos, situados em áreas não muito afastadas da região de Ermida, como é o caso do Granito de Terras de Bouro e o Granito da Serra Amarela. O primeiro é considerado tardi-tectónico, essencialmente biotítico, enquanto que o segundo, por apresentar uma clara orientação preferencial dos minerais lamelares (foliação granítica), é considerado sintectónico. Além disso, este último granito diverge dos anteriores por ser de duas micas.

## 3. 2. FILÕES E MASSAS

Intercalados por entre os inúmeros afloramentos graníticos hercínicos podem ocorrer filões e massas de natureza variada, tais como (Moreira & Ribeiro 1991):

- Filões de quartzo;
- Filões e massas aplíticas, pegmatíticas e aplito-pegmatíticas;
- Massas e filões constituídos por rocha básica.

Os filões são particularmente abundantes no Granito do Gerês, e na região de Ermida distribuem-se segundo direcções preferenciais nordeste – sudoeste e noroeste – sudeste, embora também possam ocorrer segundo azimutes aproximados de norte – sul.

Nalguns locais onde aflora o Granito do Gerês, observam-se sistemas de filões aplíticos, pegmatíticos e aplito-pegmatíticos. Na região de Ermida estes filões são muito menos frequentes do que os filões de quartzo.

Tanto os filões de quartzo, como as massas e filões aplíticos, pegmatíticos e aplito-pegmatíticos, podem apresentar-se mineralizados. Este facto pode basear-se nas antigas explorações de mineralizações de estanho, volfrâmio, molibdénio, berilo, etc., no seio de filões.

As massas e filões de rocha básica apresentam-se, geralmente, bastante metorizadas, com cor amarelada e textura fina. Nestes corpos rochosos, evidencia-se alguma disjunção esferoidal (em forma de pequenas bolas), denotando-se taxas de desgaste erosivo claramente superiores às rochas graníticas envolventes.

Salienta-se ainda o facto de os corpos de rocha básica ocorrerem essencialmente sob a forma de filões, os quais se distribuem segundo orientações preferenciais de nordeste – sudoeste e noroeste – sudeste, e inclinações verticais ou subverticais.

## 3. 3. DEPÓSITOS DE COBERTURA

Na região do Gerês existem inúmeros terrenos recentes que correspondem a verdadeiros depósitos de cobertura. Estes depósitos, que assumem representação geográfica local, ocorrem segundo quatro variedades principais (Moreira & Ribeiro, 1991):

- Terraços fluviais;
- Moreias glaciares;
- Depósitos torrenciais;

- Terrenos areno-argilosos de fundo de vale e cascalheiras.

Todos os depósitos de cobertura acima mencionados referem-se ao período Quaternário, e correspondem a acumulações de materiais resultantes de variadas acções geomorfológicas que actuaram sobre os maciços graníticos existentes.

Na região de Ermida tais depósitos (ou acumulações) não são observáveis e, nas restantes áreas do Parque Nacional da Peneda-Gerês, as mesmas apresentam espessura e extensão reduzidas. Por esta razão, estes terrenos não exibem (pelo menos na área estudada) interesse hidrogeológico significativo.

# CAPÍTULO - 4

# ENQUADRAMENTO GEOMORFOLÓGICO

Numa primeira análise sobre a geomorfologia da região do Gerês (e regiões envolventes), constata-se a presença de um ambiente montanhoso de grande beleza paisagística. A morfologia montanhosa encontra-se retalhada por importantes vales, entre os quais se destacam três rios principais: o Cávado, o Lima e o Homem. Estes rios, juntamente com os seus tributários, materializam importantes bacias hidrográficas.

## 4. 1. PRINCIPAIS PADRÕES GEOMORFOLÓGICOS

Ao longo da freguesia de Vilar da Veiga, e consequentemente, na região de Ermida, destaca-se (como já foi referido no capítulo anterior) a presença de uma continuidade litológica, representada pelo Granito do Gerês. Este granito foi alvo, ao longo de centenas de milhões de anos, da actuação de uma infinidade de episódios de dinâmica crustal e geodinâmica externa terrestre. Dessa forma não é de estranhar a existência de extensas e pronunciadas cristas e domos graníticos, que são interrompidos por vales, muitas vezes profundos, e com vertentes íngremes. Nestes vales profundos desenvolvem-se algumas linhas de água importantes, que são abastecidas por uma complexa rede hidrográfica.

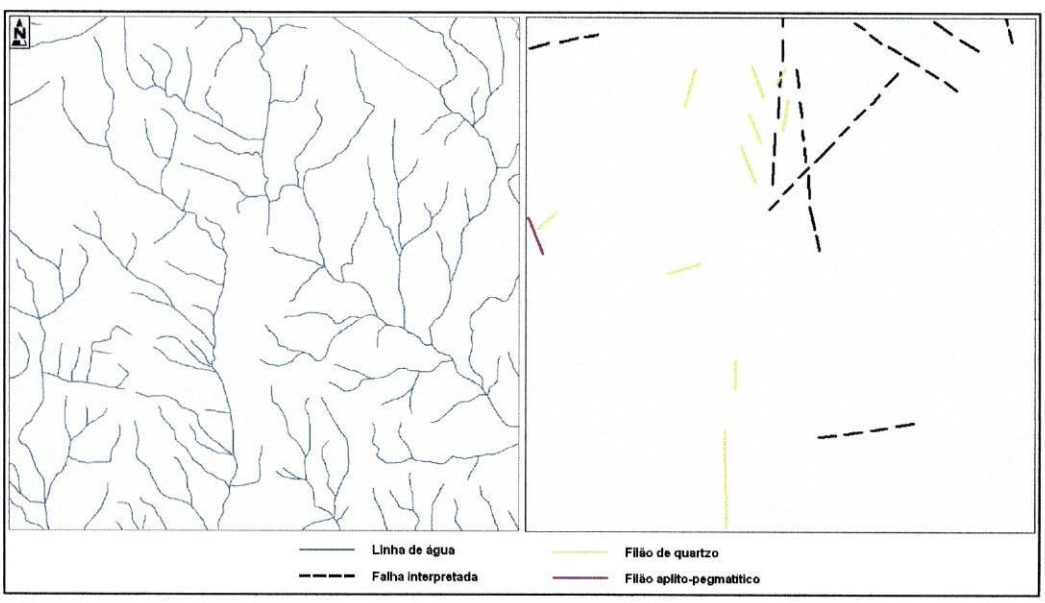



**Figura 4. 1.** Hidrologia superficial da região de Ermida *versus* orientações das principais estruturas tectónicas.

Como se pode deduzir da figura anterior, orientações preferenciais das diversas linhas de água (principais e secundárias) seguem, aproximadamente, as direcções principais da fracturação. Assim sendo, na região de Ermida, pode aplicar-se o princípio da maior vulnerabilidade das principais zonas de fracturação, para a implantação de linhas de água, sobre as quais se processa uma erosão linear.

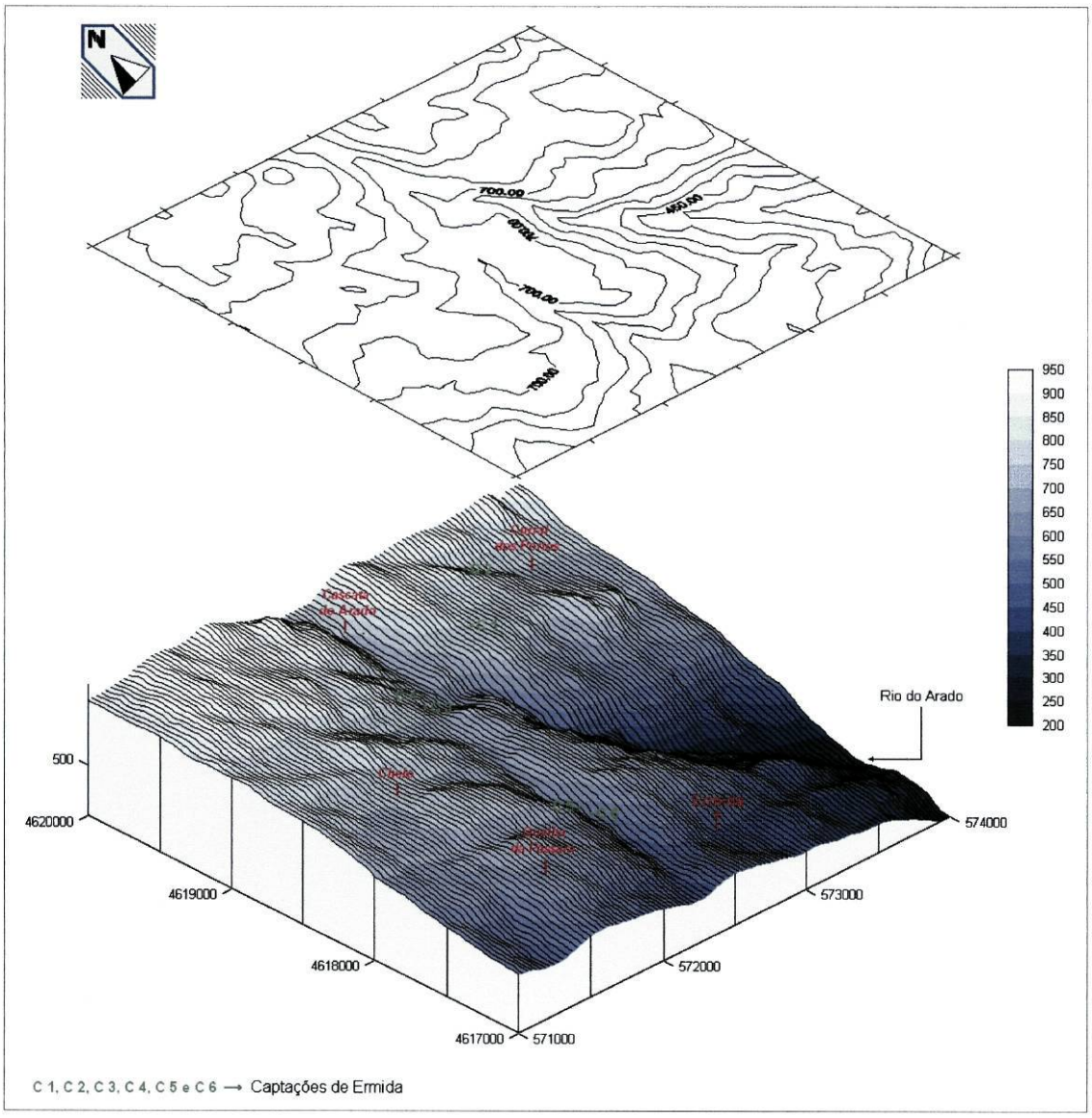



**Figura 4. 2.** Modelo digital do terreno, representativo do relevo de Ermida.

Na região estudada, o Granito do Gerês aflora, de local para local, segundo diferentes graus de alteração físico-química. Estes graus podem ir do praticamente são, até ao saibro propriamente dito. A decomposição total deste granito (devido à mesma alteração), em muitos casos, deu origem a solo. Este solo, atendendo à reduzida espessura que geralmente apresenta, pode ser considerado esquelético.

Os diferentes estádios de decomposição do granito, juntamente com as descontinuidades mecânicas existentes (normalmente fracturas), promoveram, ao longo de muitos milhões de anos: zonas de erosão diferencial, inúmeras morfologias graníticas, e outros aspectos físicos e paisagísticos possíveis de serem identificados e interpretados. No que concerne às morfologias graníticas, pode dizer-se que na região do Gerês é possível identificar-se os seguintes tipos: tor granítico, *kastel kopie*, caos de blocos, blocos isolados, pequenos agregados de blocos, montes-ilha, empilhamentos de blocos, etc.

Outras curiosidades e aspectos geomorfológicos que se podem destacar em alguns dos sectores da Serra do Gerês, estão relacionados com fenómenos glaciares passados. Estes fenómenos resultaram da actuação da glaciação *Wurm*, e deram essencialmente origem a algumas formas de vale em U, a rochas aborregadas, depósitos morénicos (já referidos anteriormente).

## 4. 2. GEOLOGIA *VERSUS* MODELO GEOMORFOLÓGICO ACTUAL

Como já foi referido anteriormente, o principal aspecto geológico região de Ermida e áreas envolventes corresponde à presença do Granito do Gerês e do Granito de Carris, Borrageiro e Tieiras. No entanto, existem outros importantes aspectos de índole geológica que merecem ser abordados cuidadosamente.

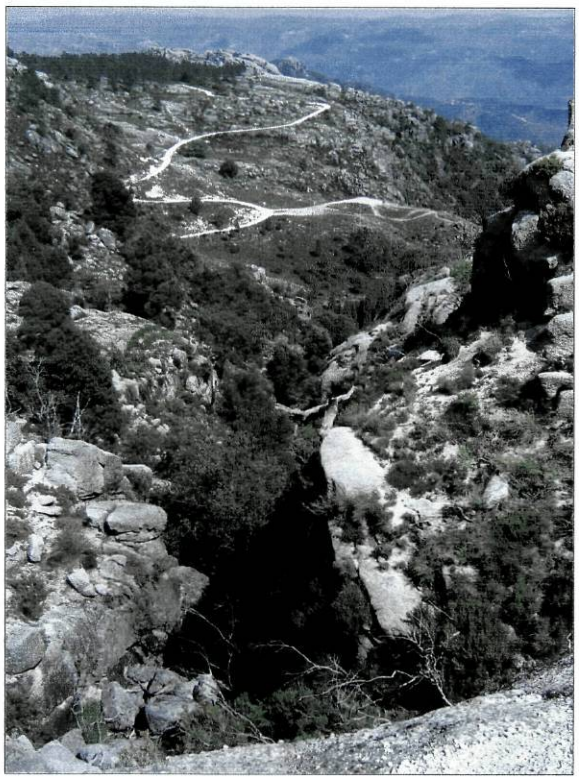


**Figura 4. 3.** Linha de água apertada, provavelmente implantada numa zona de falha (E. Gonçalves, 2004).

O Granito de Carris, Borrageiro e Tieiras, de acordo com observações de campo, encontra-se totalmente "envolvido" pelo Granito do Gerês ocorrendo, normalmente, ao longo dos pontos mais elevados da Serra do Gerês (Moreira e Ribeiro, 1991). O mesmo apresenta-se com grão fino e cor

cinzenta – amarelada, onde se destacam os minerais de feldspato (por vezes sob a forma de megacristais) e biotite verde.

O Granito do Gerês, por seu lado, apresenta uma ampla distribuição geográfica ao longo do Parque Nacional da Peneda-Gerês. A sua constituição mineralógica pode-se considerar algo semelhante ao Granito de Carris, Borrageiro e Tieiras. Segundo diversos autores, este maciço granítico apresenta (de um modo geral) grão grosseiro na periferia, com características porfiróides, e no interior apresenta grão médio a grosseiro. Em muitos locais onde se desenvolve este granito, é possível observar uma tonalidade rósea (ou avermelhada), determinada pelos feldspatos ricos em ferro. Esta situação ocorre essencialmente em muitas zonas de cisalhamento.

A presença da fracturação granítica implica, obrigatoriamente, uma maior vulnerabilidade dos granitos aos processos erosivos e geo-modeladores. Quanto mais intensa for esta fracturação, maior será a vulnerabilidade. A esta realidade, alia-se a maior facilidade de alguns granitos serem alvo de desgaste químico. Tal desgaste químico manifesta-se essencialmente em minerais da família das micas, das plagioclases e alguns feldspatos.

Na região do Gerês, o desgaste químico de alguns afloramentos graníticos está claramente evidenciado na presença de extensos "mantos de saibro", os quais correspondem a "capas" de alteração superficial.

Muitas das considerações, relativas à fracturação e desgaste físico-químico dos granitos, entram já no âmbito da geomorfologia, e contribuem para a percepção do modelo geomorfológico actual.

Na actualidade, os efeitos provocados (directa ou indirectamente) pelo homem induzem as transformações geomorfológicas mais significativas. Este facto pode ser comprovado, em muitos locais, através de



**Figura 4. 4.** Saibreira representativa do processo do processo contínuo de alteração do granito até formar solo (E. Gonçalves, 2003).

inúmeros aspectos, tais como: a abertura de estradas e caminhos, expansão de áreas urbanas, proliferação de parcelas agrícolas, desflorestações em massa (provocadas por incêndios e actividades socio-económicas), exploração de saibreiras, actividades ligadas à pastorícia, etc.

A todos estas situações referidas, estão associadas uma ou mais acções geo-modeladoras, que estão na origem de alterações significativas no ambiente geomorfológico da região. Por vezes, tais transformações introduzem desequilíbrios a nível ambiental, paisagístico e socio-económico.

Algumas das possíveis consequências dos desequilíbrios ambientais, resultantes das alterações geomorfológicas, acima enunciadas, podem ser:

- Aceleração nas taxas de erosão de solos, devido à má circulação de águas;
- Desarranjos paisagísticos, provocados pela exploração desmesurada de recursos (saibreiras, pedreiras, etc.) e proliferação de construções mal planeadas;
- Remoção de blocos graníticos, em cuja beleza lhes confira o estatuto de geomonumentos;
- Implantação de todo o tipo de barreiras físicas, que impeçam o normal abastecimento das reservas hídricas subterrâneas;
- Instabilização de encostas ou taludes devido a intervenções mal planeadas.

Para além das transformações geomorfológicas relacionadas com actividades humanas, existem outras transformações que são impostas por processos integrados nos domínios da geodinâmica externa, tais como:

- Actividade dos seres vivos (animais e plantas);
- Acção de desgaste físico e químico provocado pelas águas pluviais;
- Desgaste abrasivo provocado pelas partículas que são arrastadas pelo vento;
- Queda e arraste de solo e/ou blocos por gravidade;
- Amplitudes térmicas dia/noite;
- Efeitos resultantes de fenómenos de gelo/degelo.

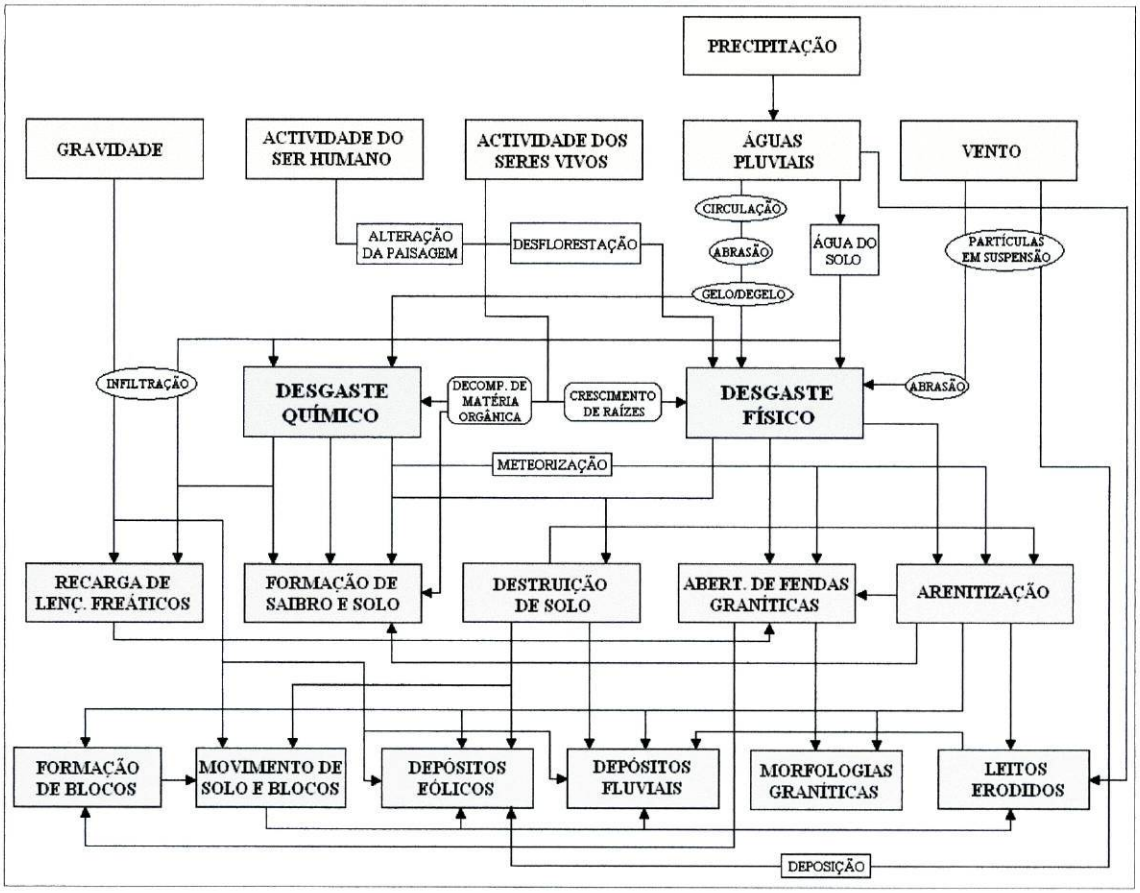



**Figura 4. 5.** Causas, processos, efeitos e suas interacções, que estão na base do modelo geomorfológico da região do Gerês (E. Gonçalves, 2003).

Como se pode constactar, podem ser bastante variadas as causas, os processos e os efeitos que hoje em dia assumem um papel bastante importante na evolução física e geomorfológica da região do Gerês. O esquema anterior (Figura 4. 5.) tenta enquadrar e relacionar essas causas, processos e efeitos de um modo simples e sistematizado.

Embora a geomorfologia, com as suas diferentes variáveis e aspectos, não constitua um verdadeiro objectivo, no âmbito do estudo das águas subterrâneas, a verdade é que, a este nível, a mesma corresponde a uma indispensável ferramenta de apoio.

Deste modo, a análise de alguns dados geomorfológicos, sob a forma de mapa, pode tornar-se essencial para a compreensão do ambiente físico, os condicionalismos naturais, e alguns processos geodinâmicos dominantes na região de Ermida.

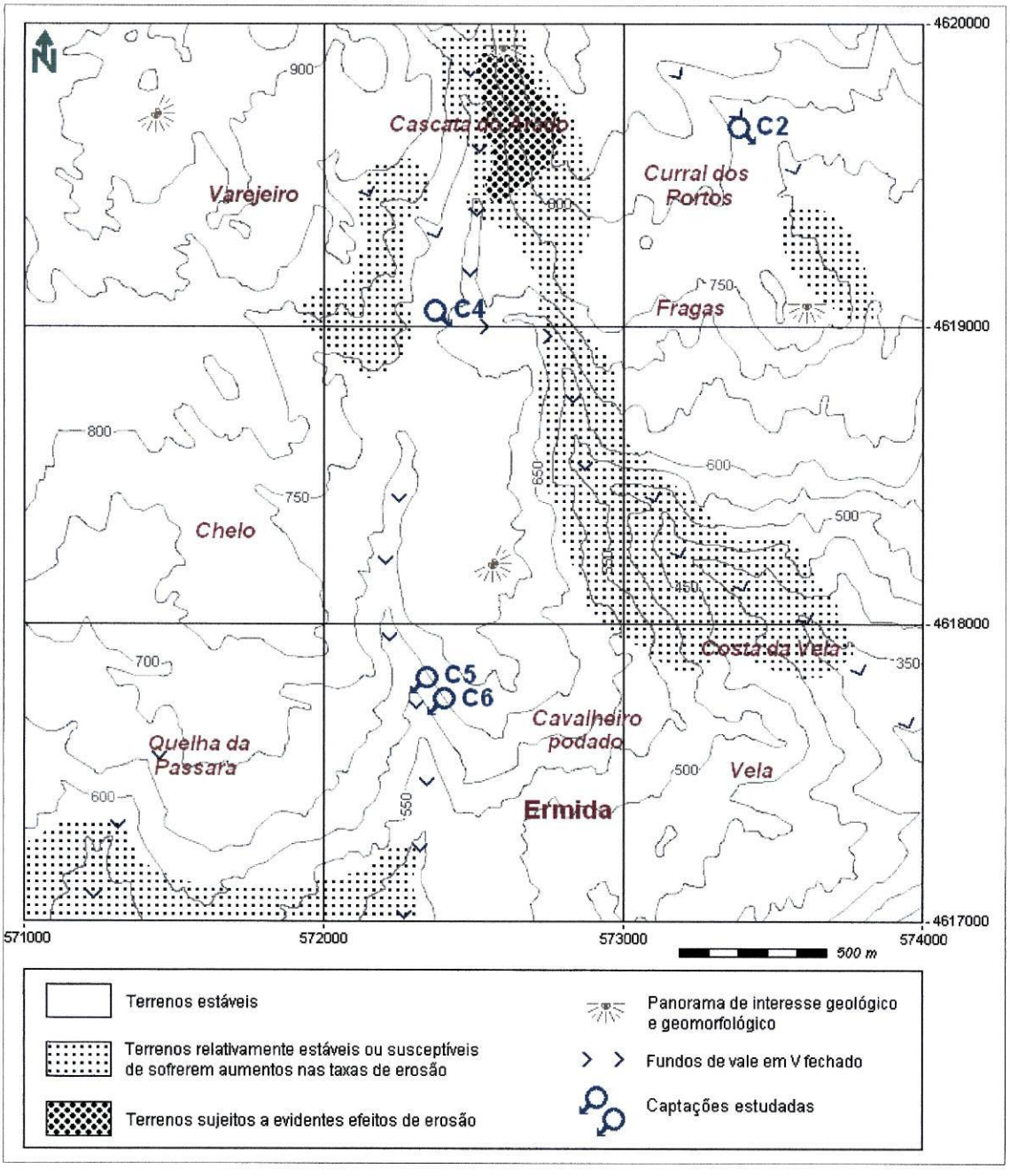



**Figura 4. 6.** Mapa geomorfológico simplificado da região de Ermida.

Os aspectos de carácter geomorfológico, no âmbito dos estudos de hidrologia subterrânea, são extremamente importantes, pois podem representar um instrumento determinante na caracterização física dos aquíferos e outras formações hidrogeológicas.

Analisando o mapa geomorfológico simplificado (Figura 4. 6.), observa-se facilmente a distribuição dos terrenos sujeitos a evidentes efeitos de erosão, ou susceptíveis de sofrerem aumentos nas taxas de erosão. Tais situações decorrem directamente do maior índice de desgaste físico-químico das rochas graníticas aí

presentes, isto é, existe um grande predomínio de saibro. Estes dados podem constituir um bom exemplo de aplicação da geomorfologia nos estudos de caracterização hidrogeológica da região de Ermida.

Como se dará conta mais adiante, a introdução dos diferentes graus de alteração do granito, numa carta hidrogeológica, permite determinar as zonas graníticas caracterizadas por maiores valores de permeabilidade.

No entanto, a importância da geomorfologia no estudo das águas subterrâneas está também evidenciada na morfologia do relevo da região. Em Ermida, esta influência é notória não só no condicionamento da hidrologia superficial, como também ao nível do escoamento hídrico subterrâneo, devido a factores gravitacionais. Neste contexto, destacar-se-á a importância da geomorfologia local na definição de perímetros de protecção. Na realidade, a definição das áreas de protecção para as captações de Ermida baseou-se na delimitação dos limites das bacias hidrográficas a montante destas, que correspondem às respectivas áreas de contribuição.

# CAPÍTULO - 5

# HIDROCLIMATOLOGIA

Em termos climatológicos, a região de Ermida, assim como todas as áreas do Gerês, fazem parte das Províncias Montanhosas do Norte de Portugal (Ribeiro, *et al.* 1987). Estas áreas estão caracterizadas por apresentarem valores muito elevados de precipitação média anual que, normalmente, ultrapassam os 2000 mm, podendo mesmo, superar a barreira dos 3000 mm.

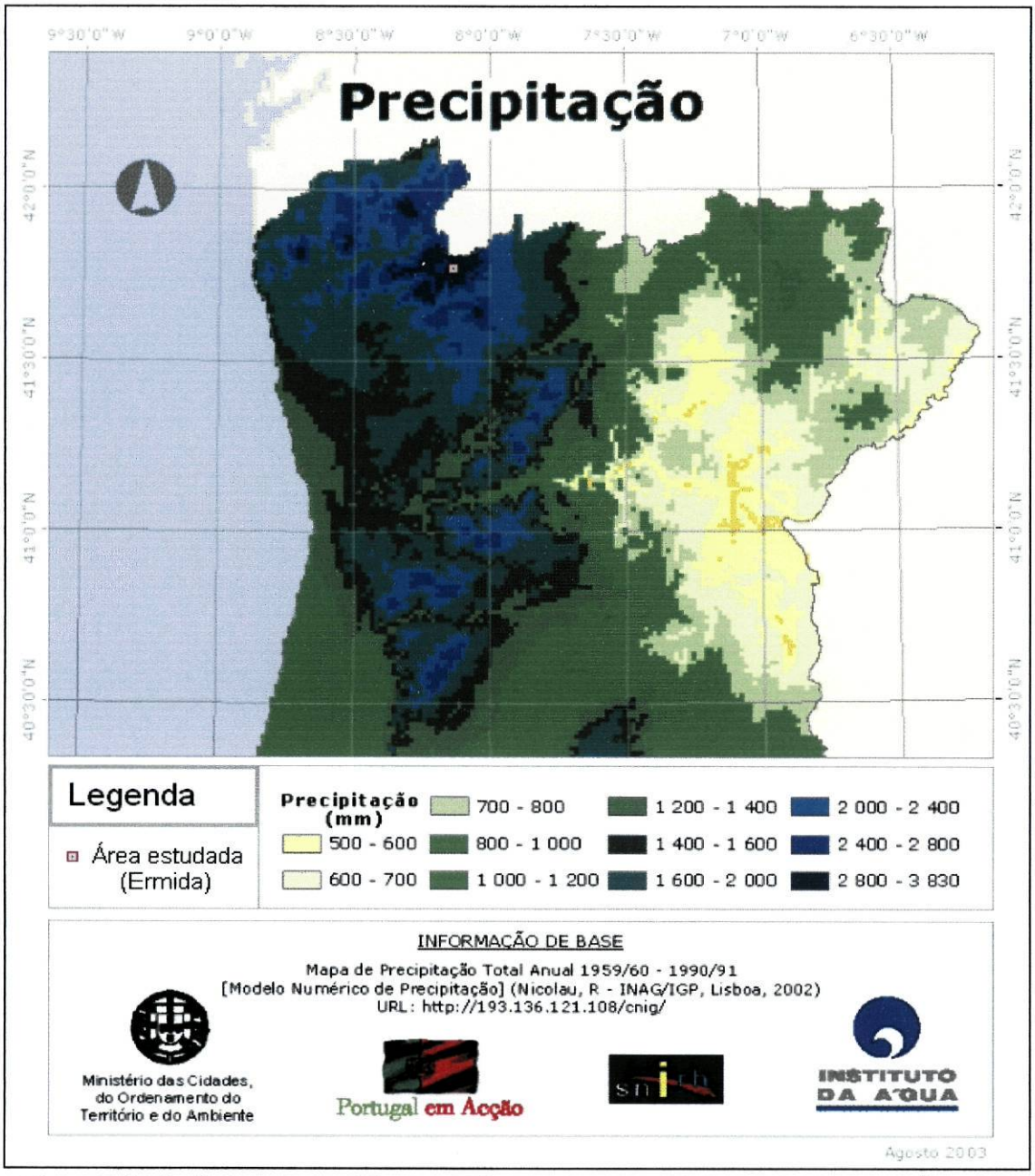



**Figura 5. 1.** Distribuição das precipitações médias anuais no norte de Portugal (Instituto da Água).

Ao mesmo tempo, as áreas onde se desenvolveu este estudo, devido ao seu enquadramento geográfico e ambiental, situam-se no Domínio Bioclimático Atlântico. Esta situação invoca uma importante influência marítima, no desenrolar dos principais eventos climatológicos da região.

Com efeito, está-se perante um clima temperado, com acentuada influência do oceano Atlântico. Esta influência, para além de constituir um dos factores potenciadores das elevadas precipitações, está também na origem das variações sazonais dos valores de humidade atmosférica, e no controlo parcial das oscilações das temperaturas da região.

Em termos de cobertura vegetal, pode dizer-se que as áreas envolventes às captações de Ermida (apesar do granito aflorante apresentar uma assinalável distribuição), estão caracterizadas por alguma variedade, principalmente ao nível das espécies de pequeno porte.

Nestas áreas, tal como acontece em todo o Norte de Portugal, a influência dos ventos de Oeste (oceânicos), que atenuam o calor e secura, estivais, e mantêm as chuvas abundantes, possibilita a presença de espécies vegetais típicas da Europa Média (Ribeiro, *et al.* 1997).

Perante o contexto aqui apresentado é possível, desde já, imaginarem-se flutuações importantes nos níveis de evapotranspiração. Estas flutuações podem dever-se a vários factores: oscilações sazonais das temperaturas, cobertura vegetal de uma dada área, altitude, quantidade de água disponível (infiltrada), etc.

A partir da análise de dados e modelos do Instituto da Água, conclui-se que a região do Gerês, juntamente com algumas áreas da Serra da Estrela, correspondem aos locais de Portugal com mais elevados valores de escoamento. Isto é, apresentam quantidades de água na rede hidrográfica, normalmente superiores a 1800 mm, podendo mesmo, nalguns casos, superar a barreira dos 2200 mm. Estas condições de escoamento resultam directamente das condições topográficas, típicas de topos de montanha, às quais estão associados elevados níveis de precipitação.

As elevadas precipitações, juntamente com os assinaláveis escoamentos das redes hidrográficas são, em grande medida, responsáveis pelos altos níveis de erosão, observáveis em muitos dos corpos graníticos e solos presentes na região do Gerês.

Destas considerações, podem extrair-se alguns argumentos para admitir a existência de porosidades e permeabilidades secundárias nos granitos, com valores que lhes confiram capacidades hidrogeológicas.

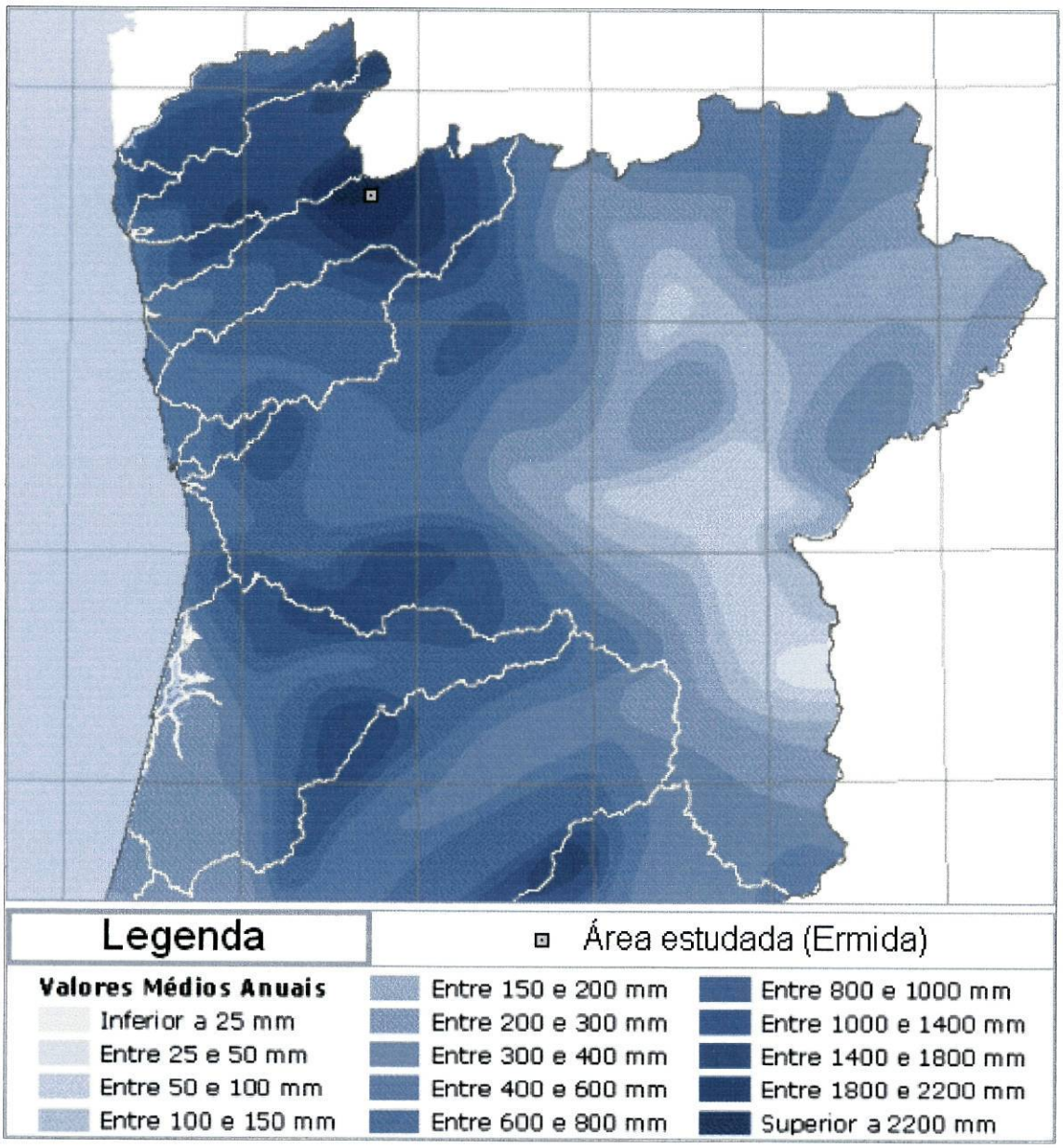



**Figura 5. 2.** Distribuição dos valores médios anuais de escoamento hídrico, no norte e centro de Portugal (Instituto da Água).

A vegetação distribui-se essencialmente ao longo das áreas situadas em cotas médias de encosta e de planalto, e nas zonas de fundo de vale. Esta é mais intensa em zonas onde o solo se encontra mais desenvolvido, favorecendo a infiltração de águas, e criando condições propícias a fenómenos de evapotranspiração, os quais assumem especial relevo durante os períodos mais quentes e secos do ano.

# 5. 1. A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CÁVADO

A região estudada integra também a Bacia Hidrográfica do Rio Cávado, e como tal, a abordagem hidroclimatológica não deve ser dissociada deste contexto. Na realidade, existe uma série de condicionantes topográficas, geográficas, hidrológicas e ambientais que exercem especial influência nos sistemas hidrogeológicos. Aliás, esta é uma das situações que o presente trabalho pretende explorar.

Com efeito, analisando os dados presentes no Plano de Bacia Hidrográfica, referente ao vale do Rio Cávado, elaborado pelo Instituto da Água, é possível reter algumas importantes considerações. Uma delas, tem a ver com a localização geográfica e importância relativa da região de Ermida, no conjunto dos fenómenos e processos intervenientes no vasto domínio hidrológico acima apresentado (Bacia Hidrográfica do Cávado).

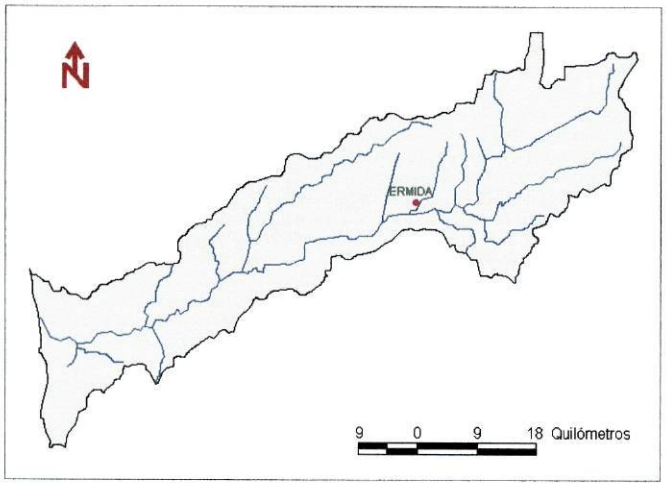



**Figura 5. 3.** Principais cursos de água da bacia hidrográfica do Cávado ( Instituto da Água).

Nas linhas que se seguem, proceder-se-á à elaboração de uma breve síntese dos principais dados referentes à bacia hidrográfica do Rio Cávado. Na verdade, estes dados são retirados, na sua totalidade, do relatório explicativo do Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Cávado. Seja como for, nesta síntese, tentar-se-á interpretar os dados sob o ponto de vista dos propósitos deste trabalho, isto é, do ponto de vista da hidrologia subterrânea dos terrenos contíguos às zonas montanhosas da bacia hidrográfica do Cávado. Nestas zonas montanhosas, incluem-se as vastas áreas da região do Gerês e, obviamente, a região de Ermida.

Deste modo, parte-se do princípio que, havendo uma boa compreensão de alguns dos principais fenómenos e aspectos relativos à bacia hidrográfica do Cávado, está-se em condições de avançar com algumas ideias e conceitos gerais. Estas ideias e conceitos podem ser suficientes para dar início à caracterização do ambiente hidrogeológico da região de Ermida.

A Bacia Hidrográfica do Cávado estende-se, geograficamente, nalgumas das regiões do noroeste de Portugal Continental. A sua extensão tem um comprimento aproximado com mais de 120 quilómetros, entre Montalegre e Esposende, a a sua orientação é de, aproximadamente: ENE – WSW.

As regiões montanhosas da bacia são as que interessam directamente para este estudo. Desta feita, torna-se necessário salientar que as regiões montanhosas deste domínio são dominadas pelas Serras do Larouco, Amarela, Barroso e Gerês.

As condições de humidade, juntamente com as condições orográficas das regiões montanhosas da Bacia Hidrográfica do Cávado, são factores preponderantes para o desenvolvimento de elevados valores de precipitação (Figura 5. 4.). Na realidade, como já foi dado a entender, está-se perante uma das regiões mais pluviosas de Portugal, com valores de precipitação superiores (nalguns casos) a 3500 mm/ano, distribuídos por cerca de 160 dias. Seja como for, os diferentes níveis topográficos, contribuem, localmente, para acentuadas dissimetrias nos valores da precipitação.

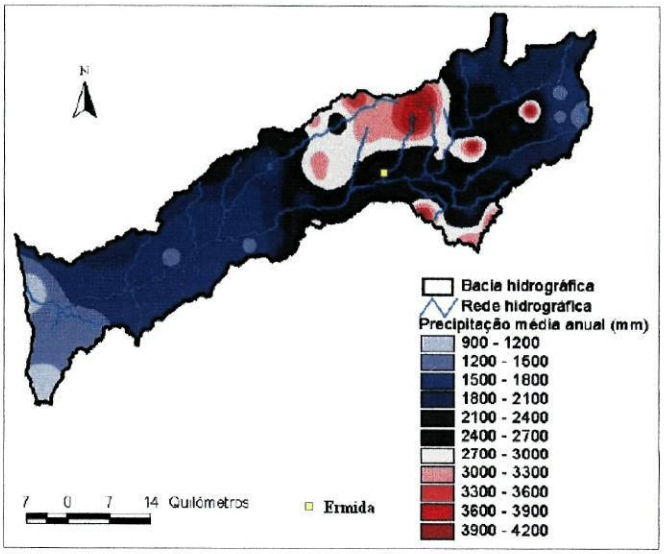



**Figura 5. 4.** Distribuição dos valores das precipitações na bacia hidrográfica do Cávado ( Instituto da Água).

As temperaturas, nas regiões montanhosas, são, naturalmente, mais reduzidas do que nas regiões mais baixas, onde os períodos de Verão apresentam valores médios na ordem dos 23° C, e onde os Invernos são do tipo fresco.

No que concerne aos valores da evapotranspiração, pode dizer-se que estes também são alvo de fortes oscilações (Figura 5. 5.). Na realidade, segundo os dados do Plano de Bacia Hidrográfica, os valores médios anuais estimados para a evapotranspiração potencial (calculados a partir do método Penman – Monteith), variam entre 1060 e 1120 mm.

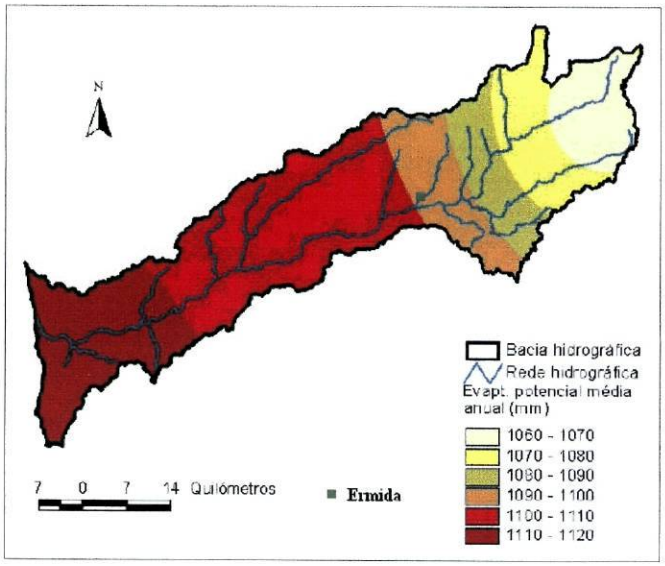



**Figura 5. 5.** Variação dos valores de evapotranspiração potencial média anual, ao longo da bacia hidrográfica do Cávado ( Instituto da Água).

Por sua vez, os valores médios anuais da evapotranspiração real oscilam entre os 490 e os 610 mm. Estes valores (de evapotranspiração potencial e real), tal como sucede com as precipitações e temperaturas, variam em função da sua localização na bacia hidrográfica. Efectivamente, nas regiões montanhosas os níveis médios de evapotranspiração são significativamente superiores aos valores das regiões médias da bacia ou as zonas mais de jusante.

As condições climatológicas aqui enunciadas contribuem para o desenvolvimento de recursos hídricos, quer nos níveis superficiais – escoamento superficial directo, quer nos níveis subterrâneos – escoamento de base. No entanto devem sempre ser consideradas outras variáveis fundamentais: a geomorfologia e a geologia.

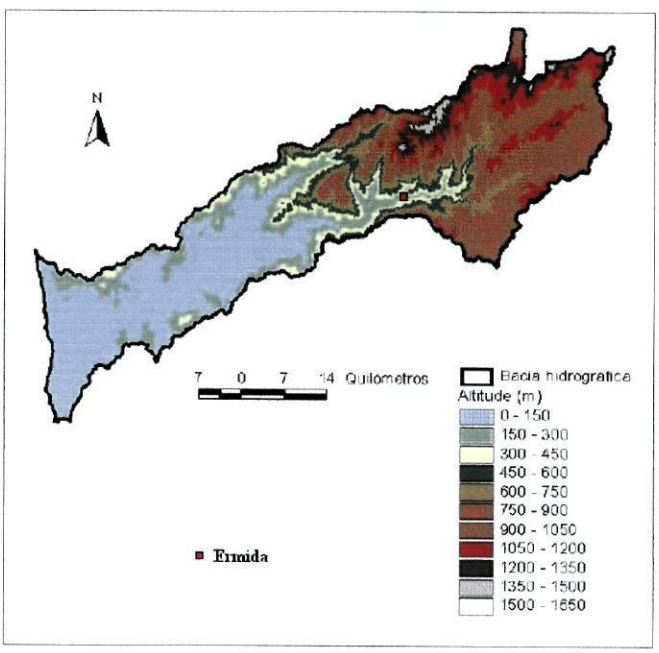



**Figura 5. 6.** Variações altimétricas das áreas referentes à bacia Hidrográfica do Cávado ( Instituto da Água).

Ao nível da geomorfologia, os principais aspectos a considerar, no contexto da Bacia Hidrográfica do Rio Cávado, são: os contrastes de relevo (variações altimétricas), as complexidades da distribuição da rede hidrográfica, e o tipo de solo existente, bem como, a sua ocupação.

Como se pode constatar, a partir da figura anterior, representativa da distribuição das classes altimétricas, as regiões montanhosas da bacia hidrográfica do Rio Cávado apresentam enormes contrastes topográficos. Na realidade, as inúmeras cores, evidenciam uma ampla gama de cotas que oscilam entre os 150 e os 1500 metros. Neste domínio, ressalta uma assinalável flutuação de classes de declive.

A análise da distribuição das principais linhas da rede hidrográfica (Figura 5.3.) deixa, por si só, imaginar uma complexa rede de afluentes e subafluentes, e de linhas de água de menor expressão. Esta situação pode, em certa medida, fornecer importantes dados sobre as disponibilidades hídricas das diferentes áreas.

A importância do solo, como factor determinante no ambiente hidrogeológico de uma dada região, é avaliada em função do tipo de ocupação do mesmo. Na realidade, é a partir desta associação que se obtêm estimações sobre a permeabilidade e, consequentemente, sobre o número de escoamento. Aliás, este número de escoamento (CN), é um parâmetro que depende directamente do uso e do tipo de solo, e reflecte o grau de permeabilidade desse mesmo solo (Instituto da Água).

Os solos extremamente permeáveis apresentam números de escoamento próximos do zero, enquanto que os solos muito permeáveis evidenciam números de escoamento próximos de 100. Teoricamente, num solo com um número de escoamento igual a 100, seria observado um escoamento igual à precipitação. Por outro lado, em solos com número de escoamento zero, apresentam escoamento nulo.

Na região de Ermida, e na maior parte das áreas envolventes, sobre as camadas de solo desenvolvem-se, normalmente, espécies florestais de grande porte, que são frequentemente acompanhadas por alguma vegetação rasteira e de pequeno porte.

A predominância, nas áreas estudadas em Ermida, de solos do tipo: cambissolo húmico granítico, associada ao tipo de vegetação presente, favorece a existência de um

número de escoamento elevado. Segundo os dados do Plano de Bacia Hidrográfica, esse número situa-se num intervalo 53 – 56 (Figura 5. 7.).

Mais adiante, no âmbito da definição dos perímetros de protecção, para as captações de Ermida, este número de escoamento relativamente elevado entra em concordância com os valores de permeabilidade determinados nas bacias de contribuição das mesmas captações.

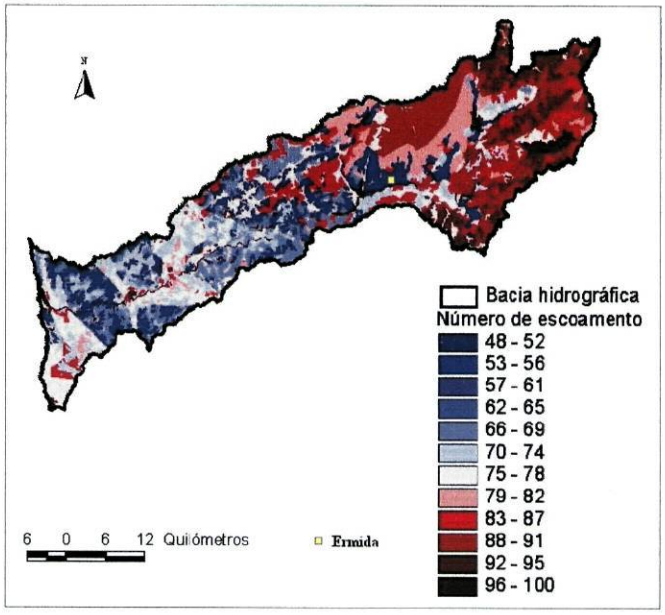



**Figura 5. 7.** Variações do número de escoamento, ao longo das diferentes áreas da bacia hidrográfica do Cávado (Instituto da Água).

O estudo da variável: geologia, entendida como promotora da formação de recursos hídricos subterrâneos, constitui um dos principais objectivos deste trabalho. No decurso do capítulo – 3, referente ao Enquadramento Geológico, foram já adiantadas algumas breves considerações sobre este assunto, o qual, será explorado de um modo mais aprofundado, no capítulo seguinte (Caracterização Hidrogeológica).

Uma região como a do Gerês não está livre de ser alvo de condições hidrológicas extremas, com a ocorrência de secas ou de cheias. Se por um lado, os dados do Plano de Bacia Hidrográfica do Cávado apontam para a não existência de zonas que inspirem especial atenção no que diz respeito a efeitos de secas, o mesmo não se poderá afirmar em relação à ocorrência de cheias.

Seja como for, a construção de diques e barragens, ao longo dos tempos, foi atenuando progressivamente os riscos e efeitos das cheias, pois permitiu, entre outras coisas, um mais eficiente controlo dos caudais.

# CAPÍTULO - 6

# CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA

Já foi referido em capítulos anteriores que a região do Gerês é fortemente marcada por extensos maciços graníticos, que afloram contínua ou descontinuamente, por entre as inúmeras cristas, encostas e fundos de vale. O granito mais abundante é o Granito do Gerês, o qual, em muitas áreas se apresenta extremamente fracturado.

Na região de Ermida assiste-se, efectivamente, ao cenário acima apresentado, onde o Granito do Gerês, assumindo as mais diversas formas geomorfológicas, se apresenta fortemente fracturado ao longo de diversas zonas de encosta.



**Figura 6. 1.** Vale do Rio Arado, um exemplo da tipicidade de paisagem granítica da região de Ermida (Foto: E. Gonçalves, 2004).

No que respeita ao grau de alteração, pode dizer-se que os corpos graníticos que se encontram em zonas de crista e topos de vertente apresentam, normalmente, os níveis mais intensos de desgaste físico-químico. A este dado associa-se um consequente, maior espaçamento entre as paredes das fracturas.

## 6. 1. CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA GERAL

Em termos hidrogeológicos, a região de Ermida, por se enquadrar num contexto geológico dominado por maciços graníticos tectonizados, é marcada por condições que favorecem um regime de fluxo hídrico subterrâneo em meio fracturado. Esta

constatação pode ser extrapolada para praticamente todas as áreas graníticas da região do Gerês.

Assim sendo, as formações aquíferas e outras formações hidrogeológicas aqui presentes desenvolvem-se ao longo de um meio geológico homogéneo. Esta homogeneidade, que se considera à escala dos afloramentos, resulta de não se desenvolverem grandes variações litológicas laterais e, obviamente, de não existir estratificação (típica de formações sedimentares).

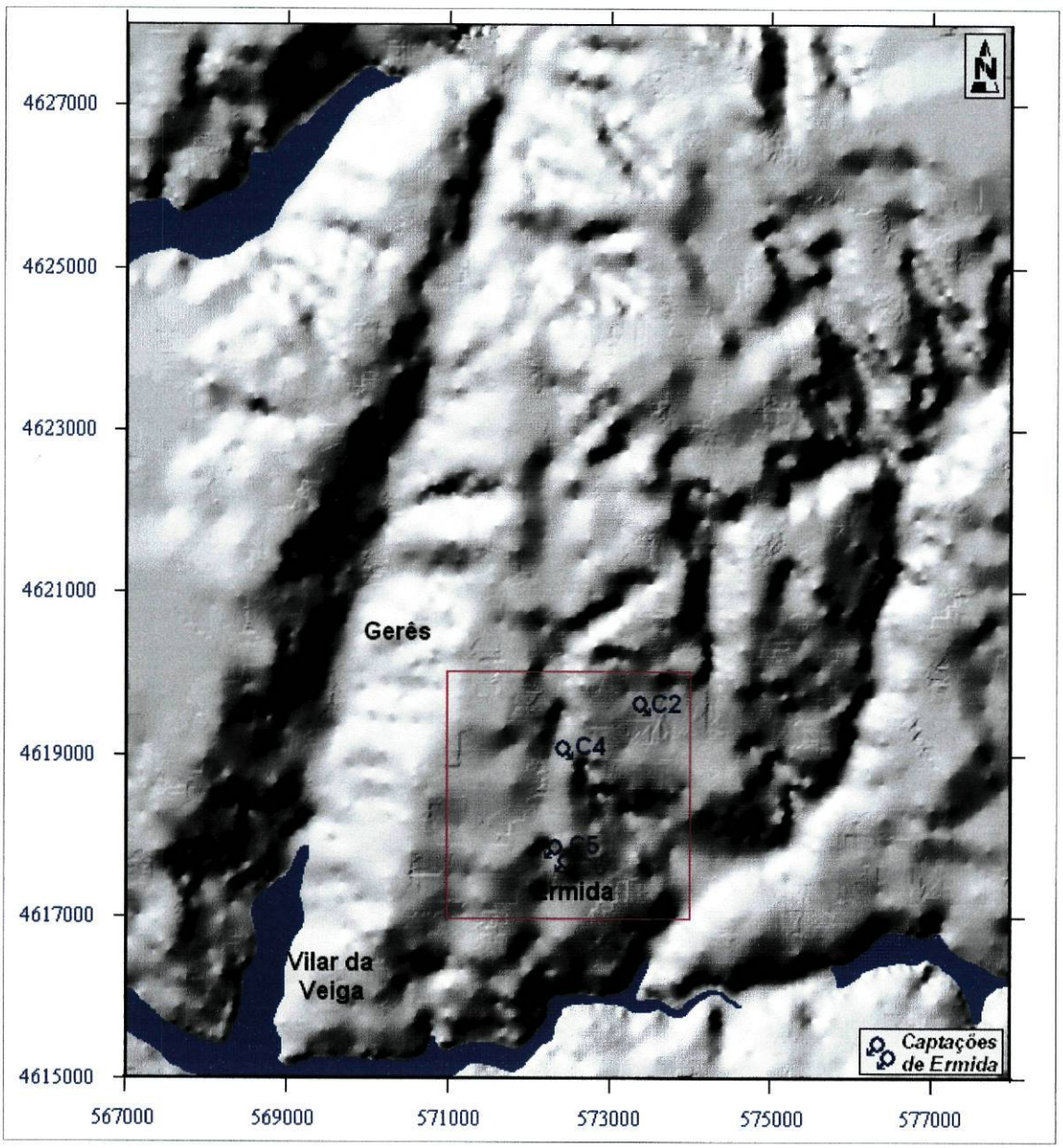



**Figura 6. 2.** Representação dos principais contrastes de relevo de Ermida e regiões envolventes.

Por outro lado, em termos hidrogeológicos, assiste-se a condições favoráveis à ocorrência de meios heterogéneos, devido à fracturação dos maciços graníticos. Nestes meios, a circulação subterrânea processa-se ao longo de direcções preferenciais, por vezes rápidas, determinadas pelas fracturas graníticas.

A hidrologia de superfície, numa região como a do Gerês, exerce uma grande influência na hidrologia subterrânea. Esta constatação é reforçada, quer no enquadramento geomorfológico geral, quer a partir da análise geomorfológica local, pois estas permitem obter ideias objectivas sobre a densidade da rede hidrográfica superficial, das cristas e das vertentes, das áreas favoráveis à recarga e descarga de águas subterrâneas (Figura 6. 2.). Estas análises podem também tornar-se úteis na definição de zonas propícias à ocorrência de nascentes e de terrenos saturados em água.

Normalmente, em meios cristalinos fracturados, como os que se desenvolvem na região do Gerês, por vezes, não se encontram facilmente aquíferos que dêem origem a captações com grandes produtividades. Aliás, é mais provável encontrarem-se aquíferos muito produtivos em meios porosos, típicos de ambientes sedimentares. Efectivamente, em regiões graníticas, as captações mais produtivas raramente ultrapassam os três litros por segundo, sendo já razoável encontrarem-se caudais na ordem de um litro por segundo (Carvalho, 2001).

Na região do Gerês, existem bastantes dados que deixam transparecer a ideia da existência de importantes armazenamentos e circulações de águas subterrâneas. Esta ideia pode comprovar-se pela a existência de minas, furos de água e outros tipos de captações. Um bom exemplo disto, são as incontáveis fontes e fontanários que se encontram à beira das estradas da região do Gerês. A esta situação junta-se o facto de se encontrarem, em diversas áreas, inúmeras nascentes e terrenos saturados em água (solos) durante longos períodos do ano.

A partir da análise de alguns destes dados, podem tecer-se, desde já, algumas considerações gerais sobre as potencialidades hidrogeológicas da região do Gerês (e consequentemente da região de Ermida), tais como:

- Elevada circulação de águas superficiais, devido às também elevadas precipitações médias anuais (situação já referida no capítulo anterior);

- Existência de áreas favoráveis à infiltração de águas em níveis subterrâneos, a partir de fracturas graníticas (principalmente em áreas de cume), e a partir de camadas de solo e vegetação (principalmente em zonas de vertente);
- Presença de áreas favoráveis à descarga de águas subterrâneas, fundamentalmente em zonas de fundo de vale e em bases de vertentes;
- Ocorrência de assinaláveis redes de fracturação, nalguns casos profundas, promotoras da circulação e armazenamento de águas subterrâneas. Estas ocorrências podem ser interpretadas a partir da análise da fracturação superficial e de algumas linhas de água;
- Em muitos locais da Serra do Gerês, os espaçamentos, entre os planos de fractura, podem atingir vários centímetros. Esta situação pode incrementar os processos de circulação das águas nos níveis subterrâneos fracturados;
- Os solos existentes apresentam, de um modo geral, fracções minerais dominantemente arenosas e detríticas. Deste modo, existe a especial tendência para a formação de solos com texturas médias a moderadamente grosseiras, caracterizados por porosidades e permeabilidades bem desenvolvidas;
- A heterogeneidade dos relevos da Serra do Gerês, e particularmente da região de Ermida, permite a ocorrência de encostas com declives acentuados e contínuos. Nestas circunstâncias, é plausível a existência de gradientes hidráulicos subterrâneos.

## 6. 2. CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA LOCAL

A partir da análise da localização geográfica das diferentes captações de Ermida, conclui-se que as mesmas se encontram bem distribuídas ao longo da área definida para este estudo, isto é, encontram-se, de um modo geral, bastante afastadas umas em relação às outras (Figura 6. 3).

Nalguns meios porosos, não consolidados, este dado poderia indicar condições para a existência de caudais consideráveis para cada uma das captações, pois existiriam poucas influências de umas sobre as outras.

No entanto, como já foi referido, a região de Ermida é dominada por um ambiente granítico, e a partir da análise dos valores dos caudais médios anuais, pode concluir-se que aquelas captações são pouco produtivas. Algumas delas podem mesmo ser detentoras de produtividades extremamente reduzidas (ver anexos).

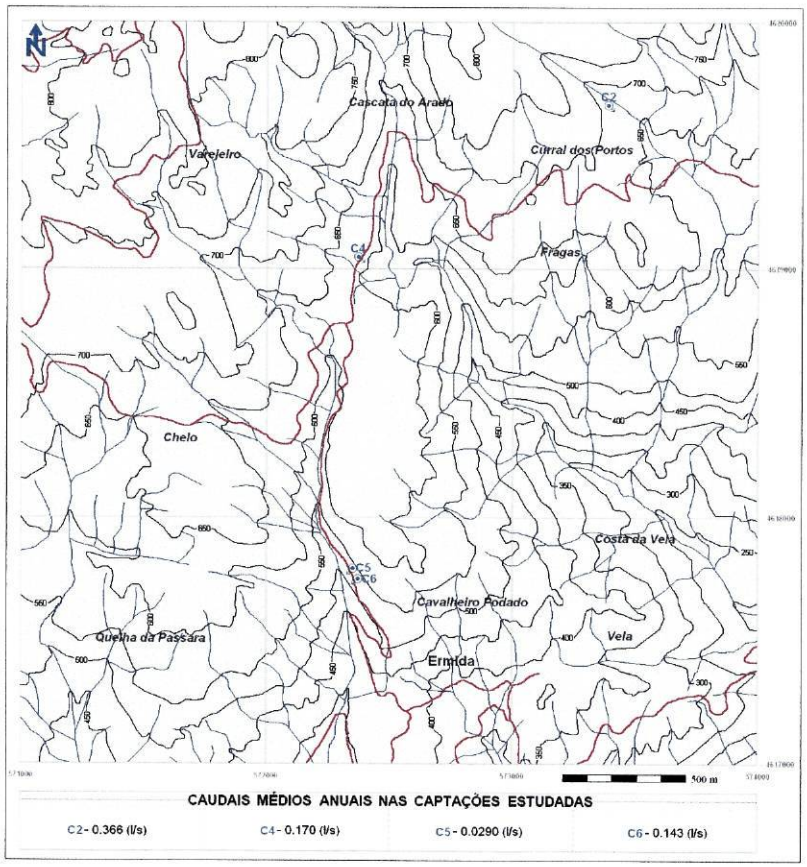



**Figura 6. 3.** Localização geográfica das captações em funcionamento e seus caudais médios anuais.

Esta situação verifica-se, apesar da ocorrência dos (já referidos), elevados valores de precipitação média anuais e de humidade atmosférica, a que a região, normalmente, se encontra sujeita.

Uma hipótese provável, que de certo modo ajudará explicar esta situação, poderá estar relacionada com o facto de os meios cristalinos fracturados, admissíveis para a região, não constituírem bons reservatórios de águas subterrâneas.

Uma outra hipótese não menos credível, para a explicação de tão baixas produtividades (e deseja-se que esteja mais próxima da realidade), sugere que este cenário se possa dever, essencialmente, à "rudimentar" concepção e às pouco expeditas planificações prévias das captações. Além disso, as captações estudadas evidenciam, de um modo geral, mau estado de conservação e manutenção. Aliás, em duas das captações (C1 e C3), das seis inicialmente seleccionadas para o estudo, não foi possível extrair qualquer registo sobre parâmetros físico – químicos (caudal, pH, temperatura condutividade eléctrica e mineralização total), pois estas encontram-se degradadas.

No decurso desta caracterização hidrogeológica local, serão exploradas algumas variáveis naturais intervenientes, directa e/ou indirectamente no funcionamento nos sistemas hidrogeológicos das áreas envolventes às captações. Essas variáveis enquadram-se, essencialmente nos domínios da fracturação, da topografia, e do solo e cobertura vegetal.

### 6. 2. 1. FRACTURAÇÃO GRANÍTICA

No que concerne ao meio cristalino fracturado (granítico), após algumas observações e avaliações, empreendidas à superfície, pode dizer-se que é extremamente complexo, apesar da sua homogeneidade litológica. Essa complexidade resulta directamente da bem desenvolvida rede de fracturação mesoscópica, constituída por diaclases e pequenas falhas, que se distribuem segundo variadas famílias. Essas famílias de diaclases são alvo de variações, em termos de predominância de umas em relação às outras, em função do local de estudo. O mesmo se pode dizer em relação à fracturação macroscópica, ou seja, os alinhamentos tectónicos de maior envergadura.

Juntamente com as observações e interpretações de campo, foram feitas medições de atitudes de fracturas em quatro sectores da região (Figura 6. 4.). No decurso deste processo, foram registados, um total de mil e sessenta atitudes de planos de fracturas, em cujos diagramas de roseta e estereogramas representativos estão apresentados nas figuras que se seguem (Figuras: 6. 5, 6. 6. e 6. 7).

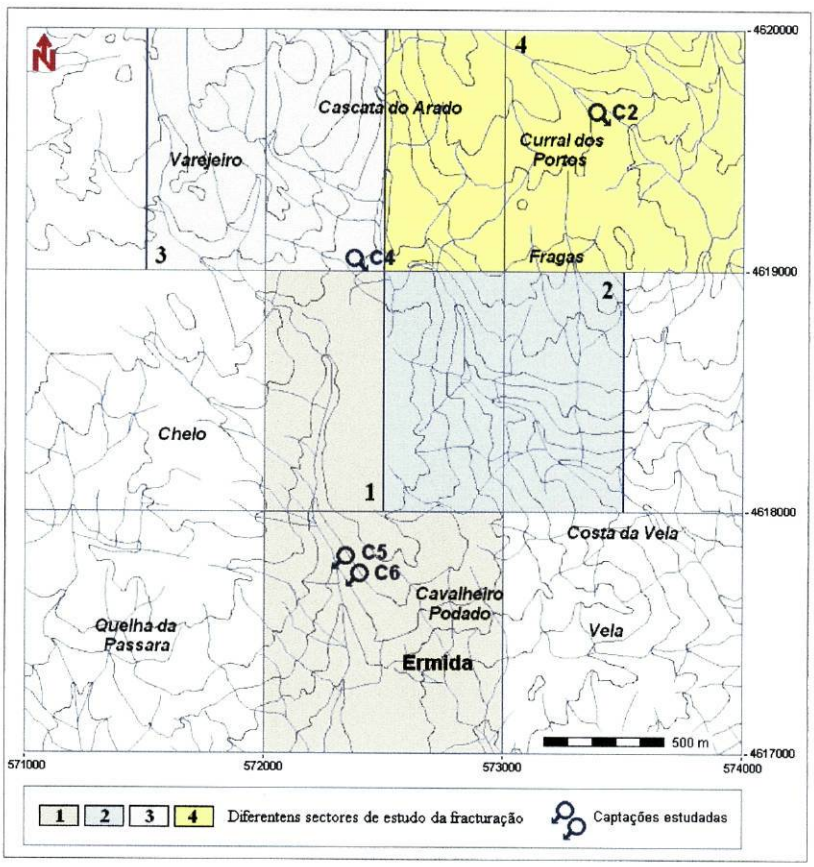



**Figura 6. 4.** Sectores da área estudada onde foram efectuadas as medições dos planos de fracturas.

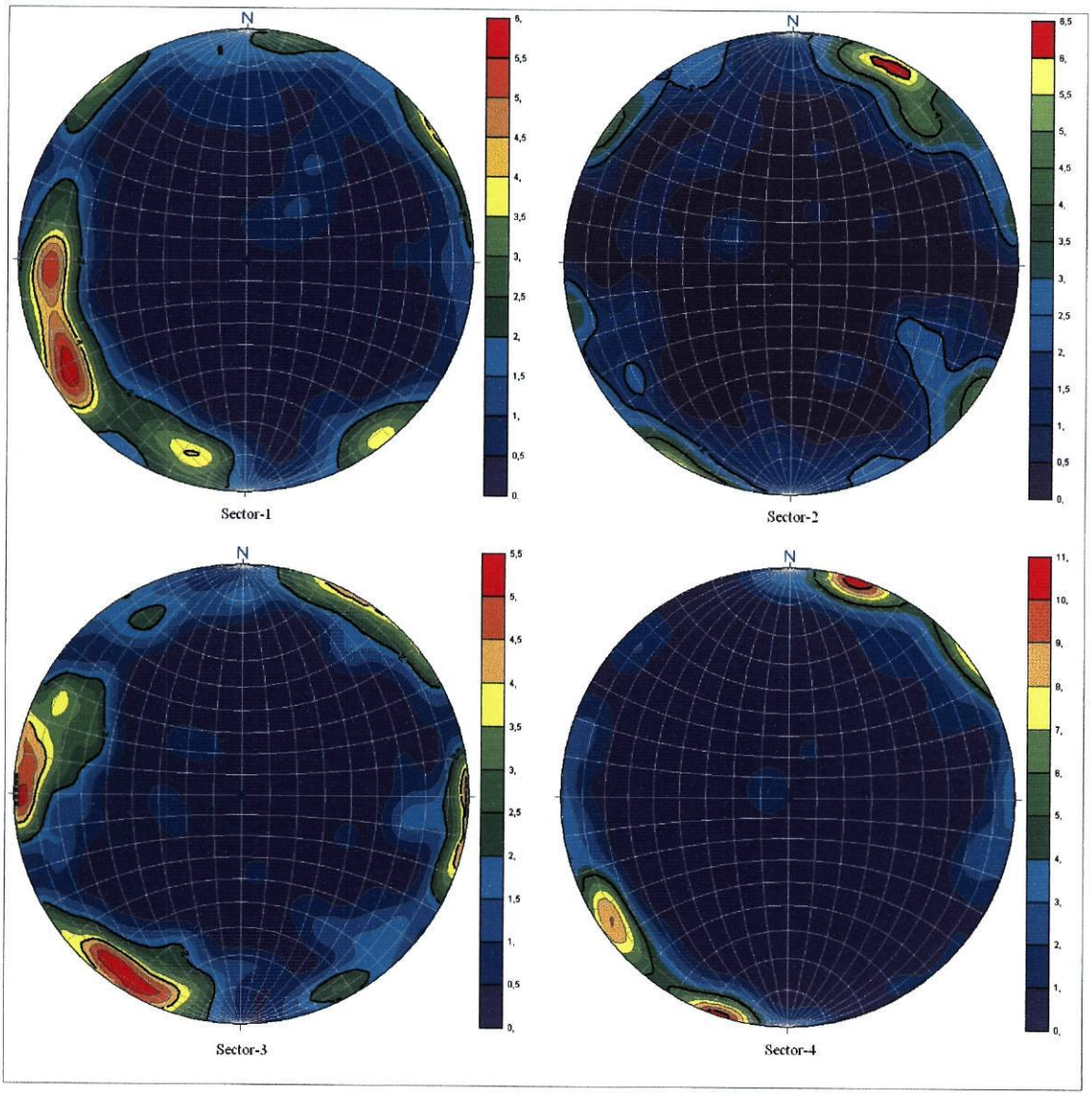



**Figura 6. 5.** Projecções estereográficas representativas das zonas com maior e menor concentração de pólos de planos de diaclases, nos diferentes sectores.

A partir da análise da projecção estereográfica polar, e principalmente dos diagramas de roseta (Figura 6. 5.), podem identificar-se inúmeras orientações possíveis para a fracturação. No entanto, é possível destacar-se algumas orientações predominantes, ou famílias de fracturação, que são respectivamente:

- WNW – ESE, que corresponde a uma orientação comum a todos os sectores;
- NW – SE, também muito frequente nas áreas de Ermida;
- N – S, com variações menos frequentes para as orientações: NNW – SSE e NNE – SSW;
- NE – SW, a menos frequente de todas.

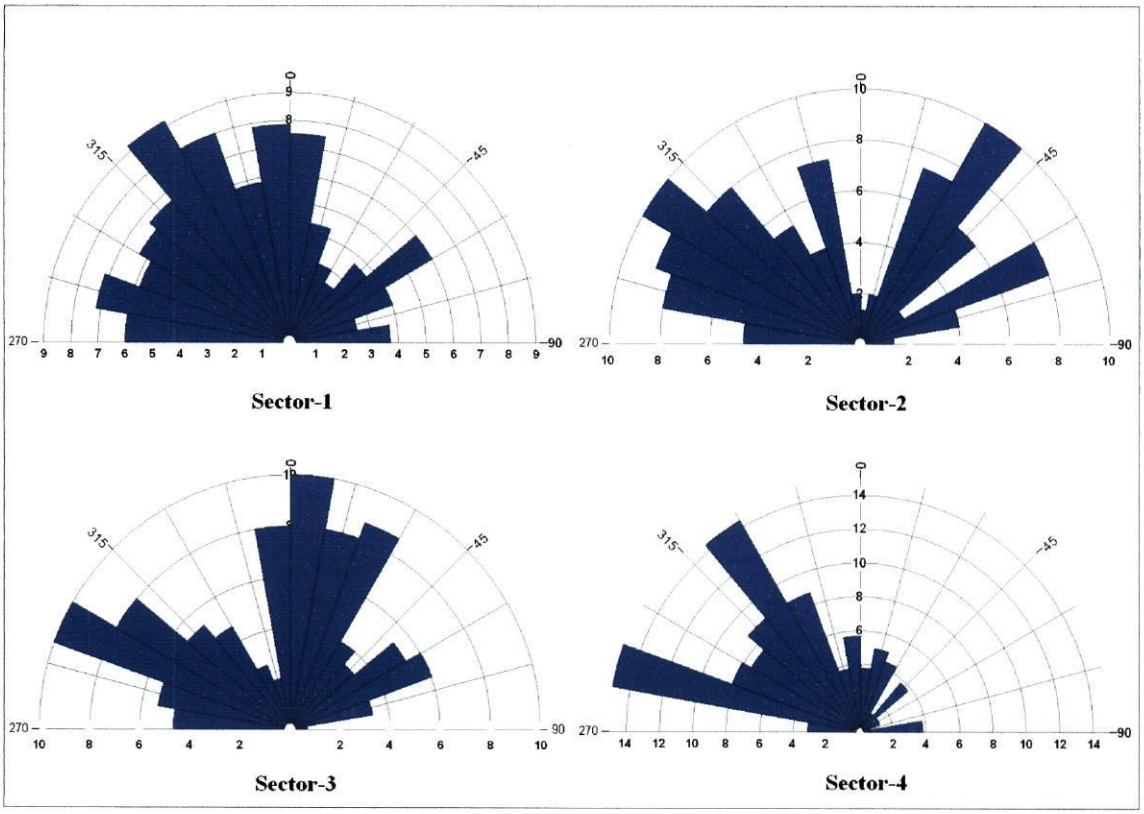



**Figura 6. 6.** Diagramas de roseta representativos das principais orientações dos planos de diaclasamento.

A projecção estereográfica polar acima apresentada exibe, explicitamente, "regiões" com maior e menor concentração de pólos. Os planos principais definidos a partir do centro das "regiões" com maior concentração de pólos, indicam que a grande maioria dos sistemas de fracturação mesoscópica (diaclases e pequenas falhas), apresenta inclinações muito próximas da verticalidade. Este dado sugere que a grande maioria destes sistemas de fracturação não tenha tido origem em fenómenos relacionados com a descompressão litostática, mas antes, tenha sido originado por esforços tectónicos bem orientados. No entanto, é de crer que a descompressão litostática tenha estado simultaneamente na origem de algumas fracturas mais próximas da horizontalidade, e de algumas aberturas verificáveis entre planos de fracturas.

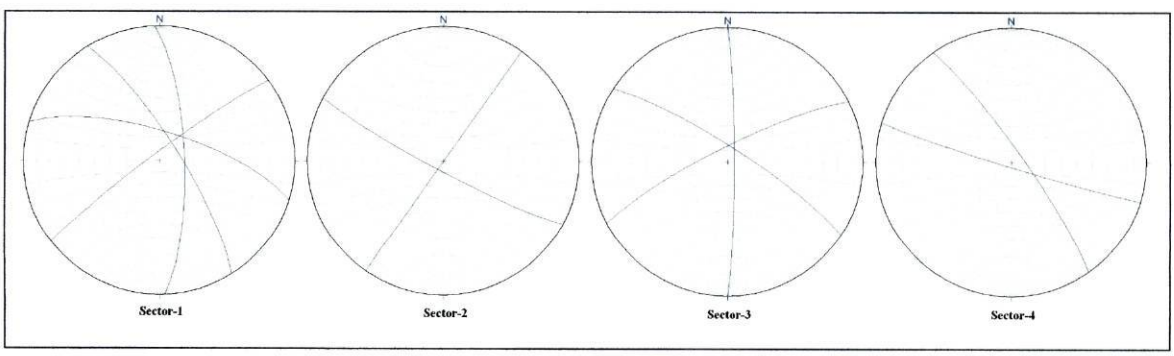



**Figura 6. 7.** Projecções estereográficas representativas dos planos perpendiculares à zonas com maior e menor concentração de pólos da Figura 6. 5..

O primeiro sector (ou sector–1) indicado na Figura 6. 4. é, de todos, o que apresenta a maior densidade de sistemas de fracturas graníticas. Ao mesmo tempo, nesse sector, são também mais abundantes as famílias de fracturas, primárias e secundárias. No entanto, a grande maioria destas fracturas encontra-se, de um modo geral, em rocha granítica sã, ou com baixos graus de meteorização, enquanto que as fracturas dos demais sectores encontram-se, mais frequentemente, em rochas fortemente meteorizadas (principalmente na vizinhança das captações). Em muitas situações, esta forte meteorização está na origem de grandes aberturas (na ordem dos dez centímetros) entre os planos de fracturação.

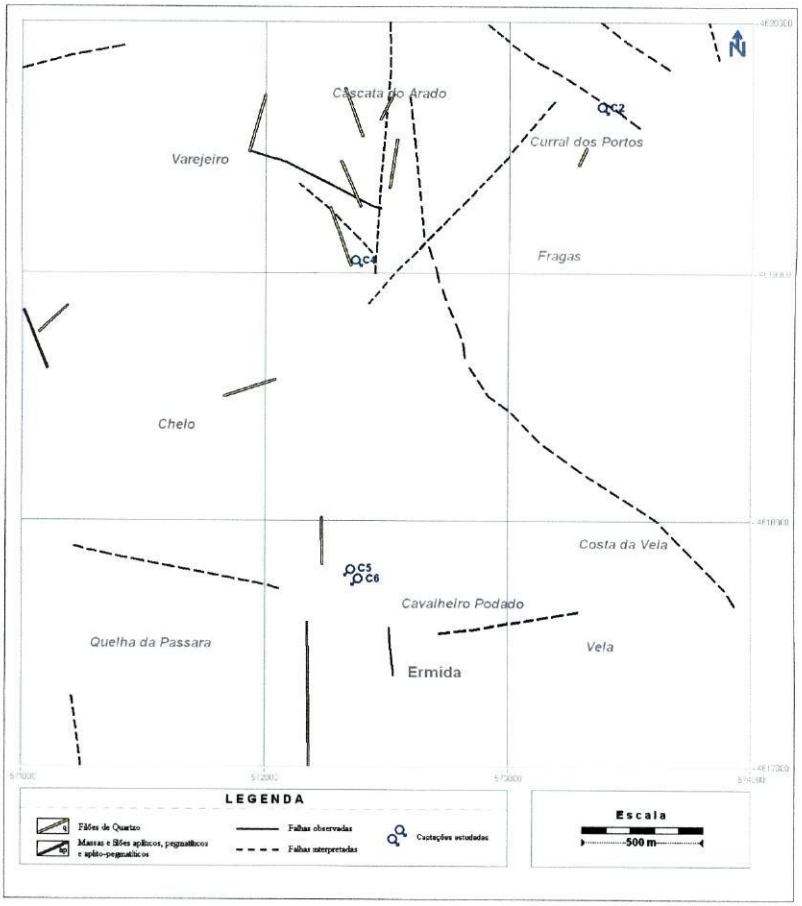



**Figura 6. 8.** Principais alinhamentos tectónicos da região de Ermida.

A ausência de furos de sondagens, poços e minas, na região, impediram a realização de observações e análises directas sobre a distribuição dos sistemas de fracturação em profundidade.

Em meios cristalinos fracturados, é assumida como regra geral, a progressiva diminuição da distribuição das fracturas e da abertura das mesmas com a profundidade. No entanto, podem existir situações, em que até profundidades de algumas dezenas ou centenas de metros tal situação não se verifica (Fetter, 2001).

Nalgumas das áreas situadas a montante da povoação de Ermida, através da análise da observação e da análise de algumas barreiras de estrada florestal, é possível efectuou-se estimativas, mais ou menos credíveis, sobre a continuidade dos sistemas de fracturas em níveis subterrâneos. Estes dados, por si sós, podem ser suficientes para definir áreas mais e menos favoráveis à circulação e ao armazenamento de águas em meios subterrâneos.

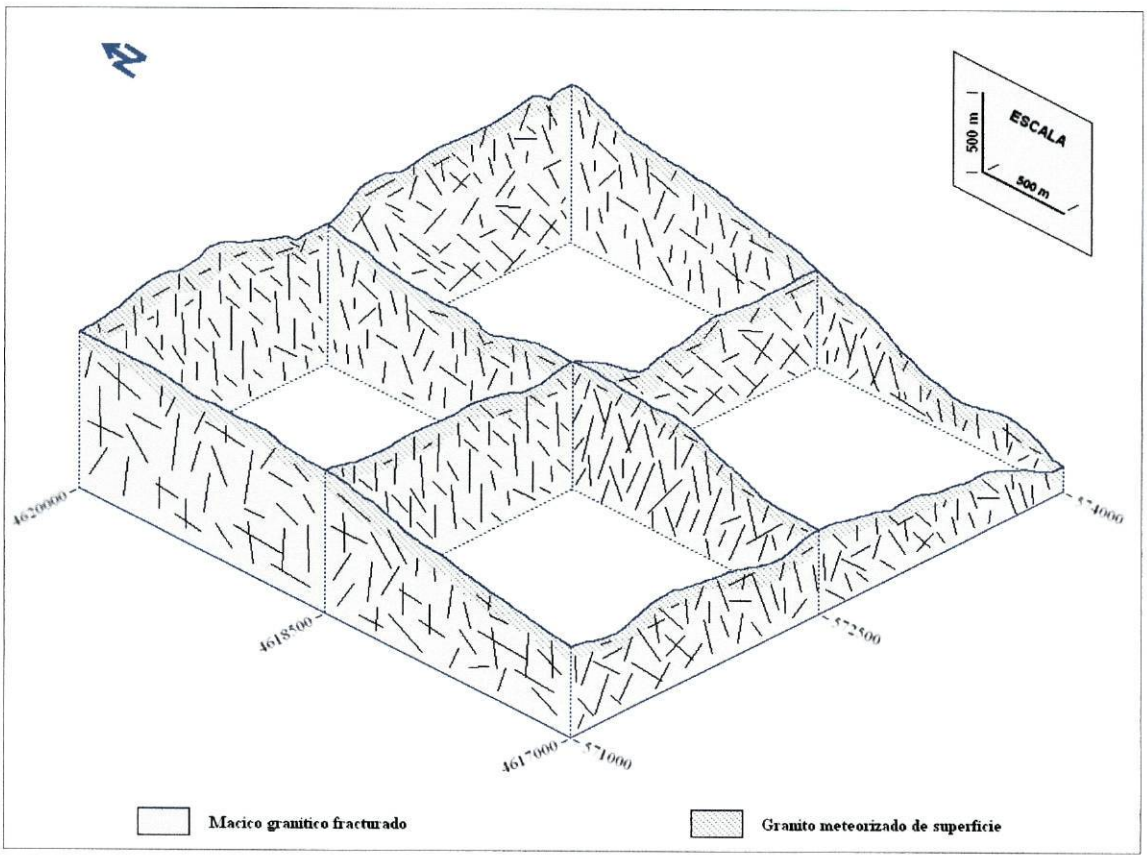



**Figura 6. 9.** Representação, sob a forma de "diagrama de cerca", da disposição das principais famílias de fracturas, e estimativas da extensão, em profundidade dos níveis de granito meteorizado.

O preenchimento de fracturas, por parte de material fino, de cariz argiloso, corresponde a um fenómeno pouco representativo na região, no entanto, o mesmo pode ser observado nalguns (poucos) planos de fractura do Sector–1. Nos restantes sectores, devido ao facto de, normalmente, se observarem maiores aberturas entre os planos das fracturas, os materiais argilosos são praticamente inexistentes. Com efeito, devido a este fenómeno apresentar uma representatividade tão reduzida, não se pode dizer que constitua um verdadeiro condicionante para o funcionamento hidrogeológico dos sistemas hidrogeológicos da região de Ermida.

Nalguns locais estudados, as fracturas existentes constituem verdadeiras falhas geológicas, sendo que poucas das que foram observadas evidenciam grandes alinhamentos, em termos de extensão.

Na carta geológica relativa à região de Ermida (apresentada no capítulo terceiro), estão marcadas pequenas falhas, assim como, grandes tracejados, onde se interpretam falhas.

No decurso dos trabalhos de campo, foi possível detectar, pelo menos num desses alinhamentos, a presença de uma importante falha. Nesta zona, encontra-se também uma linha de água (permanente) bastante apertada.

Existem outras linhas de água bem vincadas na região, nas quais se pode adivinhar a presença de falhas, no entanto, não foi possível identificar vestígios que o comprovem.

As orientações da maioria daquelas falhas reais e interpretáveis estão, em grande medida, de acordo com as orientações preferenciais dos planos de fractura (diaclases e pequenas falhas) que foram esquematizados nos diagramas de roseta atrás apresentados (Figura 6. 8.).

A partir da análise e interpretação destes dados, referentes à fracturação macroscópica (falhas regionais) e mesoscópica (diaclases e pequenas falhas), é possível, desde já, obter-se uma ideia, mais ou menos aproximada, do funcionamento hídrico subterrâneo da região de Ermida.

### 6. 2. 2. TOPOGRAFIA

Já foi referido, ao longo deste trabalho, que a região do Gerês é essencialmente montanhosa, e que as áreas estudadas em Ermida não constituem uma excepção a esta regra.

Em trabalhos de hidrogeologia, é facto adquirido que a análise geomorfológica se reveste de grande importância. Ainda mais, quando uma região apresenta grandes irregularidades de

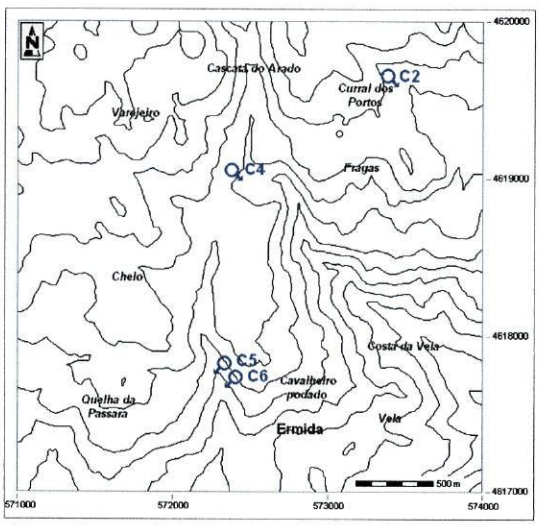



**Figura 6. 10.** Principais linhas hipsométricas da região estudada.

relevo, que são materializadas por vertentes íngremes, vales apertados e salientes linhas de crista. Na realidade, estas características de relevo influenciam sobremaneira os padrões de circulação de águas, quer em superfície, quer em níveis subterrâneos.

As Figuras 6. 11. e 6. 12., representam respectivamente um mapa de declives, e um mapa de classes altimétricas. Nestas figuras podem identificar-se algumas das características topográficas e geomorfológicas atrás enunciadas.

Ao mesmo tempo, podem adivinhar-se e seleccionar-se algumas áreas com elevado potencial hidrogeológico, pois constituem verdadeiras zonas de descarga de águas subterrâneas.

Estas áreas de descarga de águas correspondem, essencialmente, a fundos de vale e bases de vertentes. É nestas zonas e locais que normalmente, se criam condições favoráveis à acumulação de cargas hidráulicas, responsáveis pela obtenção de captações com produtividades consideráveis. Porém, as análises geomorfológicas e topográficas não se limitam a fornecer dados relativos a zonas de descarga, ou potencialmente favoráveis à implantação de captações, mas também à identificação de zonas propícias à recarga e circulação de águas subterrâneas.

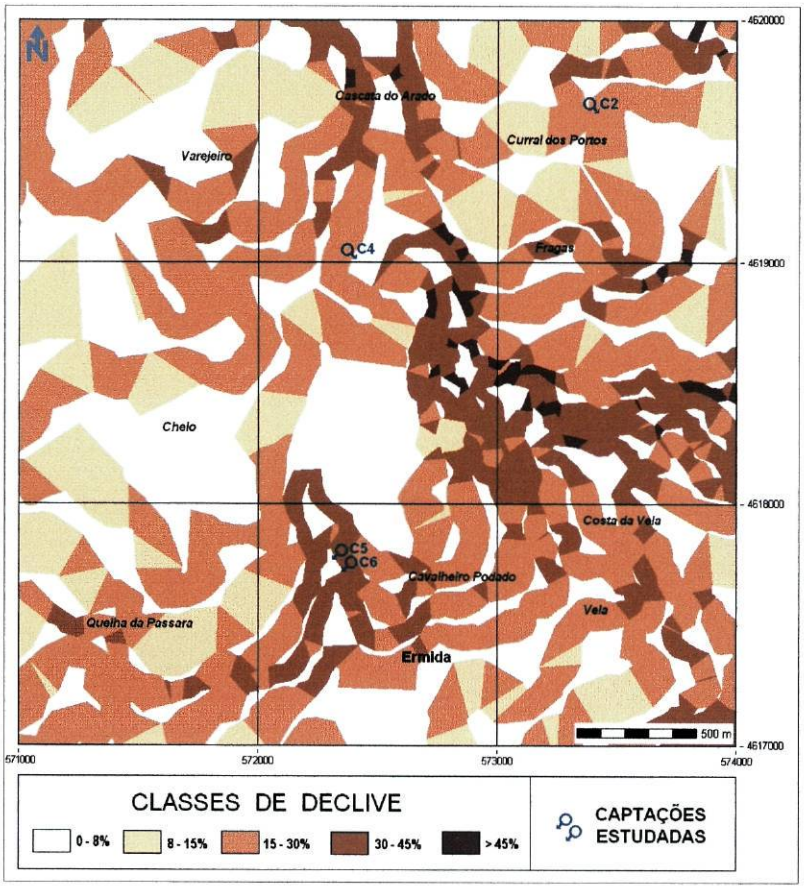



**Figura 6. 11.** Mapa de classes declives da região de Ermida (Adaptado de Parque Nacional da Peneda-Gerês).

Em suma, as análises topográficas e geomorfológicas, facilitadas pela informação fornecida nas mesmas figuras, podem por si só prover dados sobre algumas das direcções principais de circulação de águas subterrâneas, entre as zonas de recarga e as zonas de descarga.

Interessa, a este nível, definir, do ponto de vista hidrogeológico, os conceitos de recarga e de descarga.

Assim sendo, segundo Freeze & Cherry (1979), uma área de recarga pode ser definida como a porção da bacia de drenagem onde, o fluxo das águas subterrâneas, entra directamente para a zona saturada.

Segundo os mesmos autores, uma área de descarga é entendida como a porção da bacia de drenagem onde o fluxo subterrâneo sai directamente para fora da própria zona saturada.

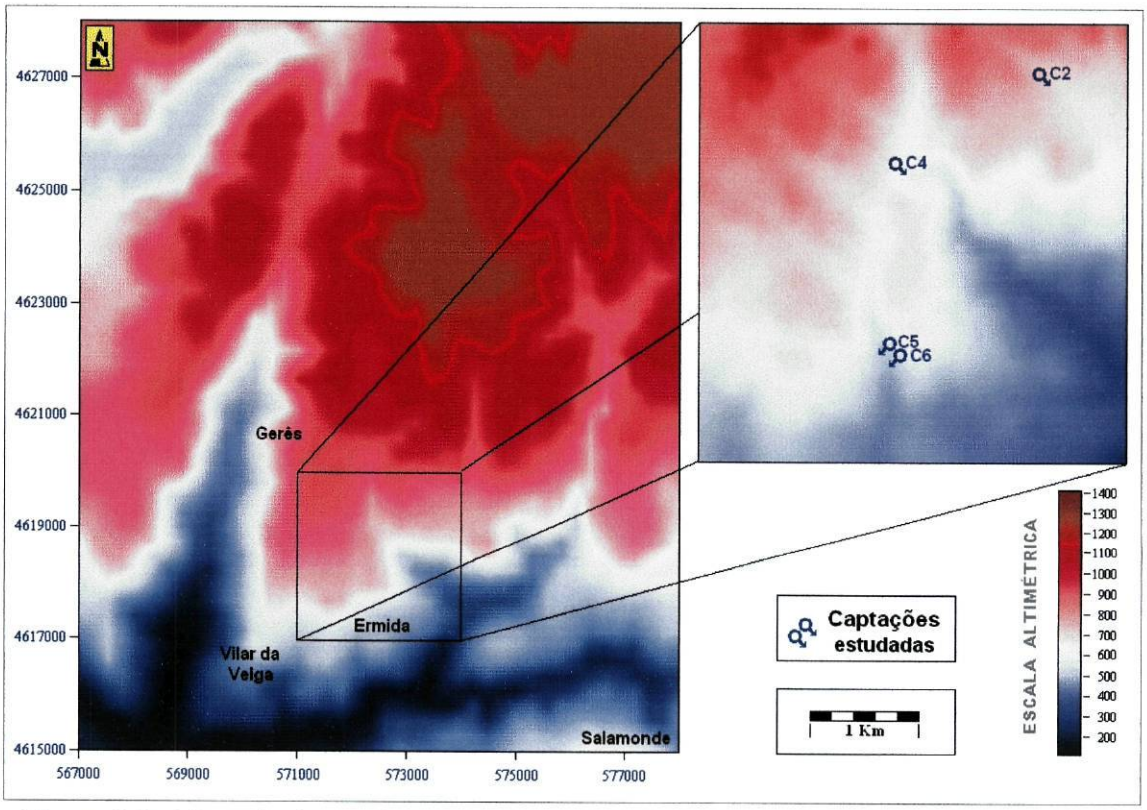



**Figura 6. 12.** Mapas de classes altimétricas da região do Gerês e de Ermida (E. Gonçalves, 2004).

Decorre ainda destas definições que, numa área de recarga, os terrenos saturados, normalmente, encontram-se a uma certa profundidade (alguns metros), enquanto que numa área de descarga, esses terrenos encontram-se total ou parcialmente em contacto com a superfície topográfica.

### 6. 2. 3. SOLO E COBERTURA VEGETAL

As condições climáticas de uma região como a do Gerês (marcadas, como se disse, por valores elevados de precipitação média anual), favorecem o desenvolvimento de vegetação abundante, de grande e pequeno porte. É obvio que as características

geológicas, geomorfológicas e topográficas da região assumem também um importante papel na manutenção desta vegetação.

Na realidade, a litologia granítica, em interacção com outros factores pedológicos, propicia o desenvolvimento de solos húmicos. Estes solos, apesar de geralmente se concentrarem em fracções esqueléticas, possuem enormes fertilidades e são dificilmente lixiviáveis. Desta forma, se explica o desenvolvimento de fortes coberturas vegetais, em muitas das encostas e fundos de vale da região de Ermida.

As porções de solo, juntamente com a vegetação, criam condições especiais de infiltração de águas superficiais, e de posterior retenção de grande parte das mesmas, antes de chegarem aos aquíferos.

As águas retidas entre as proximidades da superfície topográfica e os níveis radiculares mais profundos são normalmente designadas por: águas do solo.

Quando os solos se encontram saturados em água, vão criar-se condições simultâneas de descarga para a superfície, e para a recarga de aquíferos e outras formações hidrogeológicas. Este cenário é facilmente observável na região estudada, principalmente durante os meses mais húmidos do ano.

As situações simultâneas de descarga para a superfície, e de recarga de aquíferos, por águas oriundas de solos, podem ser facultadas por eventuais desníveis de relevo, bem como, elevados valores de

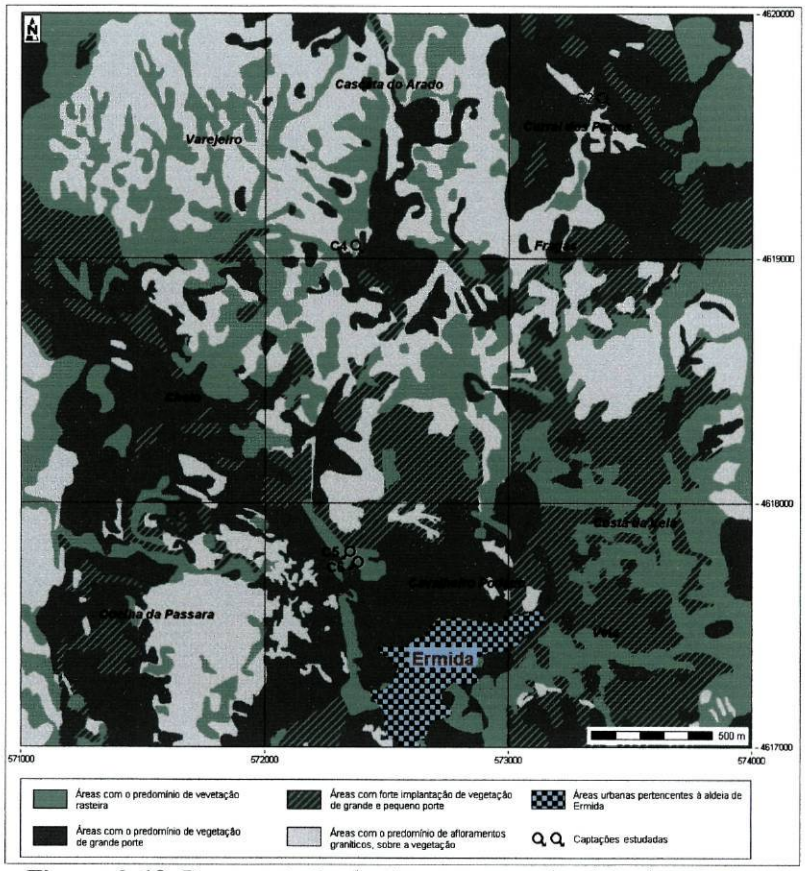



**Figura 6. 13.** Representação das áreas com predomínio de vegetação de grande e/ou pequeno porte.

permeabilidade. Estas duas condições são, como já é sabido, uma regra na região de Ermida.

Desta forma, o solo e a vegetação podem considerar-se factores determinantes do meio hidrogeológico estudado. A partir da análise da Figura 6.13., onde está representada a distribuição dos terrenos dominados por vegetação de grande e/ou pequeno porte, podem deduzir-se áreas onde se encontram condições potencialmente favoráveis à existência de solos saturados em água, durante largos períodos do ano. Estas áreas podem apresentar consideráveis potencialidades hidrogeológicas.

Os indicadores, fracturação granítica, solo e vegetação, e topografia, podem não ser suficientes para a obtenção de graus de confiança satisfatórios, quanto à existência de zonas de elevado potencial hidrogeológico.

Deste modo, torna-se necessária a realização de estudos adicionais, de modo a auxiliar a obtenção de graus de confiança mais satisfatórios. Nestes estudos adicionais podem incluir-se campanhas de identificação de nascentes, de linhas de água (permanentes e não permanentes), estudos de prospecção geofísica, estudos piezométricos, estudos e análises de captações já existentes, sínteses de dados sob a forma de mapas hidrogeológicos, etc.

### 6. 2. 4. ESBOÇO HIDROGEOLÓGICO

De forma a sintetizar e ordenar alguns dados geológicos, geomorfológicos e hidrogeológicos, contribuintes para a compreensão do funcionamento dos sistemas hídricos subterrâneos da região de Ermida, procurou elaborar-se um Mapa Hidrogeológico.

A importância da realização de mapas hidrogeológicos em estudos de águas subterrâneas é, há muito tempo, sobejamente reconhecida pelos mais diversos autores de hidrogeologia. Segundo Castany (1975), os mapas hidrogeológicos representam as principais estruturas hidrogeológicas, em cuja principal informação, corresponde à litologia. Nesta medida, conservam os elementos essenciais de um mapa geológico, como a litologia e os aspectos estruturais. No entanto, estes mapas são sempre interpretados sob o ponto de vista das águas subterrâneas.

Segundo aquele autor, nos mapas hidrogeológicos, a reprodução dos diferentes dados deve ser simplificada em certos pontos, e enriquecida noutros, em relação aos mapas geológicos (Figura 6. 14).

Não saindo, obviamente, desta mesma linha de pensamento, deseja-se que tais mapas forneçam indicações objectivas sobre as condições de armazenamento subterrâneo de uma determinada região. Para que tal seja possível, é indispensável a obtenção de uma síntese equilibrada entre os dados geológicos e os dados relativos às águas subterrâneas.

Neste trabalho, como não foi possível recolher dados suficientes para a elaboração de um mapa hidrogeológico, procedeu-se à realização de uma representação mais simplificada – o esboço hidrogeológico.

O esboço hidrogeológico que se segue resulta da sobreposição da informação seguinte:

- Hipsometria;
- Rede hidrográfica;
- Mapa de nascentes;
- Mapa da distribuição de captações;
- Litologia;
- Fracturação e filões;
- Mapa geomorfológico.

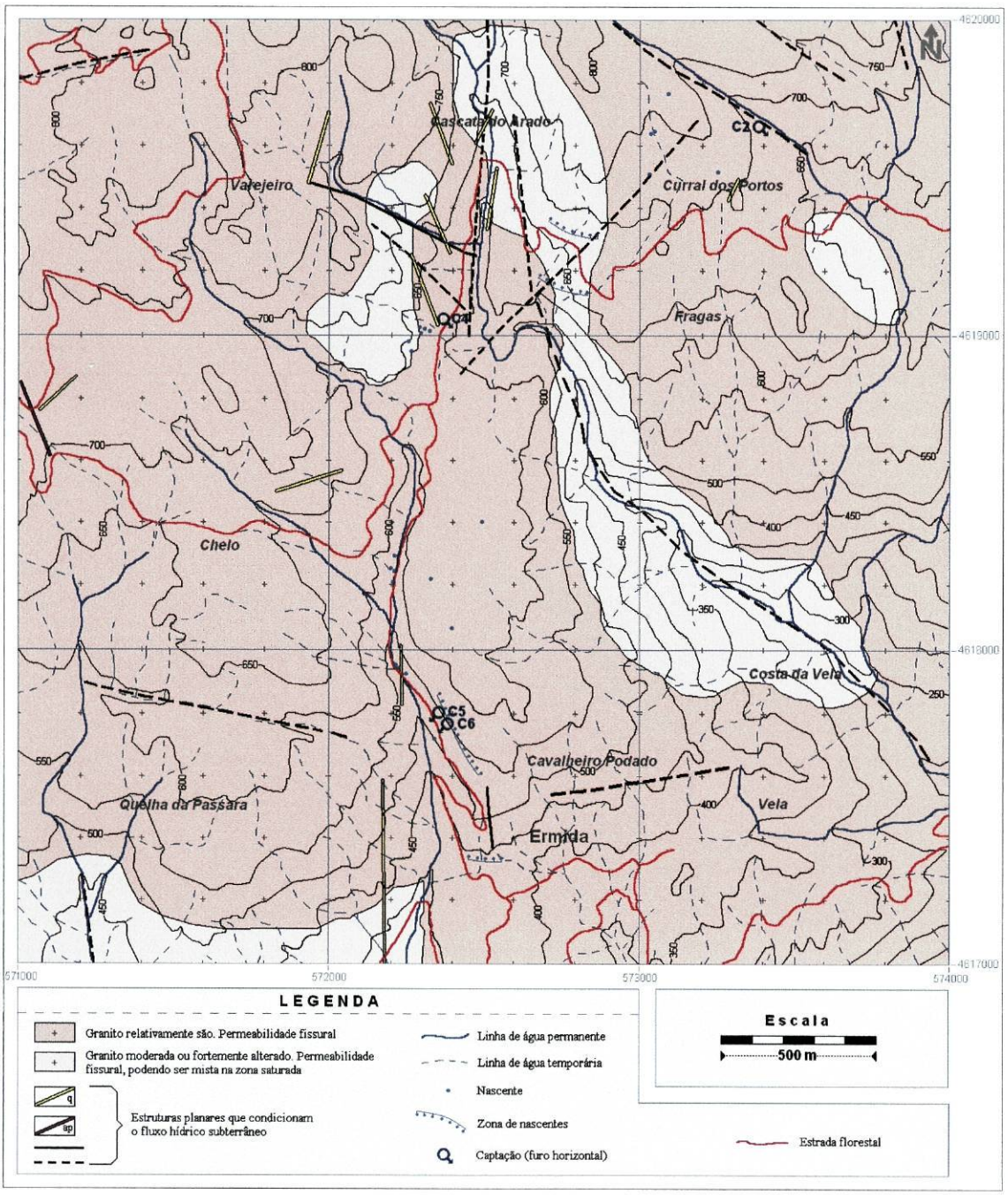



**Figura 6. 14.** Esboço hidrogeológico da região de Ermida.

A análise esquemática dos dados representados no esboço hidrogeológico acima apresentado permite realçar alguns aspectos que reforçam ideias atrás afloradas e, ao mesmo tempo, reproduz em grande medida, as condições de armazenamento e circulação de águas subterrâneas. Deste modo, podem destacar-se os seguintes aspectos:

- O fluxo hídrico subterrâneo tem tendência a desenrolar-se, em meio fracturado, segundo orientações preferenciais: E – O, NNE – SSW, N – S e NNW – SSE, pois são estas as principais orientações da fracturação.
- Existência de alguns cursos de água permanentes, devidos à influência de reservas hídricas subterrâneas em épocas de estiagem;
- Ocorrência de inúmeras nascentes, resultantes da saturação de terrenos superficiais, e da exurgência de águas, motivadas pela provável existência de fracturas em profundidade. Verificou-se uma média de cerca de cinco nascentes por quilómetro quadrado;
- As captações da região são horizontais e encontram-se implantadas em encostas e áreas próximas de fundos de vale, ou seja, zonas propícias à descarga de águas subterrâneas.

### 6. 2. 5. MODELO DE FLUXO TRIDIMENSIONAL

Com base nalguns dos aspectos atrás apresentados e explorados, é possível, desde já, adiantar algumas considerações sobre o funcionamento hidrogeológico da região de Ermida, mais concretamente, sobre as áreas envolventes às captações existentes. Alguns desses aspectos tidos em consideração, e explorados, interagem directamente com o meio hídrico subterrâneo, enquanto que outros interagem de um modo mais indirecto.

No campo das considerações, e das suposições decorre, entre outras, uma ideia mais ou menos precisa sobre a natureza e tipo de fluxo hídrico existente na região. Trata-se, obviamente, do modelo hidrológico, que engloba o fluxo e a circulação de águas superficiais, e a escorrência de águas subterrâneas.

É obvio que os aspectos relacionados com a topografia, fracturação (falhas e diaclases), correspondem a alguns dos principais factores a ter em conta na realização de um modelo de fluxo.

Partindo deste princípio, foi possível articular os dados referentes à fracturação, com um Modelo Digital do Terreno, representativo das heterogeneidades do relevo. Na figura que se segue (6. 15) estão representados, de forma simplificada, os principais padrões de fluxo hídrico subterrâneo da região de Ermida.

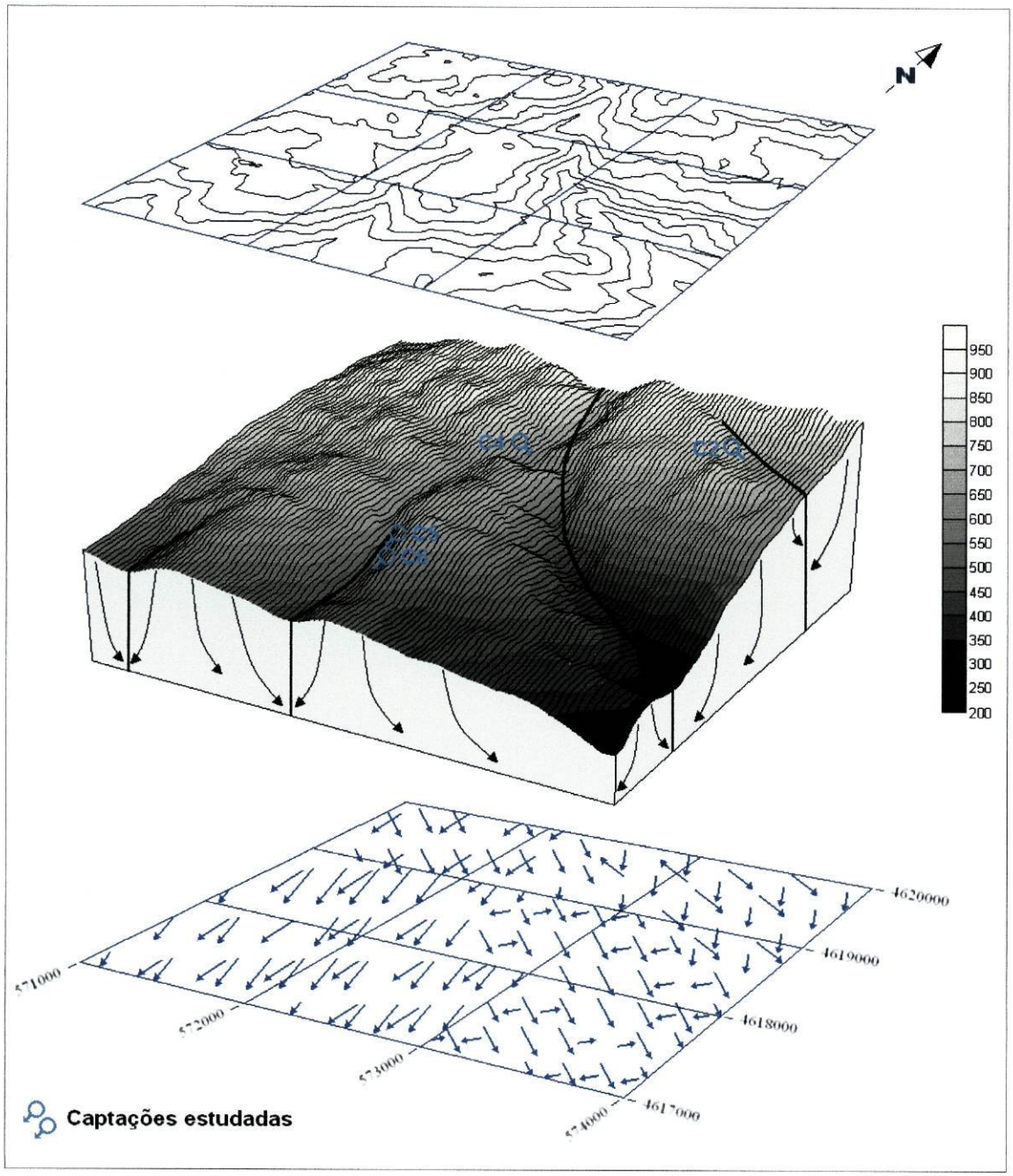



**Figura 6. 15.** Modelo de fluxo tridimensional.

Na mesma figura, podem deduzir-se, entre outros aspectos:

- As principais orientações das linhas de escorrência superficial, determinadas pelas linhas de água;

- As principais orientações de fluxo hídrico subterrâneo, determinadas pelas direcções preferenciais da fracturação, e estruturas filoneanas, ao longo dos diferentes sectores;
- Áreas favoráveis à infiltração (encostas, zonas de cume e planaltos);
- Áreas propícias à descarga de águas subterrâneas (linhas de água, bases de vertente e fundos de vale);

Apesar de qualitativos, os dados acima esquematizados, sob a forma de modelo de fluxo, bem como, as interpretações dos mesmos, constituem uma ferramenta indispensável no âmbito da selecção de áreas favoráveis à implantação de eventuais captações de águas subterrâneas.

Na mesma figura, as prováveis orientações das principais linhas de fluxo subterrâneo foram definidas com base nos principais alinhamentos da fracturação (representados nos diagramas de roseta) e na distribuição dos desníveis topográficos dos vários sectores.

Facilmente se constata que as linhas de fluxo representadas evidenciam variados padrões de orientação e de sentido de escoamento. Por conseguinte, não se pode afirmar que se destaque dos demais, um único padrão de fluxo hídrico subterrâneo na região de Ermida.

Extrapolando um pouco, pode dizer-se que a situação descrita nas linhas anteriores é típica de regiões com grandes desníveis topográficos. Segundo Freeze & Cherry (1979), em "meios com grandes desníveis topográficos, não faz sentido falar-se em fluxo hídrico regional, pois estes meios dão origem a bacias de fluxo hídrico superficial e subterrâneo limitados por linhas de cume, que funcionam como linhas de separação de águas".

No âmbito da compreensão do fluxo hídrico subterrâneo da região de Ermida, convém ainda salientar que os possíveis aquíferos e outras formações hidrogeológicas, têm a particularidade de não serem confinados (ou cativos), ou seja, são livres. Aliás, esta é uma característica comum a todos os aquíferos que se desenvolvam em meios cristalinos fracturados.

Nestas condições, (em meios cristalinos) o fluxo hídrico subterrâneo é regido, essencialmente, por meio de factores gravitacionais. Assim sendo, a escorrência

subterrânea das águas (das zonas de recarga para as zonas de descarga) é fortemente controlada pela topografia.

Este controlo topográfico pode ser registado, por exemplo: nas nascentes e captações localizadas em zonas de descarga. Os caudais observáveis em captações localizadas nestas zonas são, em grande medida, controlados pelos gradientes hidráulicos, provocados pelos desníveis topográficos.

## 6. 2. 6. TERRENOS SATURADOS EM ÁGUA E ÁREAS FAVORÁVEIS À IMPLANTAÇÃO DE CAPTAÇÕES

No decurso dos trabalhos realizados, inseridos no âmbito do estudo hidrogeológico da região de Ermida, foi possível identificar algumas áreas (ou terrenos) saturadas em água, durante longos períodos do ano. Nalguns locais, esta saturação superficial dos terrenos observou-se durante o ano inteiro, mesmo durante os meses de estio, que foram identificados em lameiros e em saibreiras.

Este é um fenómeno que está na origem de muitas nascentes, e resulta da intersecção de níveis freáticos com a superfície topográfica, pois está presente em algumas zonas favoráveis à descarga. Neste sentido, o mesmo fenómeno, pode ser considerado um importante indicador hidrogeológico, pois evidencia zonas de potencial recarga de reservatórios hídricos subterrâneos.

Enquanto que as nascentes correspondem a fenómenos pontuais, os terrenos saturados em água assumem um desenvolvimento espacial, ao longo de áreas mais ou menos

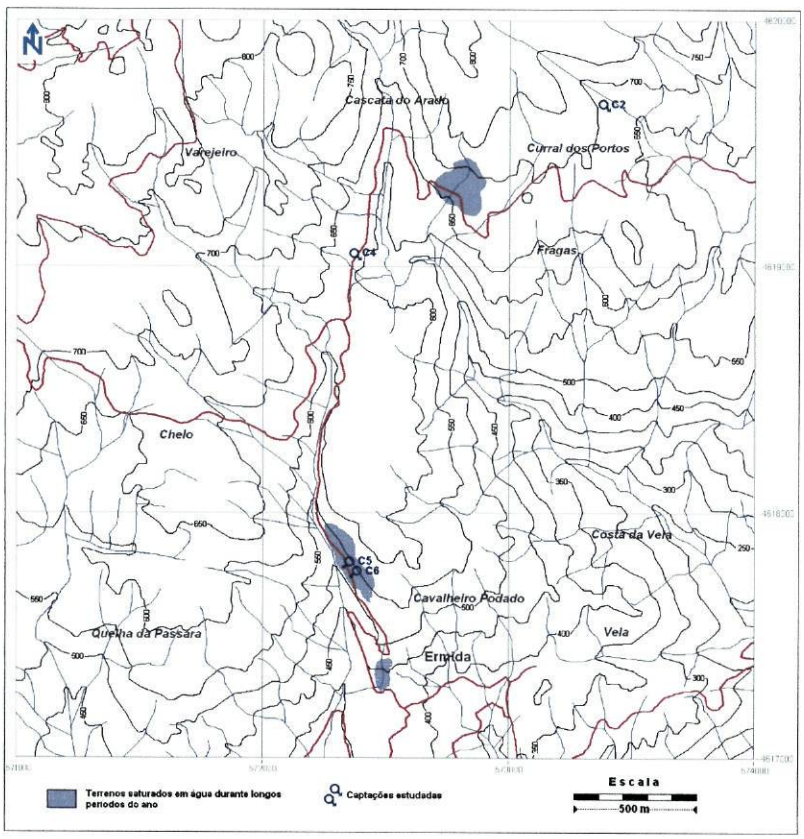



**Figura 6. 16.** Localização dos terrenos saturados em água.

representativas. Algumas destas áreas podem ser entendidas como zonas de nascentes.

Muitas vezes, a identificação destes terrenos não é efectuada através de observações directas de águas (em superfície), mas antes, através da observação de certas formas de vegetação rasteira. Estas formas de vegetação (plantas herbáceas) só se implantam em meios onde haja alguma disponibilidade hídrica, em níveis superficiais ou próximos da superfície.

Os terrenos saturados em água, e a sua importância como indicadores hidrogeológicos, tem a ver com a possibilidade destes "espelharem" a existência de eventuais disponibilidades hídricas nos níveis subterrâneos subjacentes. Esta situação, a confirmar-se, confere a existência de condições potencialmente favoráveis à implantação de captações, ou sistemas de captações de águas subterrâneas.

É evidente que a ocorrência de zonas mais ou menos favoráveis à implantação de captações de águas subterrâneas não se baseia exclusivamente na identificação de terrenos saturados em água. Como já foi referido, tais deduções devem apoiar-se num conjunto variado de factores e aspectos que se associam, directa ou indirectamente, com o âmbito da avaliação dos recursos hídricos subterrâneos. Aliás, no decurso deste capítulo, procurou expor-se, de um modo sintético e objectivo, alguns desses aspectos e fenómenos, assim como, explorar as suas aplicações teóricas e técnicas.

A avaliação ponderada de todos os dados em jogo permite conceptualizar alguns cenários hidrogeológicos. Entre esses cenários, pode incluir-se a definição de áreas com diferentes potencialidades hidrogeológicas e, consequentemente, as áreas mais e menos favoráveis à implantação de captações.

É certo que os dados que sustentam as deduções, ilustradas na figura anterior, correm o risco de não serem suficientemente fiáveis, em virtude de carecerem de estudos, complementares. Esses estudos complementares poderiam ser, efectivamente: ensaios de caudal e análises piezométricas, em futuras captações ou sondagens.

# CAPÍTULO - 7

# PROSPECÇÃO GEOFÍSICA

Os estudos geofísicos visaram, acima de tudo, fundamentar e complementar as considerações hidrogeológicas, efectuadas no capítulo anterior, isto é, a detecção de consideráveis alinhamentos tectónicos (falhas, filões, etc.).

A experiência mostra que, entre os vários métodos de prospecção geofísicos que se conhecem, os métodos eléctricos, electromagnéticos e sísmicos são os que mais se adequam ao estudo das águas subterrâneas, em meios fissurados (Beck, 2001).

No que diz respeito aos métodos eléctricos, pode dizer-se que os mais expeditos são os que fazem uso da análise da evolução das resistividades eléctricas dos diferentes meios geológicos, até profundidades consideráveis (aproximadamente quarenta metros). Normalmente, em campanhas de prospecção hidrogeológica, empreendidas com o recurso a métodos de resistividade eléctrica, pretende-se recolher dados de resistividade eléctrica. Estes dados, complementados com outras informações do terreno, podem auxiliar detecção de formações subterrâneas saturadas em água. Desta forma, tais formações podem ser consideradas como detentoras de potencialidades hidrogeológicas.

Os métodos de resistividade eléctrica mais utilizados fazem uso dos seguintes dispositivos: *Wenner, Schluberger e Dipolo – Dipolo*. No entanto existem outros métodos eléctricos de resistividade e de potencial.

Por seu lado, os métodos sísmicos envolvem o estudo da propagação de ondas sísmicas, nos diferentes meios geológicos. Estes podem revestir-se de alguma utilidade em pesquisas hidrogeológicas. As ondas sísmicas estudadas são produzidas artificialmente em estações emissoras devidamente localizadas.

Apesar dos métodos sísmicos apresentarem uma relativa simplicidade de execução, e de serem aplicáveis em inúmeras situações, nalguns cenários hidrogeológicos (ex. aquíferos profundos), são menos aconselháveis.

# 7. 1. PROSPECÇÃO ELECTROMAGNÉTICA – VLF

No decurso de alguns trabalhos de campo empreendidos na região de Ermida, houve a possibilidade da aplicação técnicas de prospecção electromagnéticas, que no caso se resumiram ao método: VLF (*Very Law Frequence*), mais precisamente, o VLF – EM da *Geonics. A* aplicação deste equipamento, que capta ondas electromagnéticas de propagação telúrica (emitidas por estações terrestres ou marítimas), baseou-se na possibilidade de o mesmo poder detectar importantes alinhamentos tectónicos, tais como: falhas geológicas, cisalhamentos, filões de diversa espécie, zonas com elevada densidade de diaclasamentos, etc., potencialmente propícios à circulação e ao armazenamento de águas subterrâneas.

Seja como for, as principais razões que contribuíram para a aplicação do método VLF, em detrimento de outros métodos, tiveram a ver com as seguintes situações:

- A imediata disponibilidade do Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, em colocar à disposição os equipamentos necessários à sua aplicação;
- A relativa facilidade de aplicação e execução deste método, em comparação com outros;
- A constatação (através de análises da evolução mensal de parâmetros físico-químicos em captações) da possibilidade dos aquíferos serem pouco profundos. Aliás, esta é uma das condições necessárias para que os métodos electromagnéticos sejam fiáveis;
- A não existência, na região, de factores que interfiram na correcta aquisição dos dados (ex. cabos de alta tensão, linhas férreas, etc.).

As duas últimas situações acima apresentadas correspondem na realidade, às duas condições determinantes para a fiabilidade dos resultados a obter mediante a aplicação de métodos de prospecção electromagnética.

Como já foi referido, o equipamento VLF, faz a leitura de correntes electromagnéticas terrestres, emitidas por estações emissoras (de ondas electromagnéticas), localizadas em determinados pontos do globo. Daí que, as

diferentes frentes de onda, resultantes dos vários pontos de emissão, chegam ao nosso local de estudo, com diferentes intensidades e orientações.

Obviamente que só algumas dessas orientações se adequam aos objectivos propostos para a região de Ermida. Na realidade, inicialmente propôs-se, para esta região, a detecção de importantes alinhamentos tectónicos com orientações mais ou menos próximas das direcções: Norte – Sul e Este – Oeste. Mais concretamente, entre as gamas: NNE – SSW e NNW – SSE, e entre ENE – WSW e WNW – ESE. Estas gamas de orientação foram seleccionadas a partir da análise das principais orientações tectónicas, determinadas pela carta geológica da região, e pelos diagramas de roseta.

Com efeito, as orientações aconselháveis para a realização dos perfis electromagnéticos são, respectivamente: Este – Oeste e Norte – Sul, na medida em que correspondem à orientações perpendiculares, às principais estruturas tectónicas da região. Aliás, este é um princípio fundamental a por em prática no uso de qualquer equipamento VLF. O mesmo princípio estabelece que as anomalias electromagnéticas verticais, determinadas por importantes ocorrências geológicas (neste caso, estruturas tectónicas), se detectam em direcções perpendiculares à principais orientações destas. Neste sentido, uma das primeiras preocupações, para o bom funcionamento de estudos de VLF, tem a ver com a selecção das estações emissoras de ondas electromagnéticas mais adequadas aos propósitos acima indicados, isto é, que emitam campos electromagnéticos mais ou menos perpendiculares às direcções dos perfis a realizar.

Desta forma, as estações, que preencham estes requisitos, devem localizar-se, sensivelmente, a Este ou a Oeste da nossa região de estudo região (no caso dos perfis com orientação: Norte – Sul), e a Norte ou a Sul (no caso dos perfis com azimute: Este – Oeste).

Os planos de prospecção inicialmente traçados, referentes à elaboração de perfis electromagnéticos nas direcções Norte – Sul e Este – Oeste, vieram a ser alterados em virtude da escassez de tempo disponível, e às condições topográficas da região (onde as vertentes mais extensas apresentam declives máximos a apontar para Este ou para Oeste). Ao mesmo tempo, houve também a preocupação de se realizarem alguns perfis em zonas de recarga de captações, por forma a fundamentar alguns dados que "suportam" os perímetros de protecção.

Com efeito, procedeu-se apenas à realização de perfis com orientações aproximadas de Norte – Sul. E para tal, a estação emissora utilizada localiza-se a oeste da região de Ermida, mais precisamente, no Maine (Estados Unidos da América).

Efectivamente, o campo electromagnético emitido por esta estação foi o ideal para tentar detectar os grandes alinhamentos tectónicos com orientações aproximadas, este – oeste, os quais possam materializar, eventuais, anomalias em perfis com orientação Norte – Sul. Estas anomalias, detectadas na inversão do sinal da fase electromagnética, podem, na realidade, representar pontos ou secções propícios ao armazenamento e/ou circulação de águas subterrâneas, e assim, constituir zonas favoráveis à implantação de captações ou sistemas de captações. Além disso, podem também materializar zonas que facultem o fluxo hídrico subterrâneo.

Na região de Ermida (Figura 7. 1.), foi possível realizar dez perfis electromagnéticos num total de cinco áreas, mais ou menos próximas das captações (poucas centenas de metros). Em cada uma das éreas foram efectuados dois perfis, três das quais fazem parta das bacias de contribuição das captações estudadas.

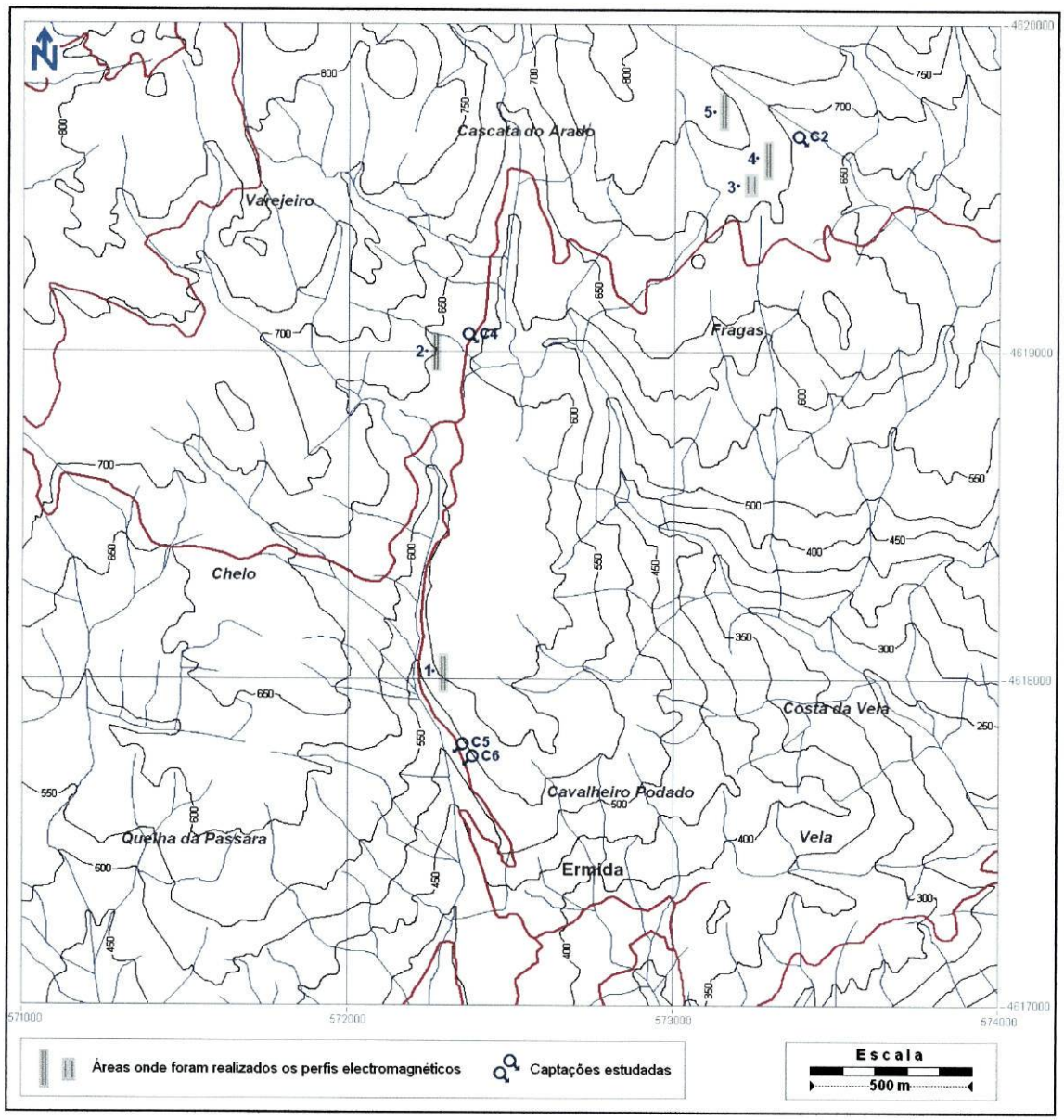



**Figura 7. 1.** Localização geográfica das áreas onde foram efectuados os perfis geofísicos.

Duas das cinco áreas (ou secções) onde foram realizados os perfis geofísicos revelaram a existência de anomalias. Efectivamente, os registos retirados dizem respeito à evolução dos valores da fase electromagnética, e dos valores da quadratura. Se, por um lado, a fase representa a variação da amplitude do campo electromagnético, por sua vez, a quadratura representa o atraso ou avanço do campo electromagnético em relação à fase. Seja como for, os registos a ter em conta, mais directamente na determinação das anomalias, correspondem aos valores da fase (Figuras 7. 2., 7. 3., 7.4., 7. 5. e 7. 6.).

Em trabalhos de prospecção electromagnética de VLF, é bastante comum o recurso a tratamentos de dados, referentes à variação da fase. Estes tratamentos de dados fazem o uso a filtros, e por esta razão designam-se por filtragens.

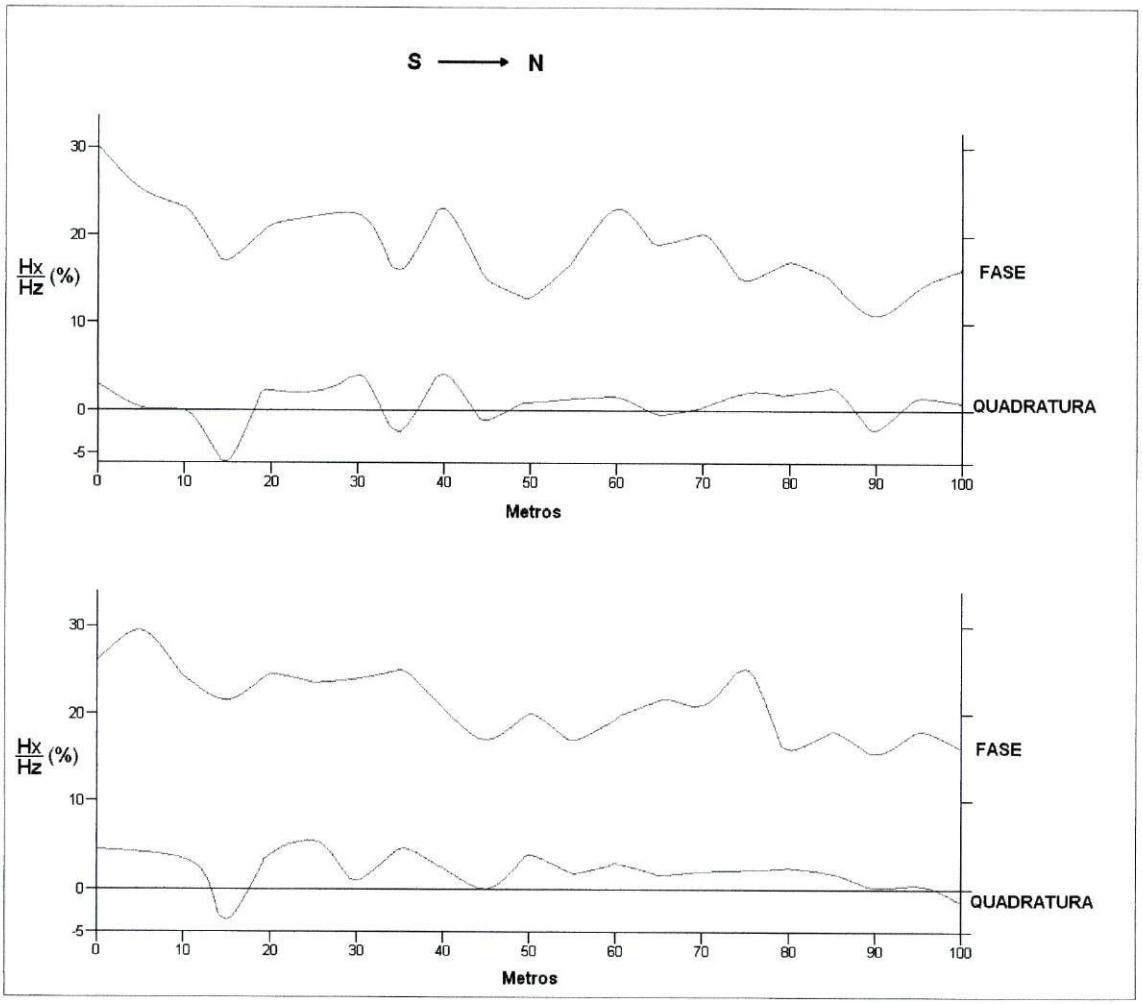



**Figura 7. 2.** Variações dos valores da fase e da quadratura na secção 1.

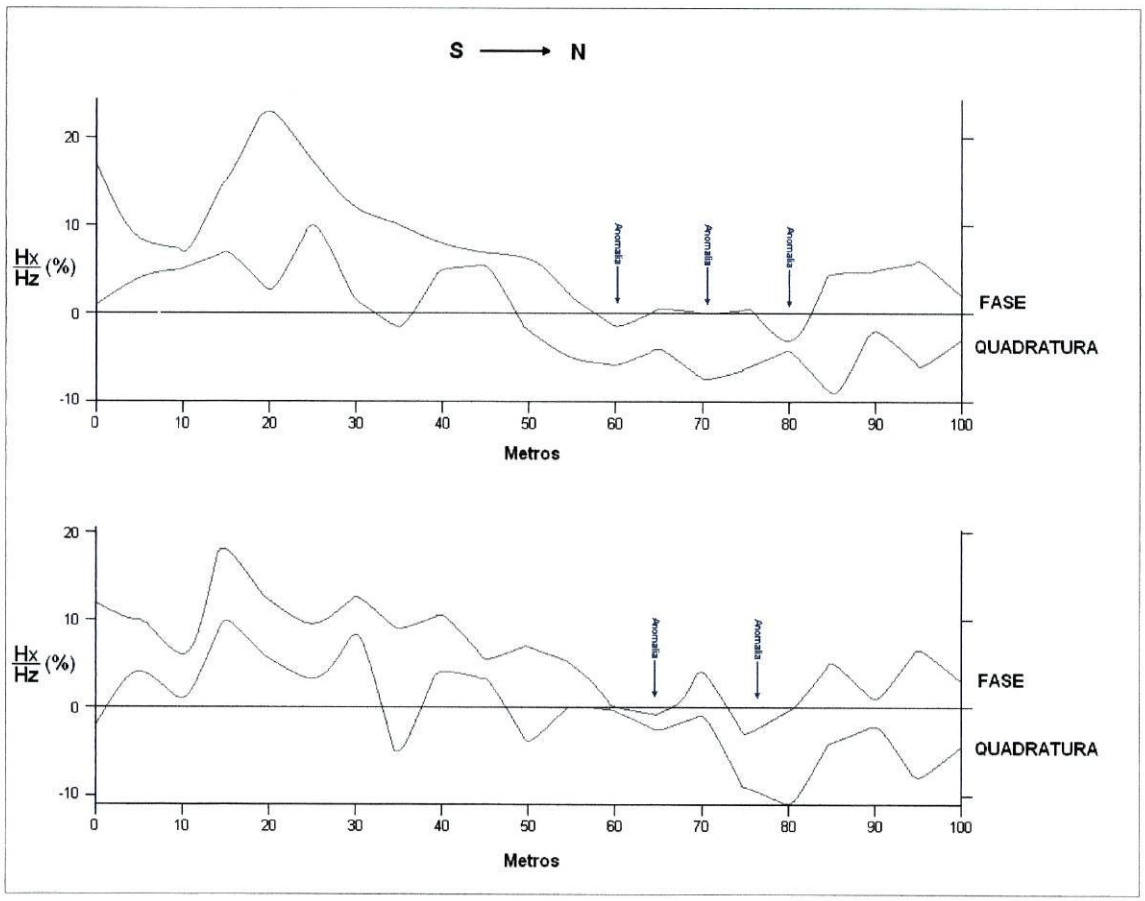



**Figura 7. 3.** Variações dos valores da fase e da quadratura na secção 2.

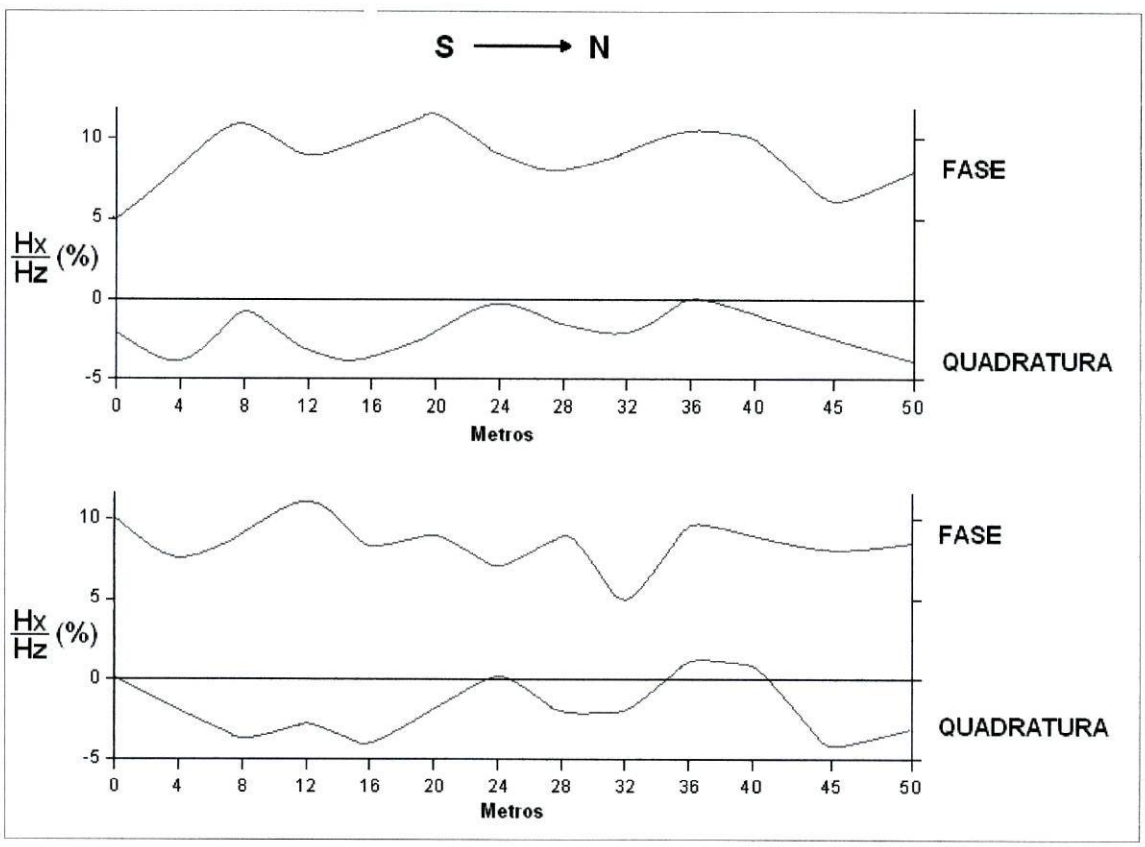



**Figura 7. 4.** Variações dos valores da fase e da quadratura na secção 3.

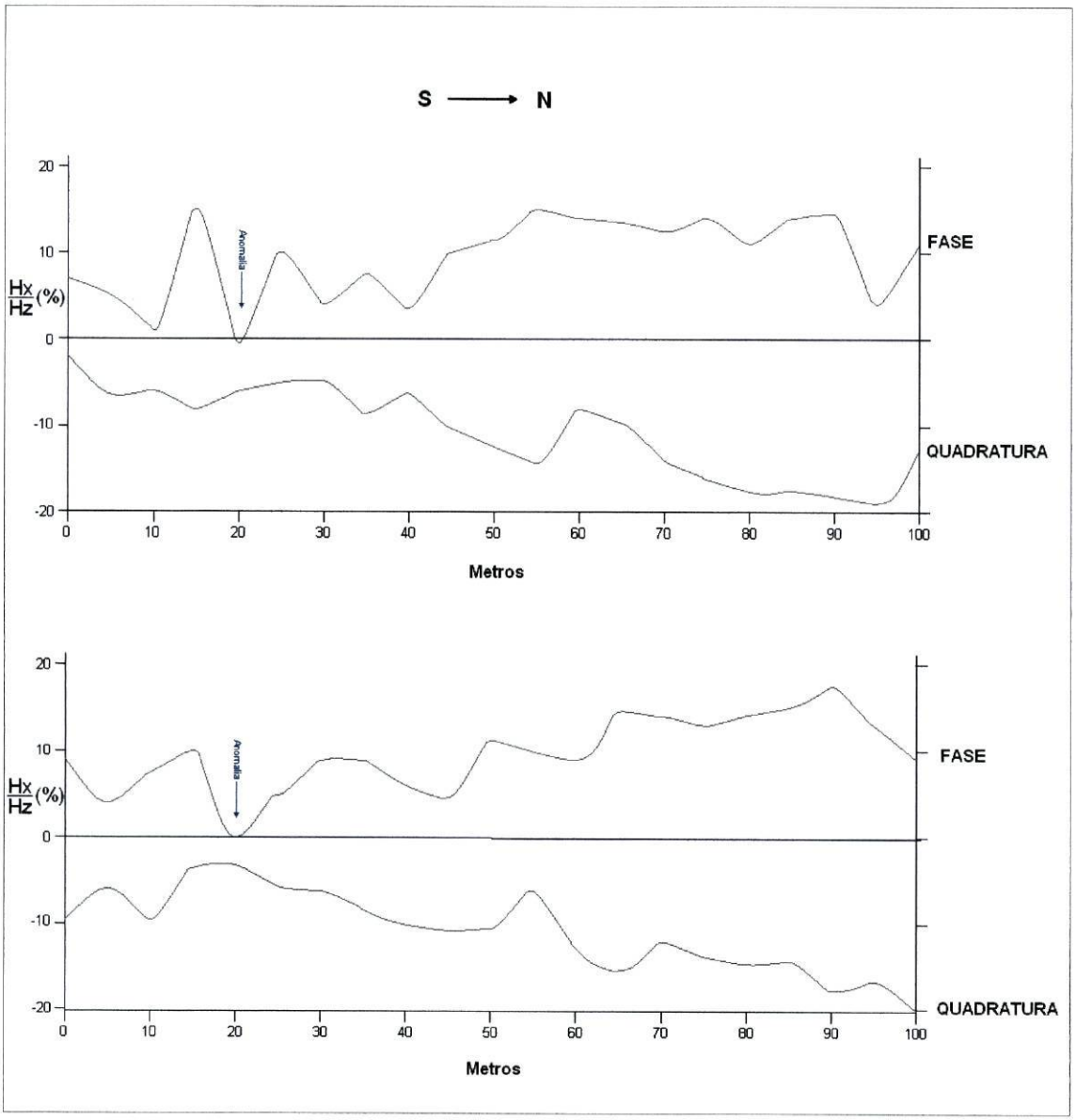



**Figura 7. 5.** Variações dos valores da fase e da quadratura na secção 4.

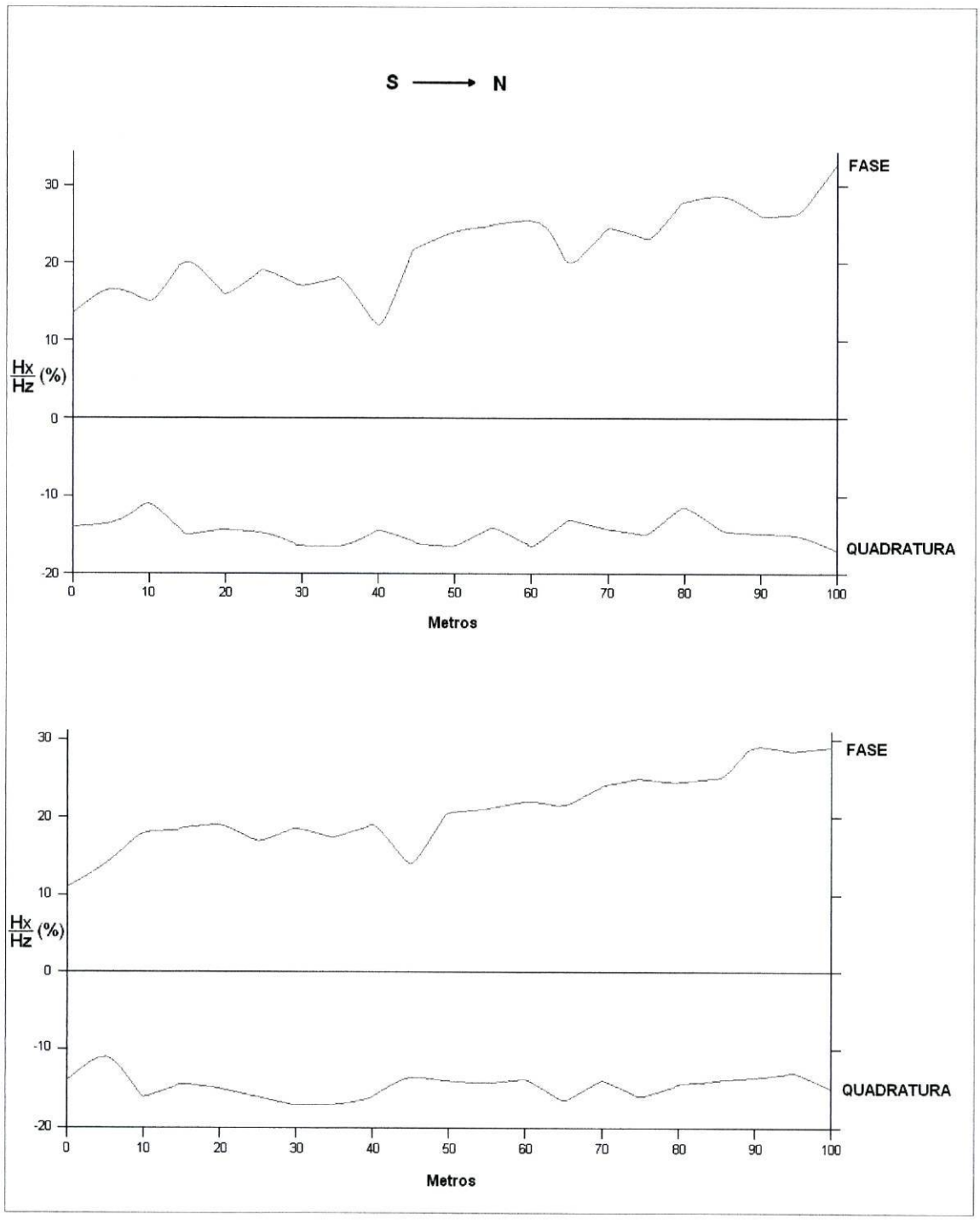



**Figura 7. 6.** Variações dos valores da fase e da quadratura na secção 5.

Como foi possível observar, as únicas secções, onde se detectaram anomalias de fase, foram as secções 2 e 4. Assim sendo, foi sobre os dados dessas secções que se efectuaram filtragens, de modo a definir melhor as anomalias (Figuras 7. 7. e 7. 8.).

Um dos filtros mais utilizados neste âmbito corresponde ao filtro *Fraser*, uma vez que este permite realçar as anomalias identificadas nos dados retirados inicialmente

(dados que permitiram efectuar os perfis anteriores). O filtro *Fraser* é baseado na aplicação da seguinte equação:

$$\text{Filtro} = 0.5A + 0.5B - 0.5C - 0.5D$$

A, B, C e D - Valores dos pontos subsequentes obtidos nos perfis alvo de filtragem

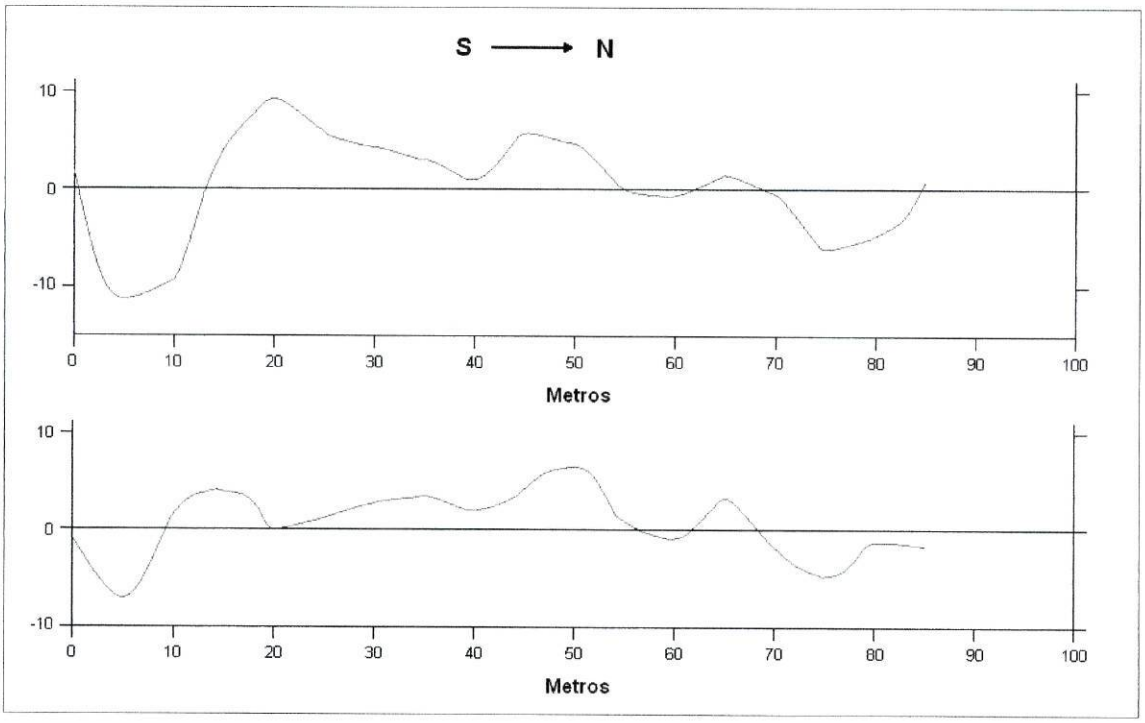



**Figura 7. 7.** Representação dos dados filtrados da secção 2.

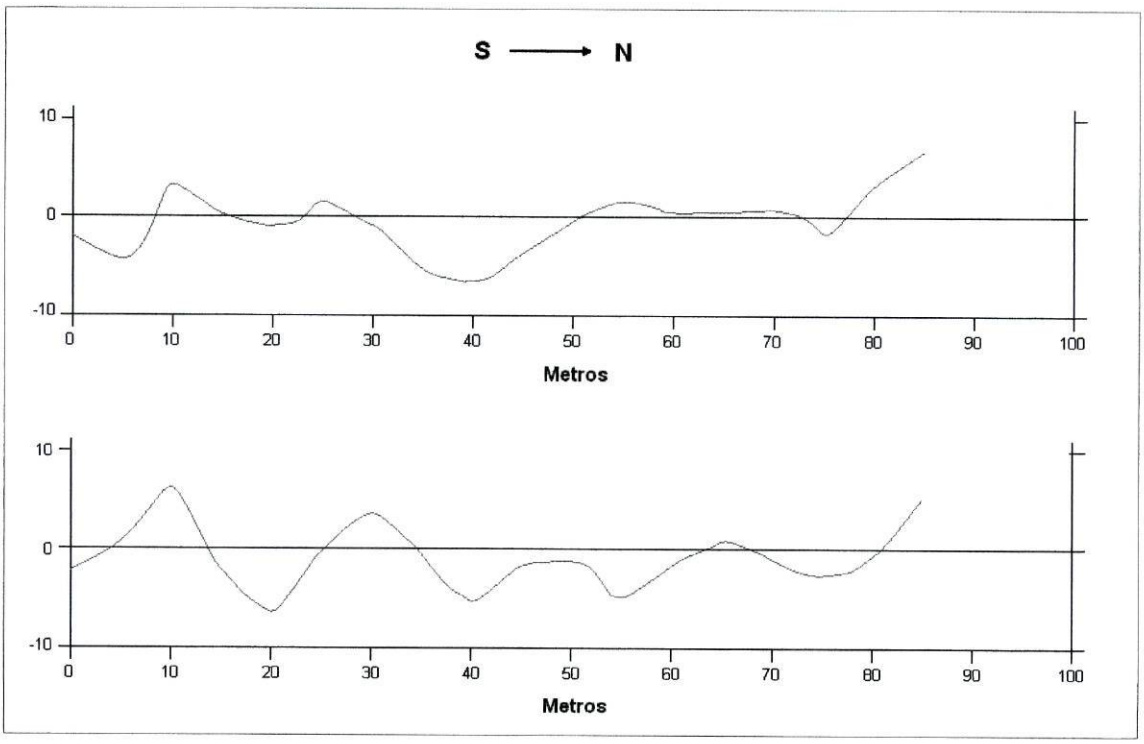



**Figura 7. 8.** Representação dos dados filtrados da secção 4.

Pela análise destes dois últimos gráficos pode verificar-se um razoável acentuamento das zonas de anomalia. Deste modo, pôde obter-se uma maior clarificação das zonas onde poderão existir importantes descontinuidades tectónicas, que eventualmente constituam zonas favoráveis à circulação e acumulação de águas subterrâneas.

## 7. 2. CONTRIBUIÇÃO DOS DADOS GEOFÍSICOS NO CONHECIMENTO HIDROGEOLÓGICO

A partir de alguns dos ensaios de prospecção realizados, foi, como se viu, possível reforçar as suposições anteriormente estabelecidas relativamente à existência de sistemas de descontinuidades tectónicas (falhas, filões, etc.). Na realidade, as anomalias electromagnéticas verificadas em dois dos sectores estudados, sugerem a existência de importantes descontinuidades tectónicas. Estas descontinuidades são potencialmente favoráveis à circulação de águas em níveis subterrâneos, as quais apresentam orientações aproximadas este – oeste (Figuras 7. 9. e 7. 10.).

Estas informações, coadjuvadas com os dados referentes aos diagramas de roseta e a alguns aspectos topográficos, permitem efectivamente deduzir orientações preferenciais de fluxo hídrico subterrâneo local, com predominância (grosso modo) de orientações este – oeste.

É certo que, em muitas situações, as descontinuidades tectónicas encontram-se total ou parcialmente preenchidas por material fino, com cariz argiloso, que é depositado nos espaços vazios, devido à percolação das águas. Esta situação, quando presente, pode ser suficiente para provocar condições de permeabilidade extremamente reduzidas, e consequentemente, dar origem a captações com rendimentos bastante baixos.

As técnicas de prospecção geofísica, que foram utilizadas na região, não têm a capacidade para detectar se as descontinuidades tectónicas estão ou não preenchidas (ou colmatadas) por material argiloso. Mesmo assim, o conhecimento da localização, orientação e extensão aproximada das descontinuidades tectónicas pode assumir-se como uma importante ferramenta de apoio a situações futuras, isto é, sempre que haja a

necessidade da implantação de novas captações ou sistemas de captações de águas subterrâneas.

A avaliar pelos estudos efectuados ao nível das diaclases e sistemas de falhas superficiais (bastante reduzidos na região), é possível supor que, senão a quase totalidade, pelo menos uma boa parte das descontinuidades tectónicas existentes na região apresentarão propriedades hidráulicas.

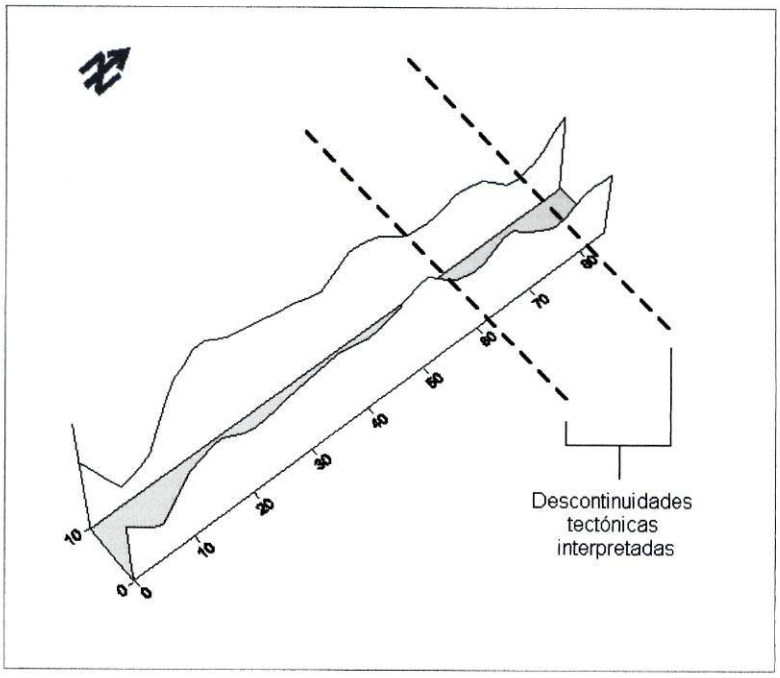



**Figura 7. 9.** Representação tridimensional dos dados filtrados da secção 2, e descontinuidades tectónicas supostas.

No entanto, para que se possam obter mais certezas a este nível, sugere-se a utilização de outras técnicas, nomeadamente sondagens mecânicas e outros estudos de prospecção geofísica, como é o caso dos métodos de resistividade eléctrica.

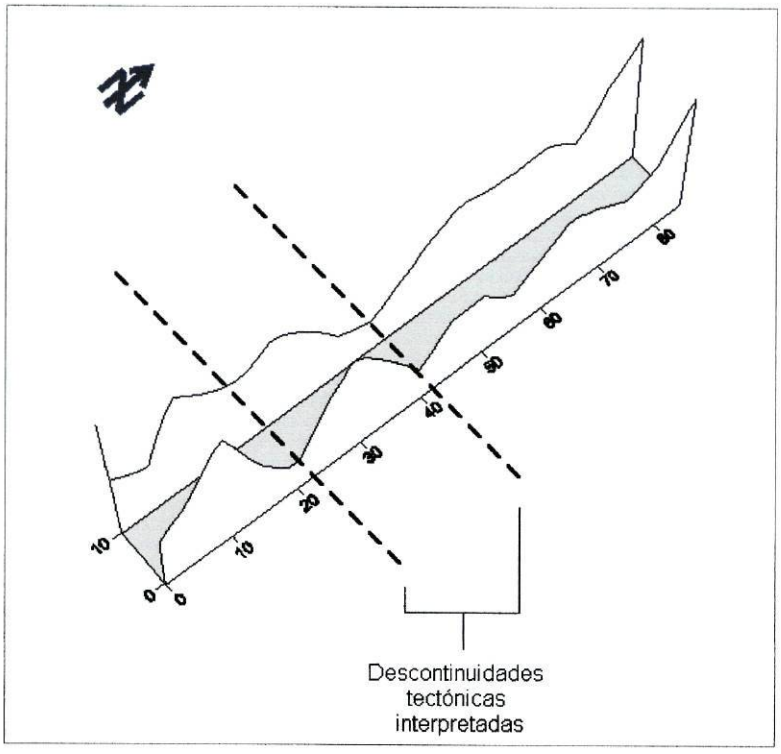



**Figura 7. 10.** Representação tridimensional dos dados filtrados da secção 4, e descontinuidades tectónicas supostas.

Partindo do princípio de que existem (nas descontinuidades tectónicas detectadas) condições favoráveis à circulação de águas subterrâneas, então aconselha-se, em situações futuras, a

implantação de captações em cujas orientações possam interceptar o maior número possível de sistemas de descontinuidades.

Os furos das captações de Ermida, apresentam orientações aproximadas este – oeste. Deste modo, não estão propriamente direccionados para as descontinuidades acima mencionadas. A esta situação, junta-se o facto de em apenas uma das áreas de contribuição das captações estudadas, ter sido possível encontrar anomalias electromagnéticas, indicadoras da provável existência das descontinuidades tectónicas. Tal situação é detectável na área de contribuição da captação C4.

Neste caso, a captação em causa, apesar de se encontrar instalada num furo mais ou menos paralelo às orientações das descontinuidades (tectónicas) detectadas, admite-se alguma influência destas.

Esta influência dever-se-á ao facto das descontinuidades aí presentes se encontrarem muito próximas (poucos metros) umas das outras. Deste modo, devido aos sistemas de diaclasamento que se desenvolvem no granito da região, é credível que as mesmas descontinuidades apresentem conexões hidráulicas entre si, contribuindo em grande medida, para o caudal da captação, e assumindo especial destaque na definição do perímetro de protecção da mesma.

Decorrente de uma tentativa de reforçar alguns dos dados obtidos mediante a realização dos perfis electromagnéticos (VLF), mais concretamente, nas secções onde se detectaram as anomalias, procedeu-se à realização de ensaios de resistividade eléctrica.

Estes ensaios foram efectuados nas imediações da secção 2 (Figura 7. 1.), com o recurso ao dispositivo *Wenner*, ao longo de uma extensão de 196 metros, e com orientação aproximada norte – sul. Deste modo, o centro do dispositivo situa-se na zona da anomalia electromagnética aí encontrada, tendo os eléctrodos mais a sul sido implantados na secção 1.

No entanto, não foi possível a obtenção de resultados de resistividade, pois, apesar das tentativas, a maioria dos eléctrodos implantados (espaçados de 4 em 4 metros) não apresentaram condução eléctrica com o meio. Esta situação dever-se-á simultaneamente à extremamente reduzida espessura das "franjas" de solo (que dificultaram a penetração dos eléctrodos) e à extrema secura do terreno.

Um factor que também dificultou a implantação do dispositivo *Wenner* correspondeu, ao predomínio dos afloramentos de granito maciço, em relação ao solo e ao saibro. Esta situação é válida não só para secção considerada (secção 2), como outras áreas da região de Ermida.

# CAPÍTULO - 8

# PERÍMETROS DE PROTECÇÃO

Segundo a legislação portuguesa (Dec-Lei, n.º 383/99 de 22 de Setembro), um perímetro de protecção de captações de águas subterrâneas para o abastecimento hídrico corresponde a uma área contígua a uma dada captação, onde são interditas instalações e actividades susceptíveis de poluírem as águas subterrâneas.

No âmbito da definição e delimitação de perímetros de protecção para as captações estudadas em Ermida (C2, C4, C5 e C6), como já foi referido na introdução deste trabalho, procedeu-se à aplicação do método *DISCO*. Este método tem a particularidade de envolver um conjunto variado de critérios baseados, essencialmente em factores naturais, sobre os quais assenta uma ponderação numérica, a partir da qual são deduzidas as suas respectivas influências, no conjunto de todos os processos intervenientes na bacia de contribuição de uma dada captação.

As razões que determinaram a escolha deste método de definição de perímetros de protecção prendem-se, essencialmente, com os seguintes aspectos:

- O facto do meio cristalino fracturado (neste caso granítico) da região ser propício à aplicação do método *DISCO*, pois aplica-se a meios fortemente heterogéneos;
- A carência de meios técnicos e de dados necessários para a implementação de métodos analíticos ou numéricos.

O principal mérito do método *DISCO*, corresponde ao facto do mesmo proporcionar a obtenção de uma boa compreensão dos principais aspectos relacionados com a protecção das águas subterrâneas e, consequentemente, das captações existentes. Esta compreensão baseia-se efectivamente, na variabilidade dos factores de classificação que entram aqui em jogo.

Obviamente que o processo de selecção do melhor método a aplicar no âmbito da definição dos perímetros de protecção não corresponde a uma tarefa propriamente

simples. Segundo Pochon & Zwahlen (2002), numa primeira fase deve dar-se procedimento a um conjunto de actividades, tais como:

- Descrição do tipo e do estado do sistema de captação presente;
- Caracterização do contexto hidrogeológico;
- Determinação dos limites da bacia de contribuição das captações;
- Identificação e localização das fontes de poluição reais, ou potenciais, intervenientes na bacia de contribuição;
- Caracterização global da vulnerabilidade das captações. Esta actividade envolve o estudo das variações do caudal, da condutividade eléctrica e da temperatura, em função das condições meteorológicas e, sempre que possível, envolve análises químicas e bacteriológicas.

Ao nível destas primeiras actividades ou etapas, é possível perceber se as captações se encontram bem ou mal protegidas dos impactos naturais ou antrópicos sobre as respectivas bacias de contribuição.

Antes de avançar no tema referente aos perímetros de protecção, torna-se premente abordar previamente duas importantes noções que normalmente são introduzidas em estudos de poluição de águas subterrâneas. Essas noções correspondem, respectivamente: à vulnerabilidade e ao risco de poluição.

Por vezes, existe a tendência de se considerar vulnerabilidade e risco de poluição como sendo a mesma coisa, ou mesmo confundir estas duas noções. Por isso, interessa desde já, proceder à definição das mesmas noções, separadamente.

*Vulnerabilidade:*

Usualmente, o termo vulnerabilidade em hidrogeologia refere-se, essencialmente, à maior ou menor predisposição, de uma formação hidrogeológica, a ser alvo de contaminação. A avaliação da vulnerabilidade é sustentada nas características do terreno, onde se destacam: a litologia, o grau de alteração e fracturação, e o tipo de poluente em causa.

*Risco de poluição:*

O risco de poluição, em estudos hidrogeológicos, é normalmente assumido como um conceito mais abrangente, pois envolve a vulnerabilidade e a

existência de focos poluidores. Esses focos poluidores podem ser de origem e natureza bastante diversas.

A partir da análise das definições das noções acima apresentadas, conclui-se obviamente, que na região de Ermida, as abordagens das noções: vulnerabilidade e risco de poluição devem ser efectuadas também separadamente.

O ambiente geológico da região de Ermida é dominado por um meio granítico densamente fracturado, onde se encontram condições propícias à ocorrência de elevadas velocidades de fluxo hídrico subterrâneo, entre as áreas de recarga e as áreas de descarga supostas.

No que concerne às captações estudadas, pode dizer-se que foram concebidas por meio de técnicas excessivamente "rudimentares", e os níveis de degradação destas são, de um modo geral, bastante evidentes. Esta situação leva a que as mesmas captações sejam mal protegidas dos impactos naturais ou antrópicos sobre as suas respectivas bacias de contribuição (ou áreas de recarga).

Por outro lado, os meios hidrogeológicos, que apresentam um rápido fluxo hídrico subterrâneo (como será deduzido mais adiante), são por si mesmos, propiciadores de grande vulnerabilidade a eventuais efeitos de poluição (Pochon & Zwahlen 2002).

Como se pode deduzir, são fortes os indícios que nos levam a classificar, previamente, as captações de Ermida como potencialmente bastante vulneráveis. Já no que diz respeito aos riscos de poluição, o mesmo não se poderá afirmar. Na realidade, constata-se que não são muito evidentes os factores potenciadores de eventuais situações de poluição, das águas subterrâneas drenantes para as captações.

O facto de serem pouco evidentes os factores potenciadores da poluição, não significa, obviamente, que os mesmos não devam ser considerados, não só com vista à estimação dos eventuais impactos, como também no intuito de prevenir possíveis agravamentos futuros e, sempre que possível, diminuí-los.

Em áreas situadas a montante de algumas das captações de Ermida (que são favoráveis à infiltração das águas), foram detectadas algumas situações onde intervêm os tais factores potenciadores da poluição de níveis freáticos. Num dos casos, o factor de poluição corresponde às pastagens de gado caprino que, apesar de não ser muito evidente, desenvolve-se na quase totalidade das áreas observadas. Outra das situações

observadas diz respeito à utilização, em determinadas épocas do ano, de adubos químicos, com vista ao desenvolvimento de pastagens de gado bovino.

Efectivamente está-se perante dois exemplos, onde se constata o efectivo de risco de contaminação. No primeiro existe o risco de contaminação orgânica, e no segundo caso está presente o risco de contaminação química.

Além dos riscos acima referenciados, podem destacar-se ainda os efeitos potenciadores de poluição de recursos hídricos subterrâneos, provocados pelas diversas actividades de turismo de montanha, as quais têm lugar na região de Ermida, principalmente, nas épocas de Primavera e de Verão.

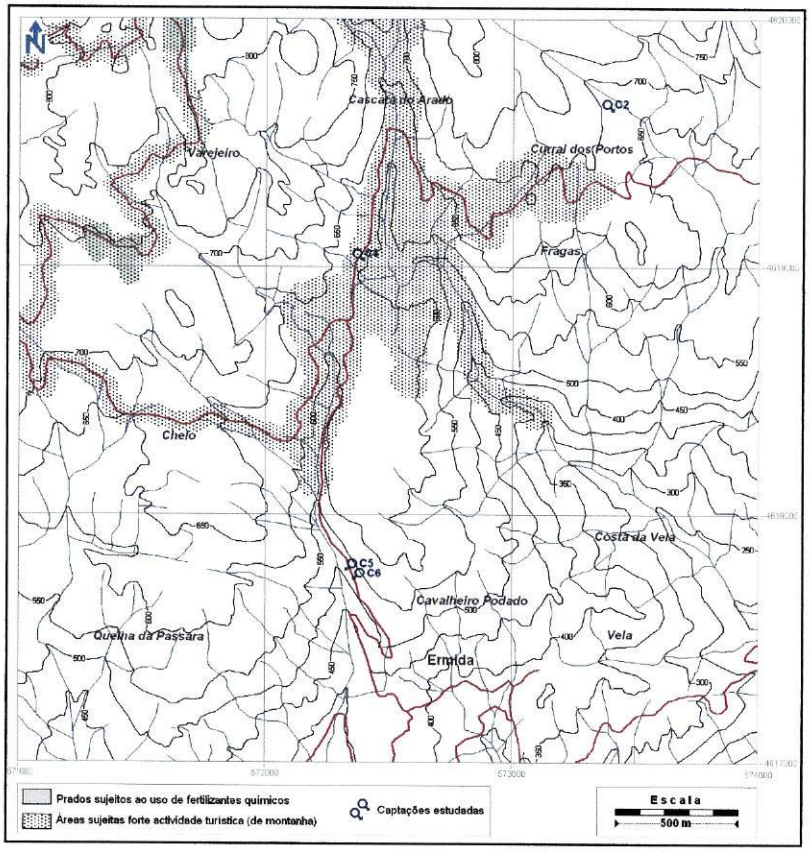



**Figura 8. 1.** Localização das áreas potencialmente sujeitas a processos potenciadores de poluição (E. Gonçalves, 2004).

## 8. 1. FUNDAMENTOS PARA A APLICAÇÃO DO MÉTODO *DISCO*

As inúmeras variáveis geológicas e hidrogeológicas, associadas aos meios cristalinos fracturados, impedem que se criem condições para a aplicação de um único método para a concepção de perímetros de protecção. Deste modo, torna-se útil a aplicação de um método que faça uso de vários dados e factores, isto é, um método que envolva vários critérios.

Como já foi referido, a metodologia aplicada neste estudo, correspondeu ao método *DISCO*, o qual envolve várias etapas de execução.

Segundo Pochon & Zwahlen (2002), as primeiras etapas de trabalho referentes à execução deste método consistem em interpretar os dados de base relativos às captações e aos aquíferos. Esses dados podem corresponder: a parâmetros físico-químicos, à turbidez, às características biológicas, os quais possibilitam a avaliação da vulnerabilidade da captação.

Como será evidenciado, mais adiante, as captações de Ermida, apesar de apresentarem, de um modo geral, caudais médios anuais, os seus caudais podem considerar-se irregulares. Esta situação está evidenciada nas análises das oscilações mensais dos registos dos débitos, empreendidas nas mesmas captações (Figuras 8. 3., 8. 4., 8. 5. e 8. 6).

Ao mesmo tempo, pode, desde já, adiantar-se que as análises efectuadas às águas também evidenciam apreciáveis flutuações nos valores referentes à temperatura, ao pH e à condutividade (Figuras 8. 7., 8. 8., 8. 9. e 8. 10.).

As flutuações mensais destes mesmos parâmetros (físico-químicos) levam a reforçar a ideia da presença de conexões rápidas entre as bacias de contribuição e as respectivas captações. Este argumento está de acordo com a suposição, anteriormente veiculada, de estarmos na presença de captações vulneráveis, sobre as quais se pode aplicar o método de determinação de perímetros de protecção: *DISCO.*

Segundo Pochon & Zwahlen (2002), com vista à definição de perímetros de protecção de captações vulneráveis, com circulações rápidas, devem tentar complementar-se, o melhor possível os dados de base com estudos que permitam a localização das superfícies de contribuição das captações, a identificação das circulações rápidas, e a avaliação do grau de heterogeneidade dos aquíferos.

Segundo os mesmos autores, os estudos complementares devem envolver variadas actividades, tais como:

- Estudos dos sistemas de descontinuidades e avaliação dos seus padrões hidrogeológicos;
- Procura de eventuais zonas de infiltração preferencial;
- Avaliação do comportamento das zonas de descarga, em função das mudanças ou interferências em zonas de recarga;
- Ensaios de caudal, utilização de traçadores, estudos geofísicos, etc.

Uma noção que ressalta da definição de um meio fortemente heterogéneo corresponde, efectivamente, à ideia da existência de circulações rápidas de águas ao

longo de fissuras, localmente, bastante permeáveis, com ligações rápidas entre as bacias de contribuição e as captações. Segundo Pochon & Zwahlen (2002), essas ligações rápidas devam ser de algumas horas ou dias.

Em situações desta natureza, como mais adiante será demonstrado, na região de Ermida, a reprodução da realidade por meio de modelos contínuos e equivalentes não é muito aconselhável. Com efeito, somente o uso de aproximações sobre a vulnerabilidade, baseadas em variados critérios, tendo sempre em linha de conta a forte heterogeneidade do meio, permite a delimitação dos perímetros de protecção (Pochon & Zwahlen 2002).

Convém ainda salientar que o uso deste método multicritério de determinação de vulnerabilidade justifica-se também com a impossibilidade da realização de verdadeiros ensaios de caudal, os quais possibilitariam uma determinação mais directa e instrumental dos perímetros de protecção.

## 8. 2. ETAPAS PRÉVIAS NECESSÁRIAS À APLICAÇÃO DO MÉTODO *DISCO*

Nas linhas anteriores, referentes aos fundamentos para a aplicação do método *DISCO*, foram enunciados alguns dados que se incluem nas etapas prévias necessárias à aplicação do mesmo.

As etapas ou requisitos prévios fundamentais para a aplicação do método *DISCO* estão englobadas em dois grandes domínios (Pochon & Zwahlen 2002):

- Aquisição de dados de base;
- Avaliação do grau de heterogeneidade dos aquíferos.

### 8. 2. 1. AQUISIÇÃO DE DADOS DE BASE

As captações de Ermida encontram-se, de um modo geral, num estado avançado de deterioração. Na realidade, neste momento, algumas delas encontram-se inutilizáveis. Esta situação observa-se concretamente nas captações C1 e C3, sobre as quais, devido ao facto de não se encontrarem em funcionamento, não foi possível retirar qualquer tipo de análise física ou química.

As captações C2, C4, C5 e C6, apesar de se encontrarem em funcionamento, apresentam-se em más condições de manutenção. É credível que este cenário se deva,

essencialmente, às rudimentares planificações, às tecnologias e materiais utilizados, e às escassas actividades de manutenção.

O material utilizado nas tubagens das captações que se encontram em funcionamento é o PVC, sendo que em nenhuma delas existe a implantação de qualquer sistema de bombeamento, pois não é necessário para as necessidades actuais.

Um outro aspecto associado a estas captações, tem a ver com o facto das mesmas se encontrarem implantadas em furos horizontais. Esta opção resultou, muito provavelmente, das áreas envolventes corresponderem a proeminentes encostas, pelo que houve a tentativa (por parte de quem implantou as captações) de aproveitar os gradientes hidráulicos e escorrências naturais das águas subterrâneas.

Em relação à caracterização do contexto geológico das áreas onde se encontram implantadas as captações, pouco ou nada mais há a acrescentar sobre o que foi já apresentado e explicado no capítulo sexto. No entanto, nesta fase tornam-se necessárias caracterizações geológico-geomorfológicas mais pormenorizadas, à escala das bacias de contribuição das diferentes captações, que se encontram em funcionamento.

Deste modo, apesar do ambiente geológico-geomorfológico ser, de um modo geral, homogéneo, podem destacar-se duas realidades ligeiramente distintas.

Efectivamente, se, por um lado, as captações C2 e C4 se localizam em meios onde se destacam corpos graníticos bem individualizados, e evidenciadores de

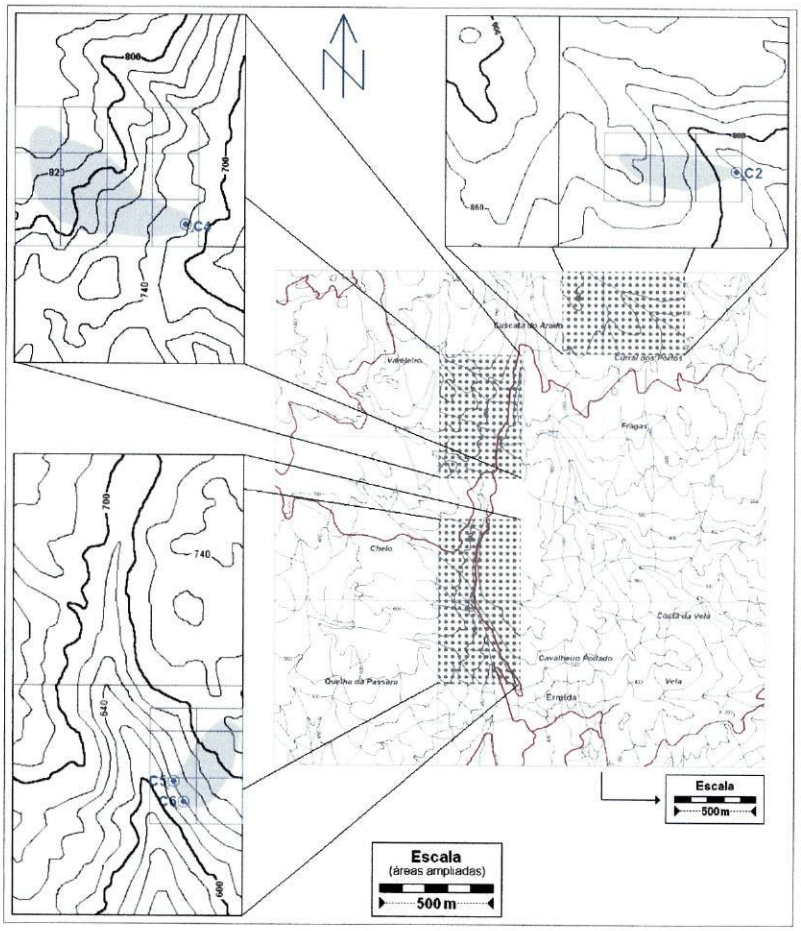



**Figura 8. 2.** Localização das bacias de contribuição das captações de ermida (E. Gonçalves, 2004).

elevados graus de alteração, por outro lado, os de sistemas de fracturação são pouco densos, com aberturas (entre as paredes de fractura) na ordem de alguns centímetros. Por outro lado, as captações C5 e C6 inserem-se num "sub-ambiente" onde são mais frequentes os afloramentos de rocha sã, que por sua vez, se distribuem de um modo mais contínuo do que na situação anterior, e nos quais se destaca uma intensa fracturação. Neste segundo caso (como se pode detectar pela análise dos diagramas de roseta do capítulo sexto), para além de existir uma maior densidade dos sistemas de fracturação, assinala-se uma maior variabilidade nas suas orientações principais.

As análises da fracturação, confrontadas com as condições topográficas e hidrológicas locais, e ainda com as estimações dos débitos médios anuais (apresentados no capítulo anterior), permitiram deduzir as localizações e extensões aproximadas das bacias de contribuição das captações em questão.

### 8. 2. 2. CARACTERIZAÇÃO GLOBAL DA VULNERABILIDADE

Nesta fase, proceder-se-á à caracterização global da vulnerabilidade para cada uma das captações. Se é certo que, já neste capítulo, foram feitas algumas especulações sobre o grau de vulnerabilidade das captações de Ermida, a verdade é que só a partir das análises pormenorizadas dos parâmetros físico-químicos é possível obterem-se ideias mais concretas a este respeito.

Segundo Pochon & Zwahlen (2002), as análises ponderadas das oscilações mensais dos parâmetros: caudal (ou débito), temperatura e condutividade eléctrica, permitem tirar deduções sobre o grau de vulnerabilidade das captações. Segundo o mesmo autor, quanto mais evidentes forem essas oscilações, maior é o grau de vulnerabilidade. Assim sendo, procedeu-se à realização das devidas análises mensais (um total de doze), representativas de um ano hidrológico.

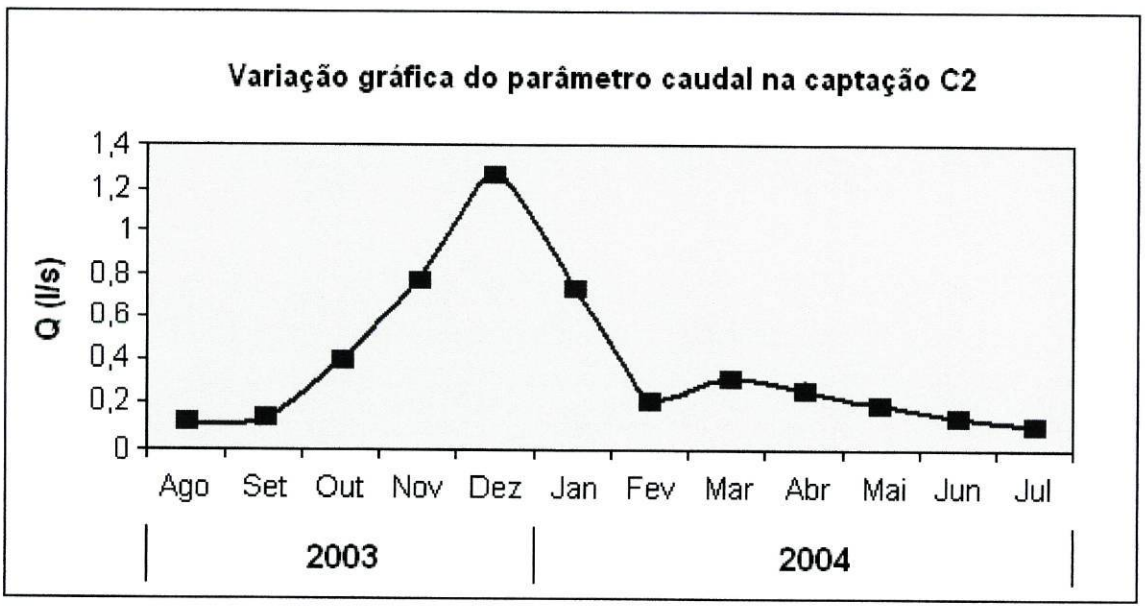
#### 8. 2. 2. 1. PARÂMETRO CAUDAL

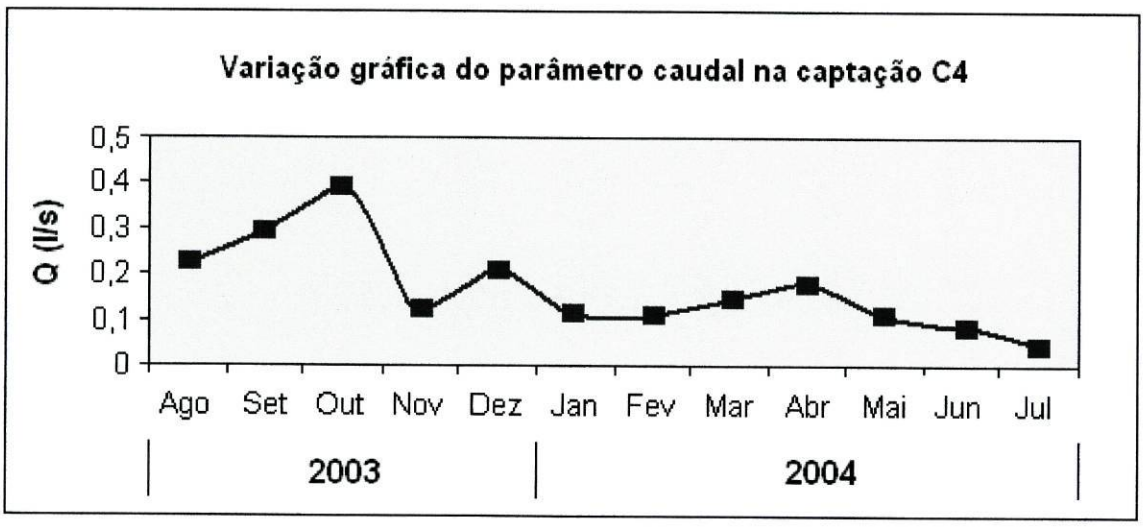
O parâmetro caudal, também designado por débito de uma dada captação é, neste trabalho, entendido como o resultado do fluxo natural das águas, sem que haja a interferência de processos mecânicos de bombeamento. Desta forma, não se deu uso a ensaios de caudal, mas antes, a simples controlos dos débitos (ou caudais) das diferentes captações estudadas.

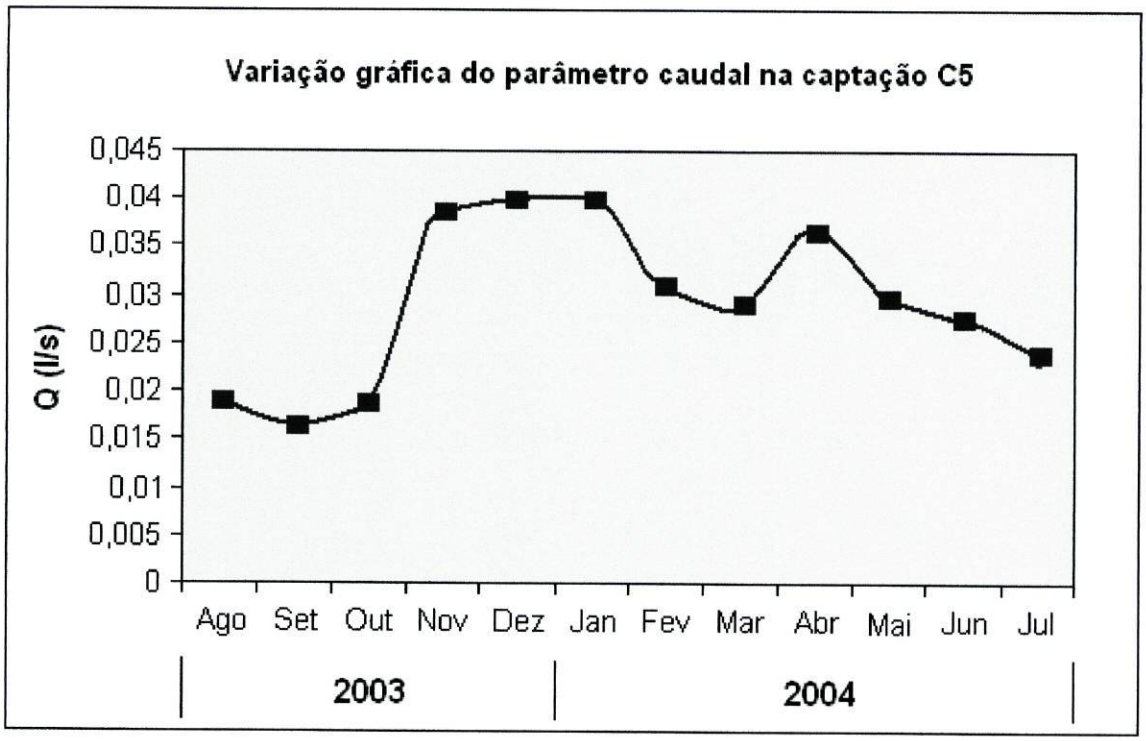
Estas análises tornam-se extremamente úteis, pois quando interpretadas em termos de evolução temporal, por meio de gráficos e outras representações, permitem

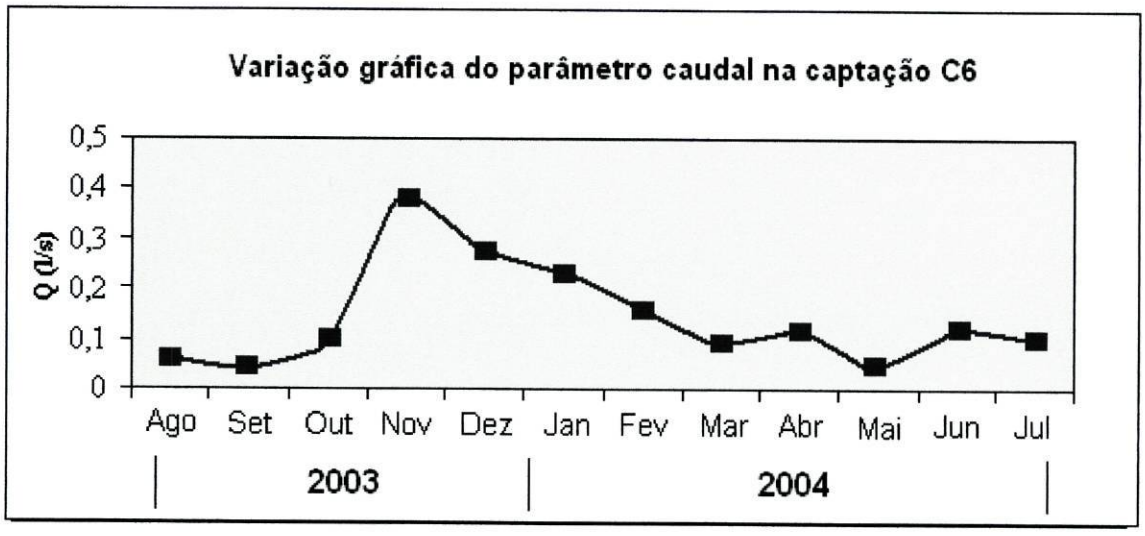
determinar os períodos de maior e de menor recarga, de maior e menor circulação subterrânea e, principalmente, fornecem dados indispensáveis para a realização de análises das respostas dos meios hidrogeológicos a episódios de maior precipitação. Efectivamente é em função destas respostas que se podem obter dados, mais concretos sobre o grau de vulnerabilidade das respectivas captações.

A partir da análise dos gráficos podem ser observadas assinaláveis flutuações anuais dos caudais. Constata-se, com efeito, que os caudais evidenciam valores mais reduzidos nas épocas de maior estiagem (entre os meses de Junho e Setembro), e valores mais elevados nas épocas mais pluviosas do ano.






**Figuras 8. 3., 8. 4., 8. 5. e 8. 6.** Representações gráficas do parâmetro caudal nas captações de Ermida.

Os mesmos gráficos evidenciam uma especial tendência para exibirem os mais elevados registos entre os meses de Novembro e de Janeiro, situação que será abordada, de um modo mais pormenorizado, mais adiante. Na realidade, as análises efectuadas durante esses meses foram precedidas de semanas particularmente chuvosas. Aliás, as análises de Novembro foram realizadas num dia bastante chuvoso.

Pode também destacar-se um período de ligeiro acréscimo dos caudais, durante o mês de Abril, em cujos controlos também foram precedidos de períodos chuvosos. Esta situação é particularmente evidente nas captações C4 e C5.

A partir da análise dos períodos de maior pluviosidade, pode concluir-se que existe uma satisfatória resposta do meio hidrogeológico aos incrementos de recarga (motivados pelos acréscimos de precipitação), ao nível das zonas de contribuição. Esta resposta do meio hidrogeológico sugere, na realidade, a existência de elevadas velocidades de transmissão das águas entre as zonas de recarga e as captações estudadas.

Como já foi referido, estes processos de circulação rápida têm origem nas interconexões entre as fracturas graníticas, sendo provável a existência de tempos de transmissão rápidos, nos níveis subterrâneos, na ordem de algumas horas e alguns (poucos) dias.

O método utilizado para a determinação dos débitos das captações envolve técnicas bastante simples, e de fácil execução. O procedimento, que é bastante usual, baseia-se na utilização de um recipiente com uma capacidade de armazenamento previamente conhecida. Neste caso correspondeu a um balde, com capacidade máxima de armazenamento: dez litros.

Deste modo, procedeu-se à respectiva contabilização do tempo de enchimento daquele recipiente (em cada uma das captações), com o auxílio de um cronómetro digital.

Finalmente, depois da cronometragem dos tempos de enchimento foram, efectuados cálculos para a proporção de 1 litro, de modo a obter-se a apresentação dos registos finais com unidades de: litros por segundo (l/s).

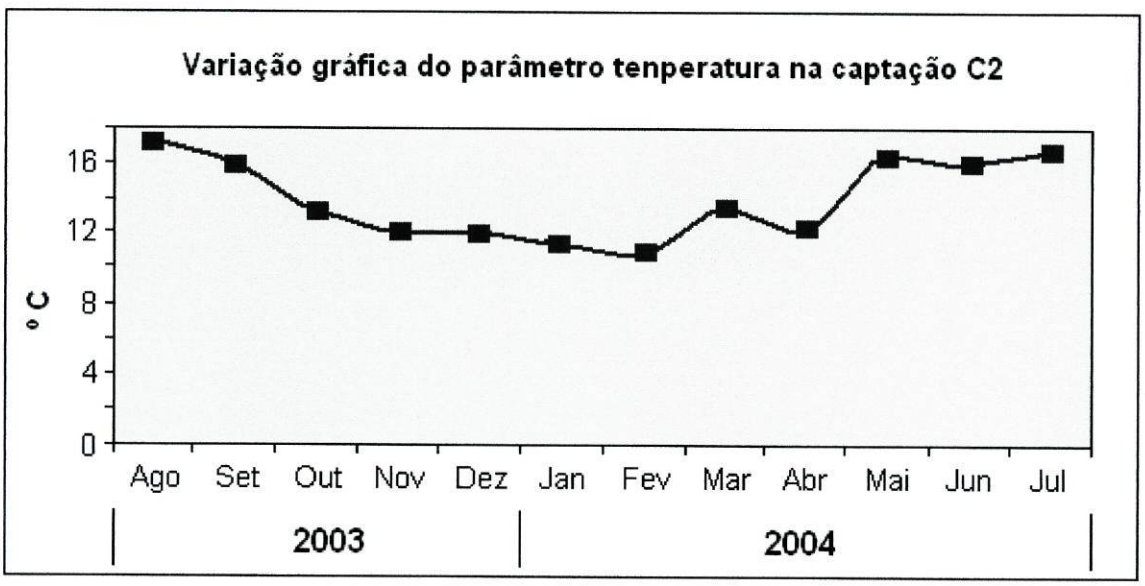
#### 8. 2. 2. 2. PARÂMETRO TEMPERATURA

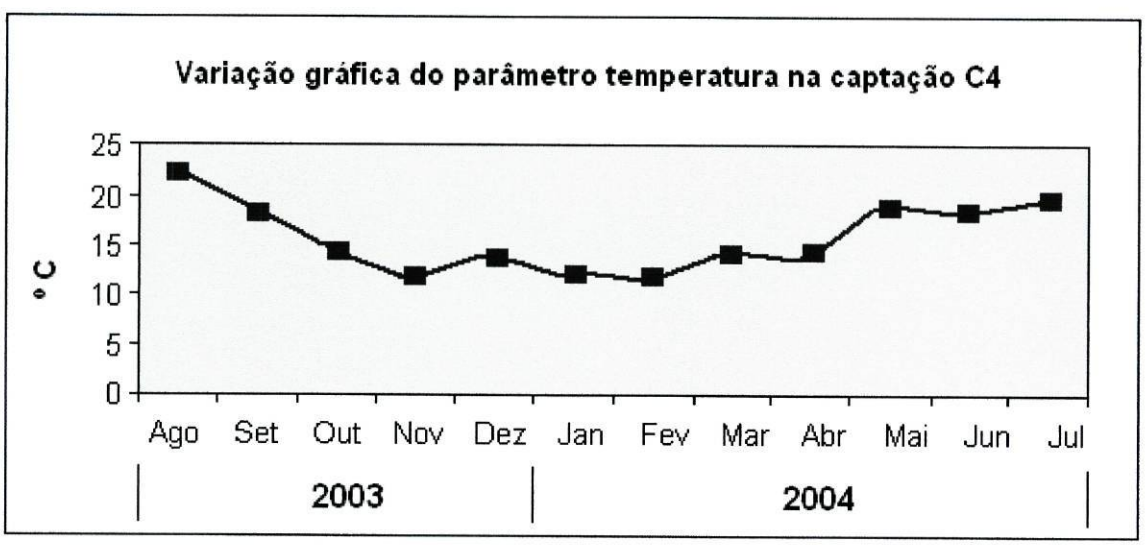
Segundo Pochon & Zwahlen (2002), a temperatura das águas subterrâneas constitui também um parâmetro importante no âmbito da caracterização global da vulnerabilidade de uma dada captação. O mesmo autor refere que as grandes variações anuais da temperatura das águas subterrâneas, normalmente, associam-se a captações vulneráveis.

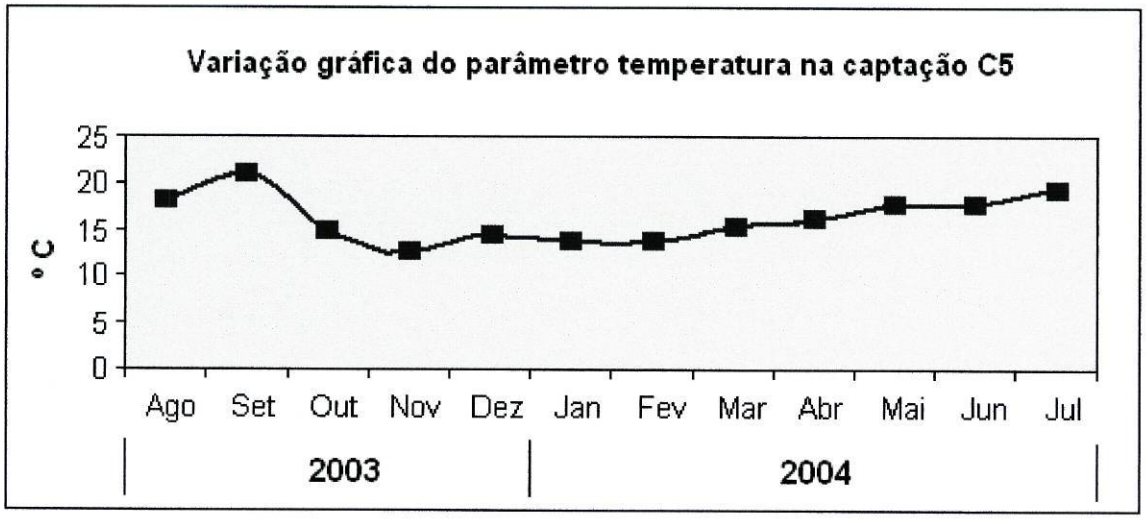
São inúmeros os autores que consideram que, nos mais diversos ambientes geológico-geomorfológicos, as flutuações anuais das temperaturas das águas subterrâneas são, frequentemente, pouco significativas, sendo também acompanhadas de reduzidas amplitudes térmicas anuais.

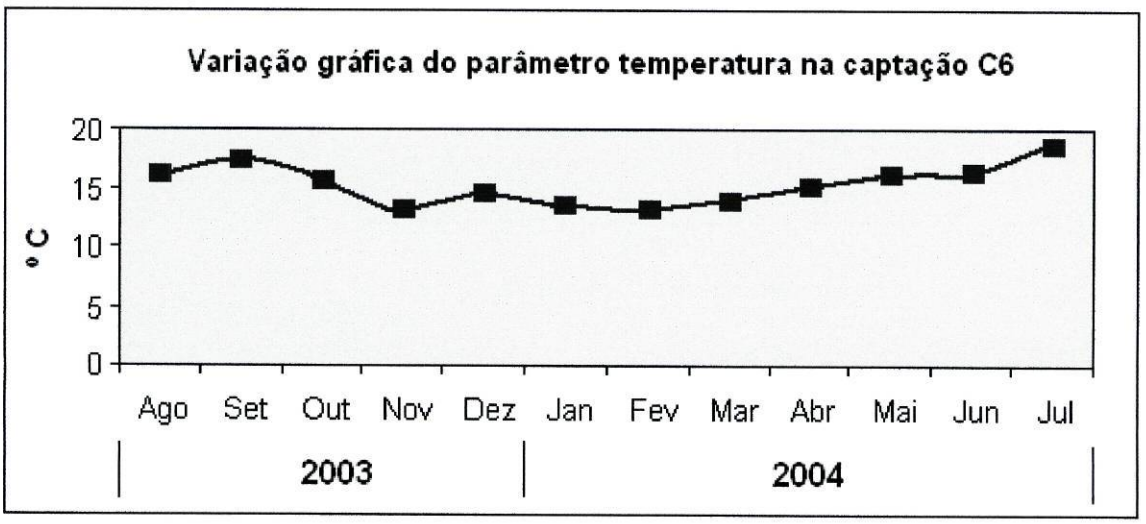
Esta situação é justificada no facto de as águas subterrâneas terem a tendência de se "colocarem" em equilíbrio com o meio rochoso onde circulam e se armazenam. Ora isto acontece, principalmente, em profundidades superiores a trinta metros das superfícies topográficas.

A partir da análise dos gráficos que se seguem, representativos das variações mensais das temperaturas, pode constactar-se que as captações da região de Ermida (à semelhança do que acontece com os caudais), apresentam oscilações bastante apreciáveis.






**Figuras 8. 7., 8. 8., 8. 9. e 8. 10.** Representações gráficas do parâmetro temperatura nas captações de Ermida.

Uma possível causa, das oscilações observadas nestes gráficos, pode estar relacionada com o facto de as captações de Ermida serem abastecidas por águas subterrâneas de circulação pouco profunda, isto é, águas sujeitas a efeitos caloríficos do sol.

Muitos autores consideram que as águas sujeitas a tais efeitos estão integradas, ou são alvo de influência, da zona heterotérmica dos solos. Segundo Castany (1975), a zona heterotérmica do solo está submetida à influência térmica do sol. O mesmo autor sugere que esta zona pode atingir profundidades entre os 15 e os 39 metros e, deste modo, exerce uma grande influência sobre as zonas saturadas, pelo que é conhecida por "zona heterotérmica anual".

Torna-se, portanto evidente que a temperatura das águas subterrâneas está condicionada pelas temperaturas dos terrenos onde circulam. Desta forma, o estudo sistemático das temperaturas das águas subterrâneas fornece dados importantes sobre a sua origem e o tipo de circulação.

Um outro dado que se pode extrair da análise dos gráficos acima apresentados, tem a ver com o facto das flutuações térmicas favorecerem a ideia que sugere a existência de captações vulneráveis. Este dado insere-se, obviamente, nos objectivos e propósitos do presente capítulo.

O parâmetro físico: temperatura exerce também grande influência nos processos biológicos, na solubilidade dos gases e nos índices de mineralização. Ao nível da mineralização, os aumentos dos valores das temperaturas favorecem a solubilização da maioria dos sais, bem como, o ataque químico de alguns minerais, principalmente os minerais silicatados (Afonso, 1997). Em consequência destes processos, os valores da condutividade eléctrica e do pH são, obviamente, alvo de significativas alterações.

#### 8. 2. 2. 3. PARÂMETRO CONDUTIVIDADE ELÉCTRICA DA ÁGUA

O parâmetro: condutividade eléctrica, muito usado em estudos e campanhas de hidrogeologia, representa a capacidade de uma certa corrente eléctrica passar por uma determinada solução (Manning, 1997). Este parâmetro é vulgarmente designado pelos Químicos como: "condução eléctrica específica".

Segundo Castany (1975), a condutividade eléctrica, ou a sua inversa: resistividade representa uma medida importante de investigação em hidrogeologia sendo que, as suas variações estão estritamente ligadas a oscilações nos valores de mineralização das águas subterrâneas.

A opinião de numerosos autores é de que, teoricamente, a condutividade eléctrica deve ser directamente proporcional à mineralização total (ou salinidade total). No entanto, esta afirmação é estritamente válida apenas para uma simples solução a um único soluto em água destilada. Para soluções mais complexas, como é o caso das águas naturais, as relações da condutividade eléctrica e a mineralização não são completamente directas (Manning, 1997). Isto porque nas águas naturais, onde se incluem, obviamente, as águas subterrâneas estão diluídos inúmeros solutos (ou sais) de natureza variada.

Em ambientes graníticos, como é o caso da região de Ermida, os valores da condutividade eléctrica são normalmente reduzidos, em comparação com outros tipos de meios. Esta situação evidencia a provável existência de baixos índices de mineralização das águas.

Em meios graníticos, associados a valores de condutividade eléctrica reduzidos, encontram-se frequentemente baixos valores do pH. Este cenário resulta das menores superfícies de contacto, existentes entre as águas e a rocha granítica encaixante. De acordo com Afonso (1997), esta superfície de contacto está directamente relacionada com a granulometria, pelo que, nas rochas fracturadas (graníticas), o contacto entre a água e a rocha é menos "íntimo" do que nas rochas porosas. Isto retarda a cedência dos sais entre a rocha e a água. Como já foi referido anteriormente, nestes processos a temperatura também desempenha um importante papel.

Na região de Ermida, os relativamente baixos valores de condutividade eléctrica, detectados na maioria dos meses do ano (Figuras 8. 11, 8. 12, 8. 13 e 8. 14), estão relacionados, provavelmente, com o curto trajecto existente entre as zonas de recarga e as captações. Deste modo, as superfícies de contacto (água/rocha) são bastante reduzidas, havendo por isso, baixas concentrações de sais iónicos dissolvidos nas águas, o que indica, seguramente, baixos índices de mineralização.

Os períodos de recarga assumem uma influência directa no aumento dos valores da mineralização, uma vez que o aumento dos índices de infiltração das águas nas condutas naturais provoca incrementos significativos no desgaste físico do meio envolvente, assim como maior capacidade de "arraste" de iões dos solos. Consequentemente pode resultar daqui também, uma forte subida dos valores da condutividade eléctrica, que forçosamente acarreta subidas nos valores referentes ao pH, devido ao aumento da quantidade de espécies dissolvidas nas águas (Lima 1993). Alguns autores sugerem mesmo, a elaboração de diagramas de dispersão representativos das correlações pH – condutividade eléctrica.

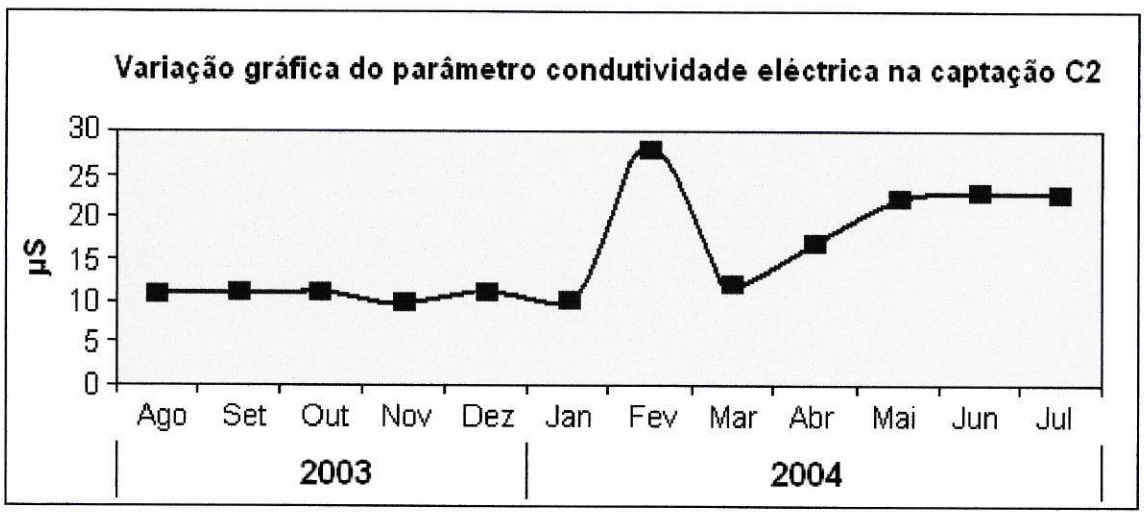
Segundo Castany (1975), os sais dissolvidos nas águas subterrâneas (motivadores dos aumentos de pH e condutividade eléctrica) provêm essencialmente de substâncias do solo e do subsolo. O mesmo autor sugere que a mineralização apresenta um carácter autónomo e constante, associado à velocidade do fluxo, onde assumem especial ênfase a permeabilidade, a natureza da rocha armazém e a recarga directa ou indirecta.

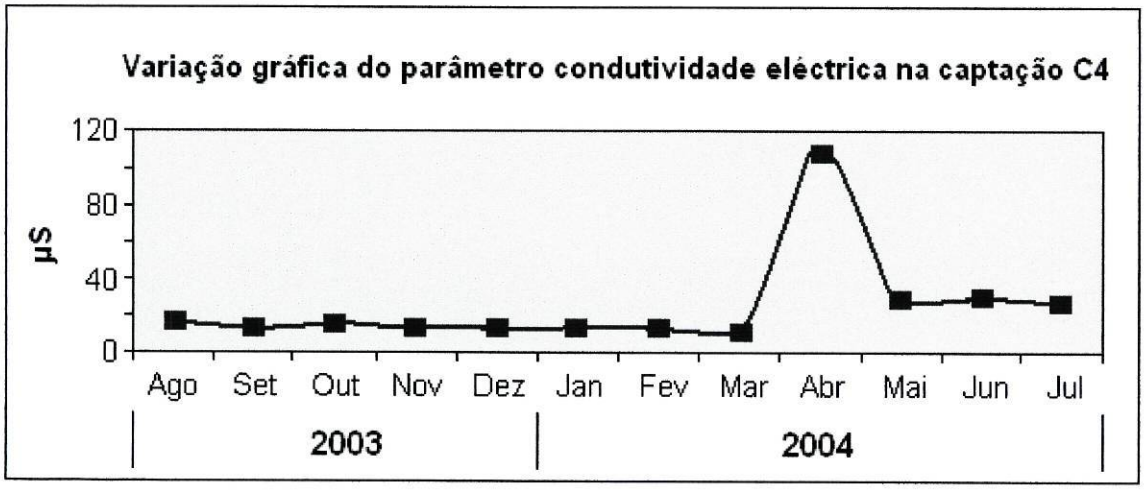
Nos estudos realizados na região de Ermida, relativos à evolução do pH e da condutividade eléctrica, constataram-se algumas variações significativas. No caso do pH, pode dizer-se que os valores deste parâmetro sofrem, nalgumas captações, apreciáveis aumentos em função dos incrementos ao nível da recarga. No entanto, esses aumentos nos valores do pH são graduais, isto é, não acompanham fielmente as subidas ocorrentes nos valores da recarga e nos índices de circulação subterrânea, pelo que, os seus picos se observam em períodos posteriores às épocas de maior pluviosidade.

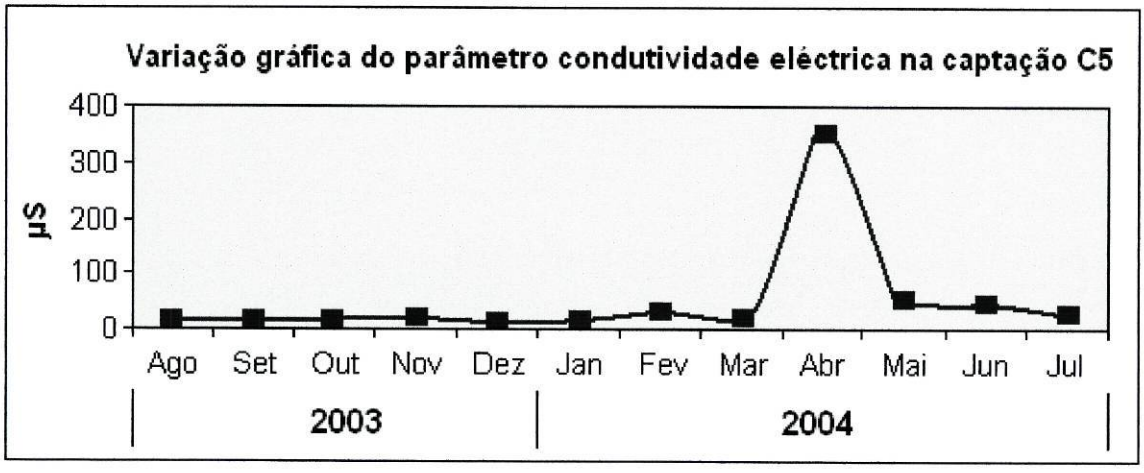
O estudo da evolução mensal dos valores da condutividade eléctrica revela-nos, numa primeira abordagem, duas realidades distintas:

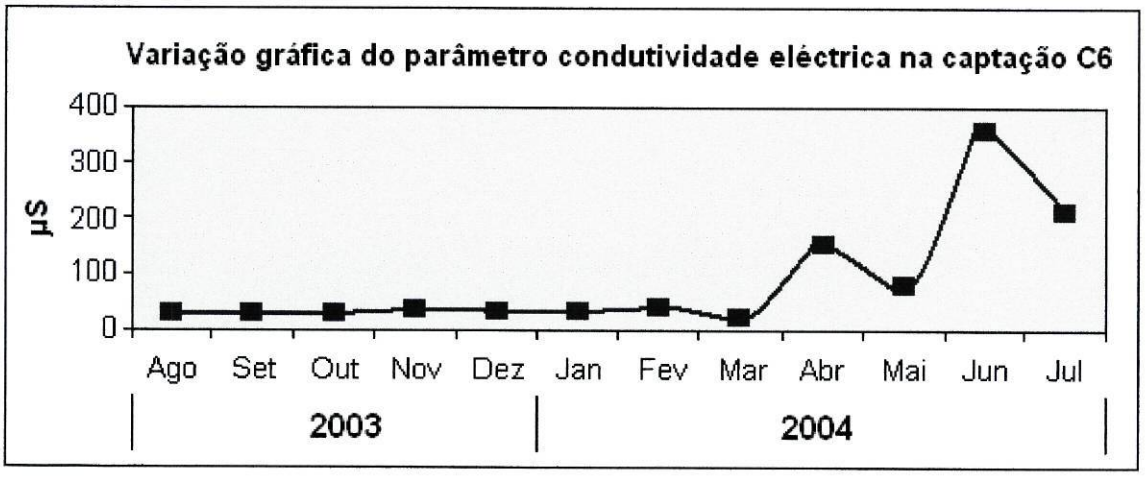
1° As oscilações representadas nos gráficos não seguem escrupulosamente as variações do pH, pois neste caso, verificam-se flutuações mais abundantes, e os seus picos não são propriamente coincidentes (exceptuando a captação C2) com os observáveis para o pH;

2° Nalgumas captações (C2 e C6) destacam-se valores elevados da condutividade eléctrica durante os períodos de menor humidade, isto é, durante os meses de Maio, Junho e Julho.





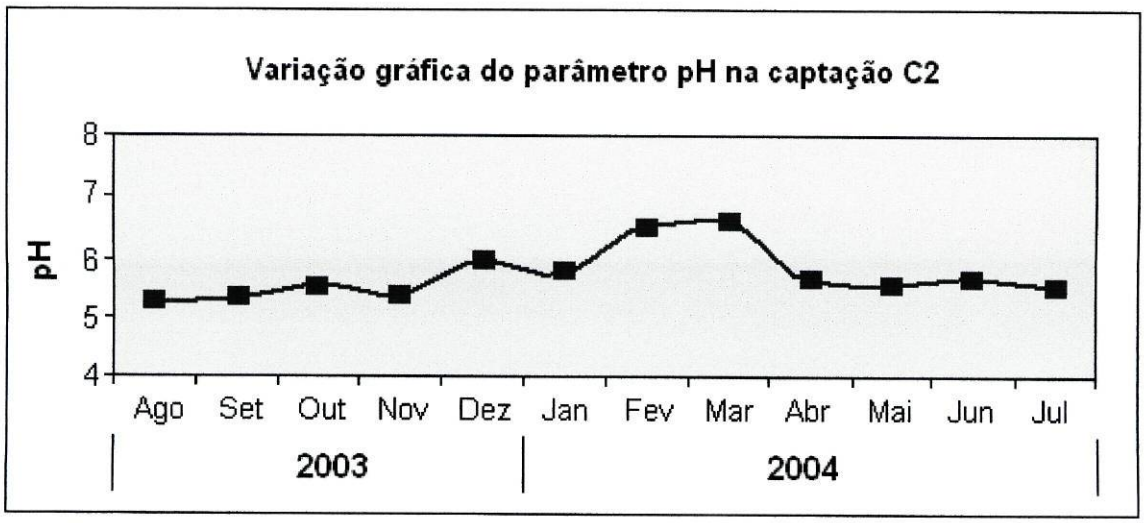

**Figuras 8. 11., 8. 12., 8. 13. e 8. 14.** Representações gráficas do parâmetro condutividade nas captações de Ermida.

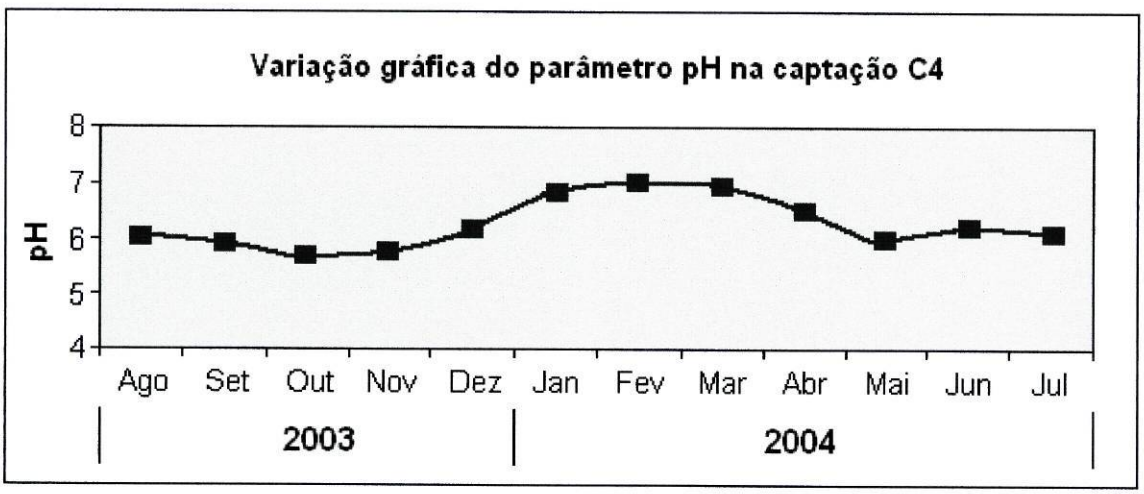
Por um lado, é de crer que os picos de condutividade eléctrica referentes ao mês de Abril, nas captações C4 e C5, estejam relacionados com aumentos de precipitação ocorridos durante esse mês. Aliás, já foi anteriormente referido que os caudais do mês

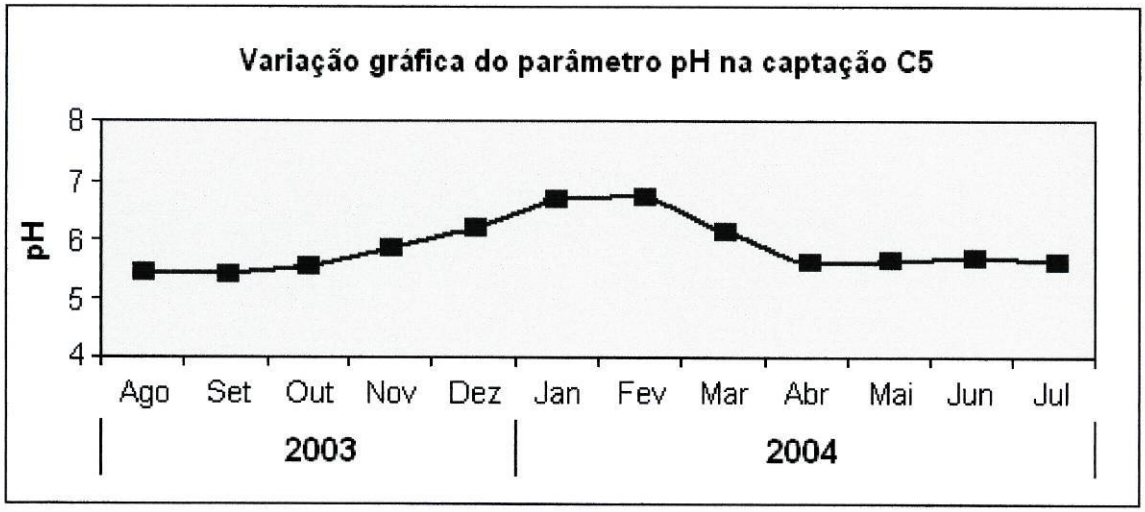
de Abril, para as captações em questão, evidenciam ligeiros acréscimos em relação aos meses precedentes.

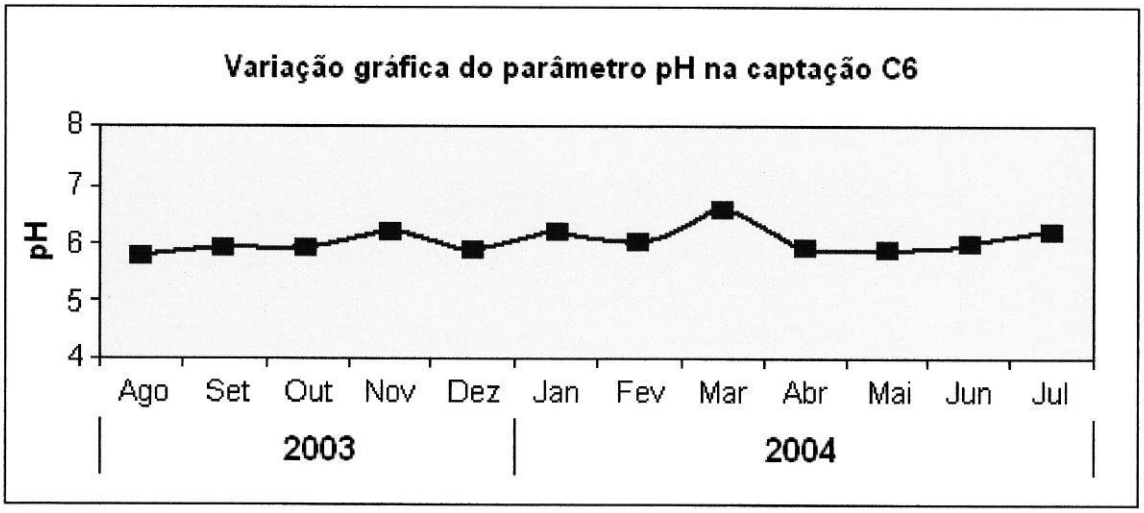
Por outro lado, é possível que os valores de condutividade eléctrica relativamente elevados, registados nas captações C2 e C6, estejam relacionados com os aumentos dos teores dos sais iónicos, devido à subida das taxas de evapotranspiração nos solos das áreas de contribuição.

Já foi aqui enunciada a influência do solo na quimicidade das águas subterrâneas, no entanto, interessa referir um dos fenómenos nele ocorrentes: a evapotranspiração, tendo em vista um melhor entendimento do meio hidrogeológico em estudo.






**Figuras 8. 15., 8. 16., 8. 17. e 8. 18.** Representações gráficas do parâmetro pH nas captações de Ermida.

Segundo Afonso (1997) a concentração de sais, motivada pela evapotranspiração, processa-se nas zonas mais superficiais do solo. De acordo com a mesma autora, este fenómeno é aí muito importante, pois permite que substâncias coloidais electronegativas (minerais de argila e húmus) tenham a capacidade de permutar catiões com a água ($K^+$, $Ca^{2+}$ e $Mg^{2+}$).

Convém, entretanto salientar que as análises referentes à temperatura, condutividade e pH, foram efectuadas nas próprias captações. Deste modo, as amostras de água, foram analisadas no exacto momento da sua recolha.

Os recursos técnicos utilizados para este efeito resumiram-se a um pequeno medidor portátil do pH, temperatura, condutividade eléctrica e mineralização total. O uso deste medidor (modelo *Combo – HI 98129* da *Hanna Instruments*) acarretou algumas vantagens para o trabalho, pois, para além de fornecer dados precisos sobre os parâmetros acima descritos, mostrou-se bastante versátil e de utilização extremamente simples.

Em síntese, pode concluir-se que, tal como acontece com os registos dos débitos e das temperaturas, os registos da condutividade eléctrica e do pH também apresentam importantes oscilações mensais, durante o ano hidrológico estudado. Esta situação reforça e comprova, com uma boa margem de segurança, a ideia previamente sugerida sobre as fortes possibilidades das captações de Ermida serem bastante vulneráveis.

Nesta medida, para que seja possível adoptar um método apropriado para a definição de perímetros de protecção, carece uma avaliação mais concisa sobre o grau de heterogeneidade dos aquíferos. Essa avaliação só será possível com a aquisição de dados mais precisos (complementares).

### 8. 2. 3. AVALIAÇÃO DO GRAU DE HETEROGENEIDADE DOS AQUÍFEROS

Como já foi evidenciado neste capítulo, a avaliação do grau de heterogeneidade dos aquíferos, corresponde a uma etapa essencial no âmbito da selecção do método a colocar em prática na definição de perímetros de protecção, para captações implantadas em meios cristalinos fracturados. Essa avaliação exige estudos complementares, por forma a obter uma melhor compreensão do meio hidrogeológico envolvente a cada uma das captações.

Os mesmos estudos complementares, de acordo com Pochon & Zwahlen (2002), devem envolver três actividades principais:

- Identificação de zonas preferenciais a processos de infiltração;
- Caracterização das descontinuidades, à escala dos afloramentos;
- Análises dos parâmetros: débito, temperatura e condutividade eléctrica, após episódios de forte recarga dos aquíferos.

Como já foi referido no presente capítulo, a definição das áreas favoráveis à infiltração foi efectuada com base nas condições topográficas. Para o efeito, procedeu-

se à análise da distribuição das linhas hipsométricas e a modelos digitais do terreno das áreas inseridas nas bacias de contribuição das captações.

No entanto, foram também realizadas observações de campo e interpretações de fotografias aéreas (ortofotomapas) respeitantes às condições geológicas e geomorfológicas locais. A este nível, foram alvo de especial apreciação, as fracturas (ou diaclases) ocorrentes em grandes afloramentos graníticos, as quais permitem infiltrações directas das águas das chuvas e de escorrência superficial, entre a superfície topográfica e os aquíferos.

No âmbito da identificação de áreas favoráveis à infiltração das águas, foram efectuadas análises mais pormenorizadas da distribuição de linhas de circulação de águas superficiais. Tudo isto, partindo do princípio (bastante provável) de que grande parte das águas que circulam naquelas mesmas linhas são alvo de processos naturais de infiltração.

Os aspectos relacionados com os sistemas de fracturação, ou de diaclasamento, à escala dos afloramentos, revestem-se de particular importância, pois materializam descontinuidades mecânicas. Estas descontinuidades assumem verdadeiro interesse na região de Ermida.

As captações C5 e C6 localizam-se em áreas onde foi identificado o maior número e de famílias de diaclases (maior variedade de orientações). Daí que, seja previsível, e provável, que os afloramentos localizados nas bacias de contribuição (no caso trata-se apenas de uma única bacia) dessas captações se encontrem "retalhadas" por fracturas com orientações diversas, sendo que existem orientações mais frequentes do que outras.

Foi também possível verificar que as fracturas, normalmente, se apresentam bastante fechadas, sendo que as mais extensas (com alguns metros de comprimento) são geralmente as que evidenciam maiores aberturas. No entanto, estas aberturas raramente ultrapassam espaçamentos acima do centímetro.

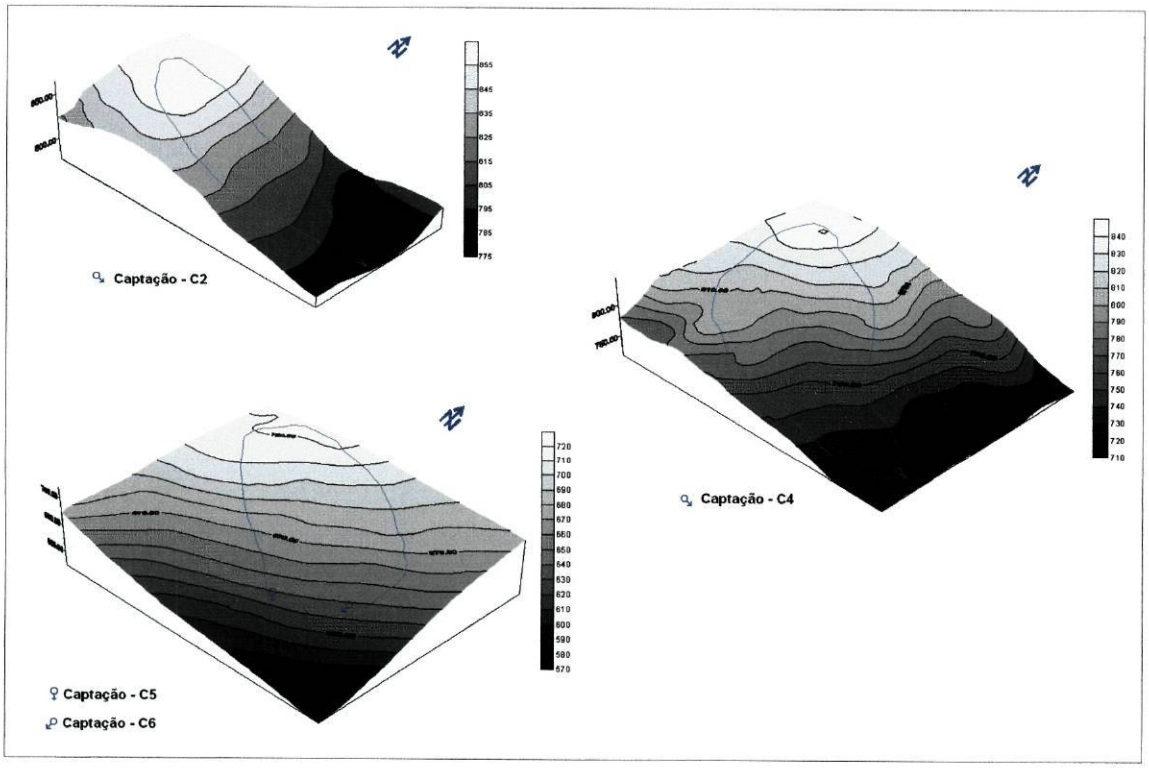
Nos afloramentos observados, são raras as fracturas colmatadas, isto é, fracturas com preenchimento. As escassas fracturas colmatadas encontram-se preenchidas por material argiloso.

Ao nível dos afloramentos, podem também ser detectáveis algumas (escassas) falhas, que se destacam das demais fracturas, por evidenciarem maiores extensões. No entanto, a quase totalidade das falhas encontradas, exibem altos níveis de colmatação,

sendo o material colmatante, constituído essencialmente por finas partículas de argila. Neste sentido, é pertinente afirmar que as falhas observadas nestas secções não possuem boas potencialidades hidráulicas, estando a circulação subterrânea mais dependente das interconectividades existentes entre as diaclases.

Os primeiros estudos efectuados no âmbito da avaliação do grau de heterogeneidade do meio hidrogeológico foram, obviamente, também empreendidos nas áreas de contribuição das captações C2 e C4. No entanto, como estas captações não estão implantadas na mesma bacia de contribuição, proceder-se-á à descrição das suas variáveis topográficas, geológico-geomorfológicas e hidrológicas, separadamente.

As análises geomorfológicas e topográficas locais revelaram, para a captação C4, uma bacia de contribuição relativamente extensa (em comparação com as bacias de contribuição das restantes captações). Colocando em evidência alguns aspectos topográficos, e relacionando-os com a rede hidrográfica local, é possível propor algumas áreas como potencialmente favoráveis à infiltração.




**Figuras 8. 19.** Modelos digitais do terreno representativos das condições topográficas das bacias de contribuição das captações de Ermida.

Esta infiltração das águas superficiais está, acima de tudo, dependente da permeabilidade dos solos e dos níveis de saibro, níveis estes que são bastante desenvolvidos nalgumas das áreas situadas a montante da captação C4. Nestas áreas os afloramentos de granito "fresco" apresentam-se de um modo mais descontínuo, sendo as fracturas superficiais pouco frequentes. Na realidade, os afloramentos graníticos próximos da captação em causa resumem-se, quase exclusivamente, a blocos isolados.

Seja como for, nos afloramentos graníticos observados, destacam-se fracturas com espaçamentos centimétricos. Este dado pode constituir um bom indicador hidrogeológico (situação já referida no capítulo sexto).

Nos locais aqui estudados, não se verificaram directamente falhas geológicas em profundidade, no entanto, é previsível que elas existam e apresentem prolongamentos em níveis subterrâneos (dezenas ou centenas de metros). Estas suposições baseiam-se nalguns bem vincados leitos de linhas de água e nos perfis geofísicos de VLF efectuados naquelas áreas.

A captação C2 localiza-se num meio geológico-geomorfológico algo semelhante ao encontrado na captação C4. Esta afirmação baseia-se no tipo de afloramentos presentes, como também, na distribuição e abertura das fracturas graníticas, e na dificuldade de se observarem verdadeiras falhas geológicas. Porém, destacam-se algumas diferenças importantes:

1° O solo está muito mais representado, quer em extensão, quer em espessura;

2° São mais escassos os afloramentos de saibro;

3° A vegetação é mais desenvolvida, na qual pontificam as espécies de grande porte.

As orientações principais das fracturas graníticas ocorrentes nas bacias de contribuição de todas as captações, que, aliás, estão representadas nos diagramas de roseta do capítulo sexto, controlam em grande medida o fluxo das águas subterrâneas. Seja como for, é certo que esse fluxo é também regido pelas condições topográficas das áreas favoráveis à infiltração.

Neste capítulo, foram já analisados os gráficos da evolução mensal dos parâmetros: débito, temperatura, condutividade eléctrica e pH, sendo que, as suas oscilações levaram, entre outras coisas, a tirar considerações sobre os graus de

vulnerabilidade das captações de Ermida. Porém, aliando alguns dados representados nos gráficos às informações que têm vindo a ser introduzidas nas linhas anteriores, será possível tirar ilações sobre o grau de heterogeneidade dos aquíferos presentes. Por outras palavras, será possível saber se, à escala das bacias de contribuição, as captações estão implantadas em meios pouco ou muito heterogéneos.

Segundo Pochon & Zwahlen (2002), um meio pouco heterogéneo corresponde a um meio equivalente e relativamente contínuo, no qual, os tempos de transmissão das águas aumentam globalmente em função da distância entre a zona de contribuição e uma dada captação.

De acordo com os mesmos autores, um meio fortemente heterogéneo corresponde a um meio onde as descontinuidades criem as condições para que, uma boa parte do fluxo, se processe ao longo de ligações rápidas entre qualquer zona da bacia de contribuição e a captação.

Voltando ao tema dos parâmetros físico-químicos, pode dizer-se que estes podem também tornar-se úteis na dedução do grau de heterogeneidade, sempre que analisados após períodos de grande precipitação (e infiltração). Na realidade, para além de estes parâmetros colocarem em evidência de conjuntos de formações permeáveis, de circulações rápidas, permitem também estimar, grosseiramente, a proporção desses transportes rápidos (Pochon & Zwahlen 2002).

As análises físico-químicas levadas a cabo durante os meses de Novembro, Dezembro e Abril, tiveram a particularidade de terem sido efectuadas em períodos imediatamente posteriores (um a dois dias após) a episódios de forte precipitação, e consequente recarga.

No que diz respeito ao caudal, já foi analisada a resposta deste parâmetro, em períodos de forte recarga, bem como as conclusões que permitiram obter dados referentes ao grau de vulnerabilidade das captações. Certo é, porém, que estas respostas, que se traduzem num significativo aumento dos valores dos débitos, adequam-se à ideia da existência de meios hidrogeológicos fracturados fortemente heterogéneos.

Por seu lado, o parâmetro condutividade eléctrica, quando acompanhado durante os meses de Novembro, e Dezembro, não fornece dados muito relevantes, pois não sofre grandes oscilações. Já em relação ao mês de Abril, em todas as captações, evidencia respostas bem mais satisfatórias. Estas respostas traduzem-se, efectivamente, em

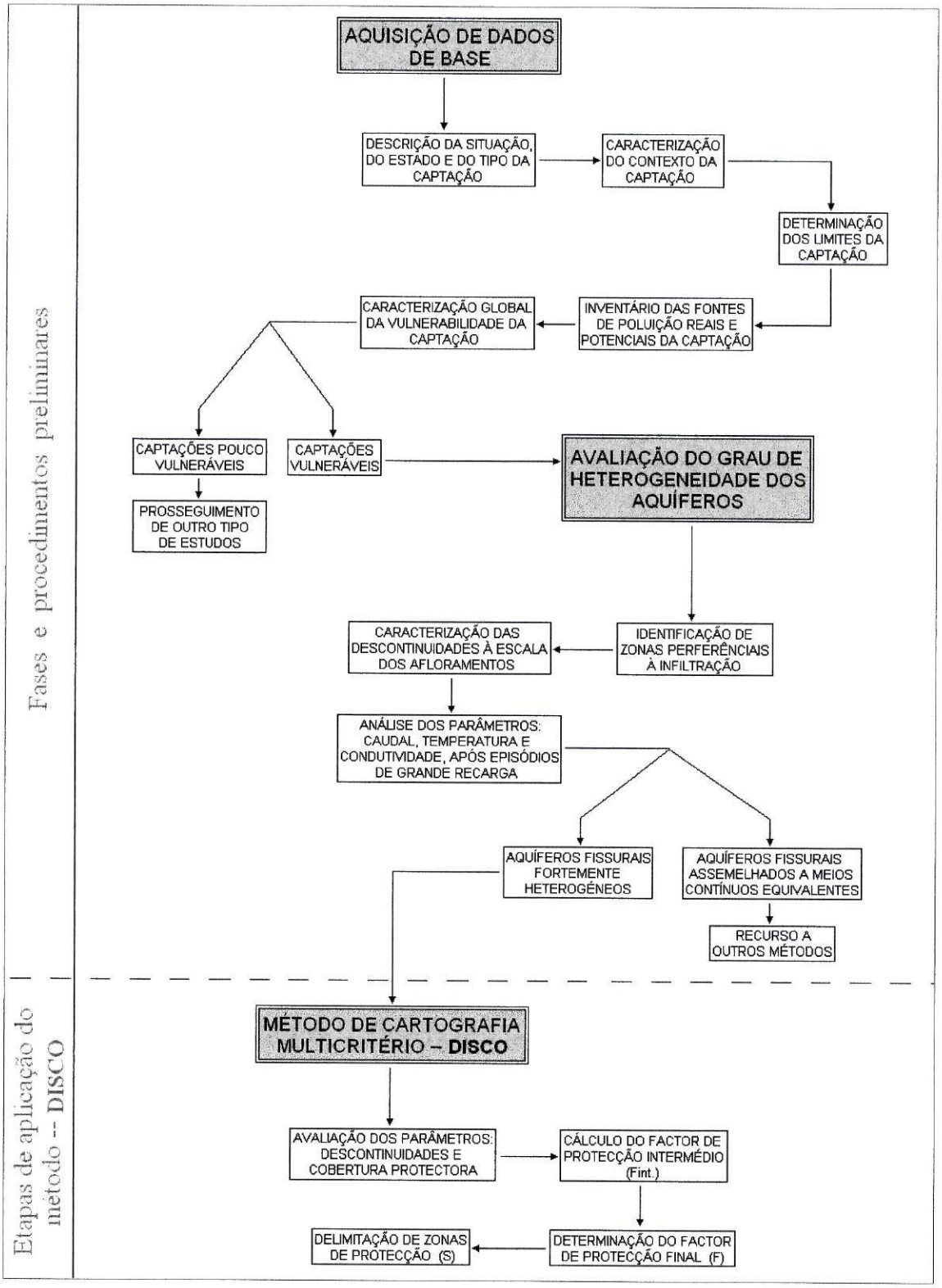
subidas significativas, sendo credível que, durante o mês em questão, tais respostas estejam, em grade medida, relacionadas com os aumentos dos valores da infiltração.

Ao nível da condutividade, destacam-se ainda subidas efectivas durante o mês de Fevereiro, principalmente na captação C2, no entanto, as análises efectuadas, durante este mês, não foram efectuadas em períodos imediatamente posteriores a períodos de forte precipitação.

A pesar dos dados referentes à condutividade eléctrica não apresentarem a consistência dos dados obtidos para os caudais, pode aceitar-se este parâmetro como um razoável indicador da heterogeneidade do meio hidrogeológico.

Com efeito, partir da análise do comportamento do conjunto de todos os parâmetros aqui apresentados, em fases posteriores a períodos marcados por forte precipitação, pode concluir-se, com alguma segurança, que os meios referentes às captações de Ermida são fortemente heterogéneos. Isto, a pesar de, pelo menos o parâmetro temperatura não se afigurar como um bom indicador.

Deste modo, confirmam-se as suposições atrás veiculadas, sobre as possibilidades de existirem condições favoráveis à aplicação do método de cartográfico multicritério – *DISCO*.




**Figuras 8. 20.** Organigrama representativo das fases preliminares e efectivas para a aplicação do método *DISCO* (Adaptado de Pochon & Zwahlen 2002).

## 8. 3. DEFINIÇÃO DE PERÍMETROS DE PROTECÇÃO COM O RECURSO AO MÉTODO *DISCO*

Como já deu para perceber, o método *DISCO*, na sua execução baseia-se fundamentalmente em factores geológicos e hidrogeológicos. O mesmo pode ser aplicado a ambientes geológicos favoráveis à proliferação de aquíferos fissurais e, com efeito, deve integrar amplas informações referentes à litologia, à tectónica e ao relevo.

A aplicação do método *DISCO* sustenta-se na cartografia de três parâmetros essenciais:

- Fracturação;
- Fluxo superficial das águas;
- Cobertura protectora.

Segundo Pochon & Zwahlen (2002), é necessária a cartografia e avaliação ponderada de, pelo menos, dois dos três factores acima mencionados para caracterizar o transporte de um poluente. É a partir desta mesma ponderação que se criam condições para a determinação do factor de protecção natural ou final (F) para as captações, em qualquer ponto da bacia de contribuição. De acordo com os mesmos autores, a determinação daquele factor é baseado na vulnerabilidade intrínseca.

Normalmente, o termo vulnerabilidade intrínseca é utilizado para caracterizar, de um modo geral, a vulnerabilidade das águas subterrâneas a possíveis contaminações, geradas pelas mais diversas actividades humanas. Ela tem em consideração as características geológicas e hidrogeológicas do meio natural, mas é independente da natureza do poluente (Daly *et al*, *in*. Pochon & Zwahlen (2002).

Por outro lado, Pochon & Zwahlen (2002), consideram também importante para estes estudos, o conceito vulnerabilidade específica. Este conceito, de acordo com os mesmos autores, é utilizado com o intuito de definir a vulnerabilidade das águas subterrâneas em função do comportamento de um determinado poluente ou de um grupo de poluentes, e suas relações com os diferentes factores, tidos em consideração na vulnerabilidade intrínseca.

A determinação do factor de protecção natural (F) constitui o ponto de partida para a delimitação das zonas S. Na verdade, existe uma relação de equivalência entre o factor F e as zonas de protecção $S_1$, $S_2$ e $S_3$.

Desta forma tem-se a definição de três zonas com diferentes graus de vulnerabilidade (Pochon & Zwahlen 2002):

- Vulnerabilidade particularmente forte – Zonas $S_1$, caracterizadas por um factor de protecção natural nulo ou muito baixo;
- Vulnerabilidade forte – Zonas $S_2$, caracterizadas por um factor de protecção natural baixo;
- Vulnerabilidade média – Zonas $S_3$, caracterizadas por um factor de protecção natural médio.

Segundo Pochon & Zwahlen (2002), a vulnerabilidade de uma dada captação deve ser avaliada com base num número representativo de dados, onde o funcionamento hidrogeológico da região é suficientemente conhecido, de modo a propor um modelo conceptual dos escoamentos existentes. De acordo com os mesmos autores, é a partir da aplicação deste princípio fundamental, que se estabelecem as condições para distinguir se uma captação é muito ou pouco vulnerável.

Convém, antes de mais, reafirmar que, para que todo este processo de caracterização e definição de zonas de protecção seja bem sucedido, torna-se importante a identificação e cartografia das áreas de recarga das captações, e verificar o grau de homogeneidade dos meios que nelas presidem.

Com efeito, com vista à avaliação do transporte, de um poluente de um ponto qualquer da bacia de contribuição até uma captação, são suficientes três parâmetros, principais (Pochon & Zwahlen 2002):

- Descontinuidades;
- Cobertura protectora;
- Fluxo superficial.

Partindo do princípio que a avaliação da influência combinada destes três parâmetros, permite determinar um factor de protecção natural em todos os pontos da bacia de contribuição, interessa defini-los separadamente:

- O parâmetro – descontinuidades, tem em consideração o transporte das águas no interior de um aquífero em meio fissurado, transporte esse que se processa entre um dado ponto da bacia de contribuição, e a captação.
- O parâmetro – cobertura protectora, traduz-se no efeito protector das formações geológicas nos níveis superiores dos aquíferos (ex. solo, depósitos quaternários, e formações pré-quaternárias).
- O parâmetro – fluxo hídrico superficial, envolve todos os fenómenos de circulação de águas em superfície, antes destas se infiltrarem nos níveis subterrâneos (ex. episódios temporários de circulação em vertentes, cursos de água permanentes ou temporários).

Os parâmetros acima apresentados e explicados são intervenientes nalgumas das etapas fundamentais de aplicação do método *DISCO*, que no total correspondem quatro. Na realidade, de acordo com Pochon & Zwahlen (2002), este processo de cartografia multicritério, de delimitação de perímetros de protecção envolve as seguintes etapas:

- Avaliação dos parâmetros de descontinuidades e cobertura protectora;
- Cálculo do factor de protecção intermédio ($F_{int.}$);
- Determinação do factor de protecção final (F), com a ajuda do parâmetro: fluxo superficial;
- Determinação das zonas de protecção (S).

Interessa, desde já, explicar sucintamente as actividades subjacentes a cada uma das quatro etapas a colocar em prática no âmbito da aplicação do método *DISCO*. Para que estas etapas sejam realizadas, é necessário atribuir, às variáveis naturais acima enunciadas e explicadas, valores numéricos. A sobreposição final destes valores, representados cartograficamente, resulta na realização de mapas com as diferentes zonas de protecção ($S_1$, $S_2$ e $S_3$).

Durante a primeira das quatro etapas dá-se lugar ao estudo das descontinuidades. Este estudo envolve a cartografia dos contrastes de permeabilidade e de conexões

rápidas ao nível da bacia de contribuição, sendo que se torna importante avaliar, por exemplo: a extensão, o preenchimento, a abertura, a frequência e a orientação das fracturas. Assim sendo, definem-se, para este parâmetro, quatro classes de permeabilidade:

- $\underline{D_0}$, indica o maior grau de permeabilidade e, consequentemente, maior vulnerabilidade;
- $\underline{D_1}$ e $\underline{D_2}$, indicam a existência de circulações rápidas, sendo que no segundo caso, pode evidenciar zonas de grande permeabilidade (ou de descontinuidade) com a presença de ligações rápidas entre a zona de contribuição e a captação;
- $\underline{D_3}$, só se aplica em zonas de baixa permeabilidade.

**Tabela 8. 1.** Valores e critérios de avaliação do parâmetro: descontinuidades ( Pochon & Zwahlen 2002).

| CLASSE | VALOR | CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO |
|---|---|---|
| $D_0$ | 0 | Descontinuidades com ligações rápidas com a captação (na ordem de uma dezena de horas) e ausência de fenómenos de atenuação significativos. |
| $D_1$ | 1 | Descontinuidades com ligações rápidas com a captação (na ordem de alguns dias) fenómenos de atenuação fracos. |
| $D_2$ | 2 | Ligações relativamente lentas com a captação (na ordem de uma dezena de dias) e fenómenos de atenuação eficazes: zonas de permeabilidade moderada, ou existência de descontinuidades sem ligações rápidas com a captação. |
| $D_3$ | 3 | Ligações lentas com a captação (várias dezenas de dias) e fenómenos de atenuação bastante eficazes: zonas caracterizadas por permeabilidades restritas. |

O segundo parâmetro a entrar em jogo, no decurso da primeira etapa, envolve processos de cartografia da função protectora (solos e formações geológicas superficiais). Assim sendo, devem realizar-se análises e/ou estimações da espessura e permeabilidade das camadas se solo, com vista a obter percepções sobre: tempos de transmissão e efeitos de retardação/degradação/dispersão dos poluentes.

**Tabela 8. 2.** Classes e valores de avaliação do parâmetro: cobertura protectora (Pochon & Zwahlen 2002).

| **Solos** | | | |
|---|---|---|---|
| Espessura (m) | Muito permeável (saibro, blocos) | Solo com permeabilidade (silte, areia) | Solo pouco permeável (areia, argila) |
| 0 – 0.2 | $P_0$ | $P_0$ | $P_0$ |
| 0.2 – 0.5 | $P_0$ | $P_0$ | $P_1$ |
| 0.5 – 1.00 | $P_0$ | $P_1$ | $P_2$ |
| > 1.00 | $P_1$ | $P_1$ | $P_3$ |
| Valores para o parâmetro P: $P_0 = 0$, $P_1 = 1$, $P_2 = 2$, $P_3 = 3$ e $P_4 = 4$ | | | |

Com este objectivo, são definidas três classes de função protectora, baseadas em ensaios de infiltração, estudos de solos, e pesquisas bibliográficas. Por vezes, como medida de simplificação, podem efectuar-se algumas análises da cobertura vegetal (parcelas agrícolas e florestas), assim como, fazer uso do "princípio da equivalência geomorfológica".

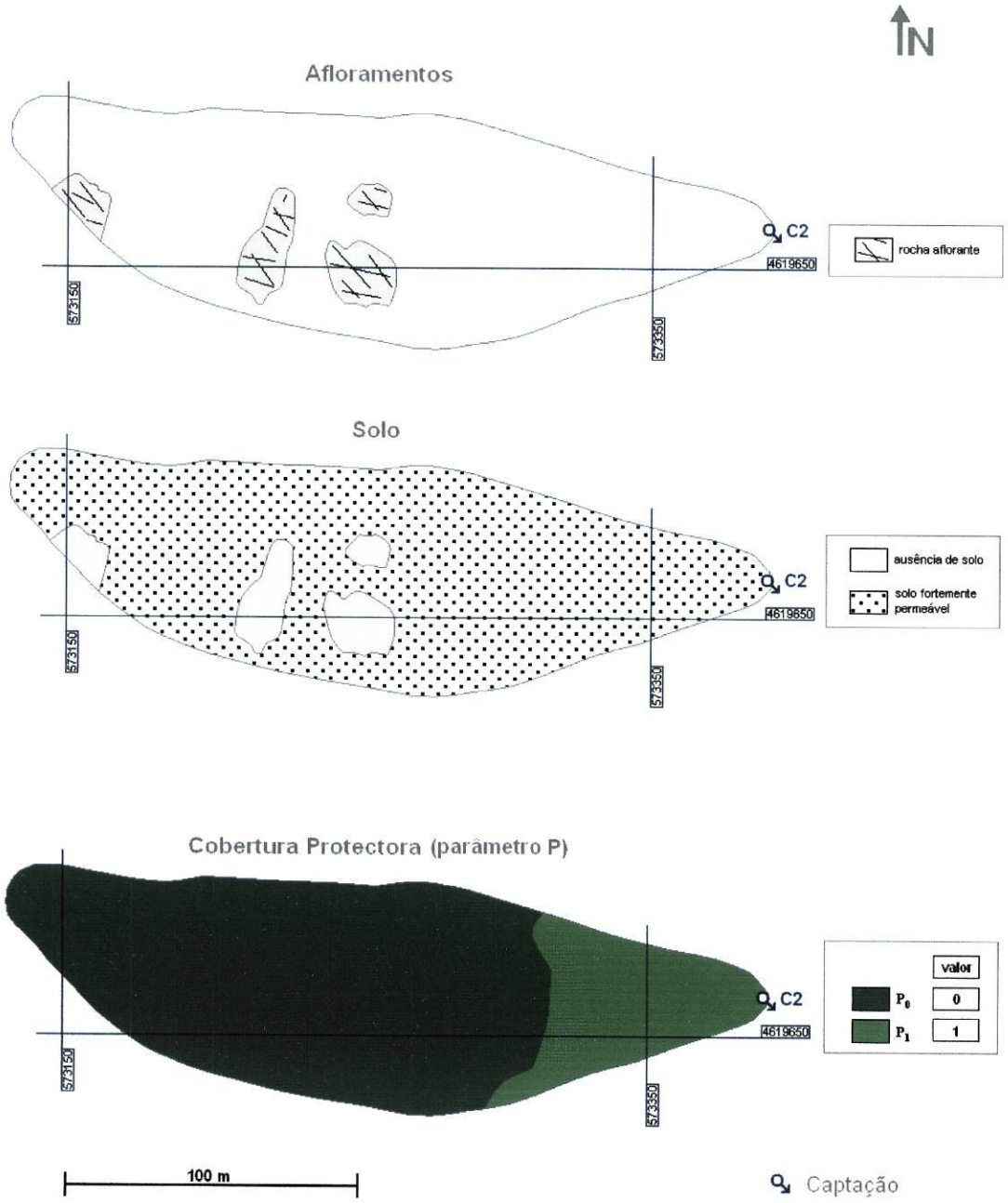



**Figura 8. 21.** Determinação do parâmetro cobertura protectora para a bacia de contribuição da captação C2.

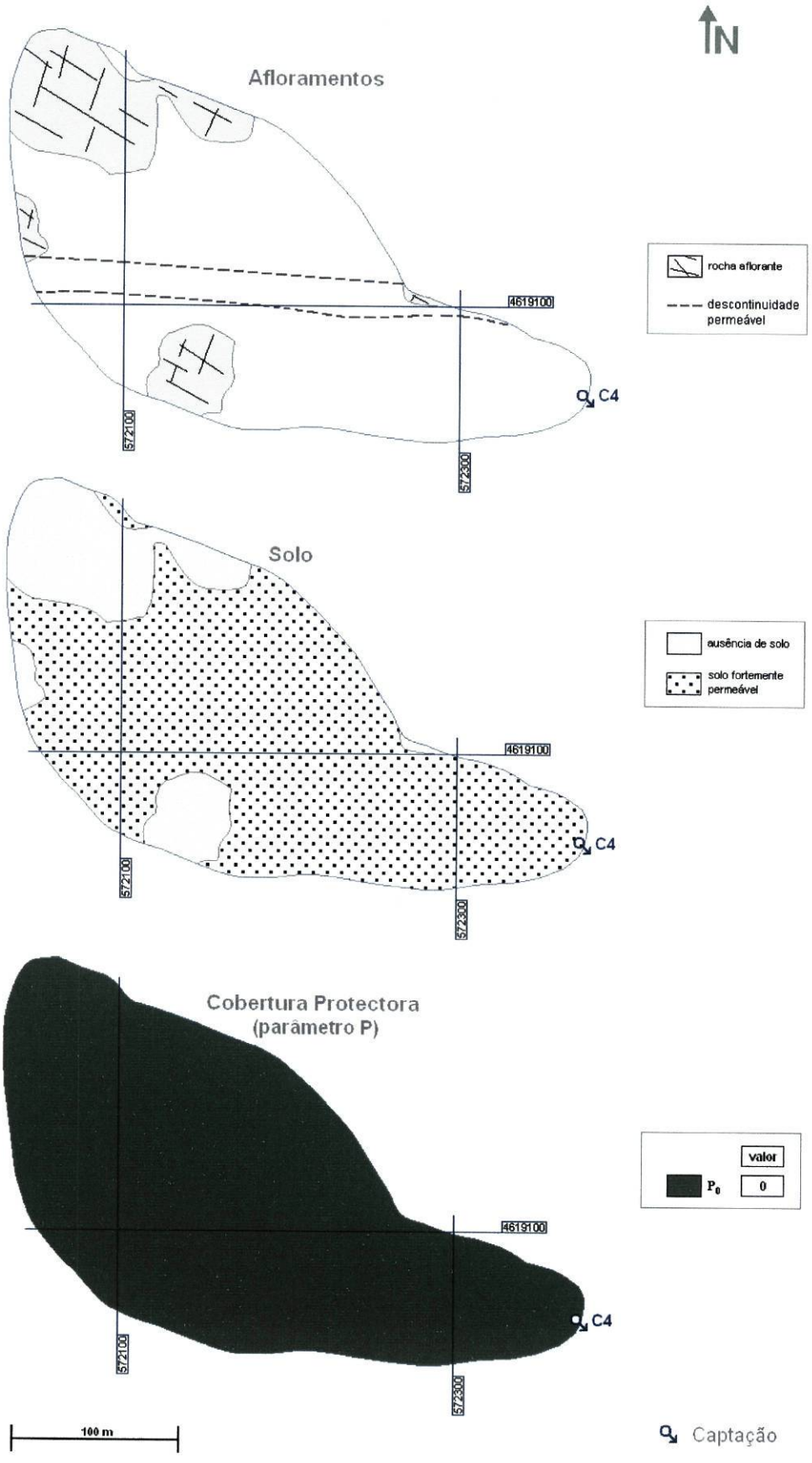



**Figura 8. 22.** . Determinação do parâmetro cobertura protectora para a bacia de contribuição da captação C4.

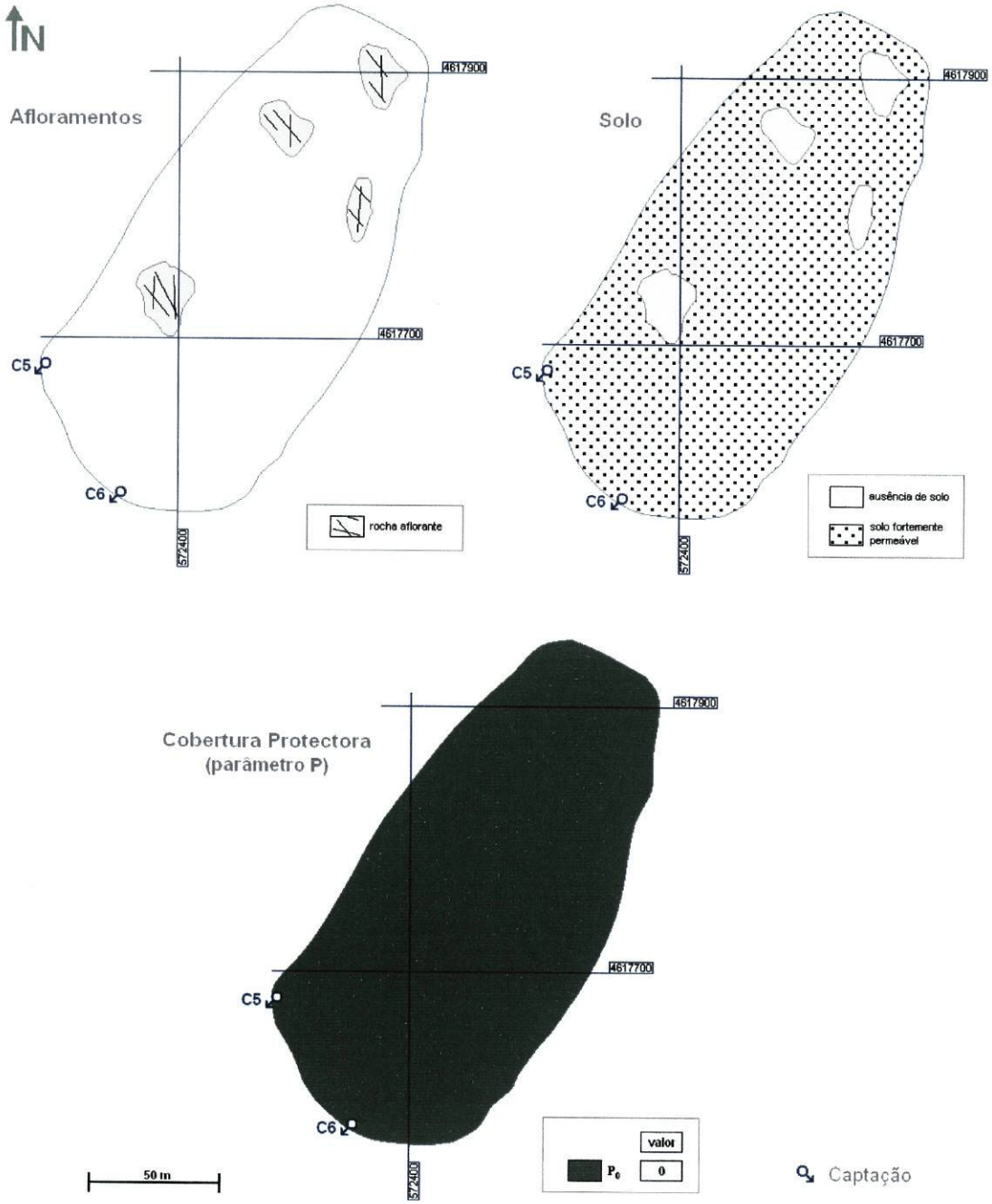



**Figura 8. 23.** Determinação do parâmetro cobertura protectora para a bacia de contribuição das captações C5 e C6.

Com base na ponderação dos dados referentes às descontinuidades, e atendendo aos critérios de avaliação indicados na tabela, foram também elaborados, para as bacias de contribuição das captações de Ermida, os mapas representativos do parâmetro D (descontinuidades).

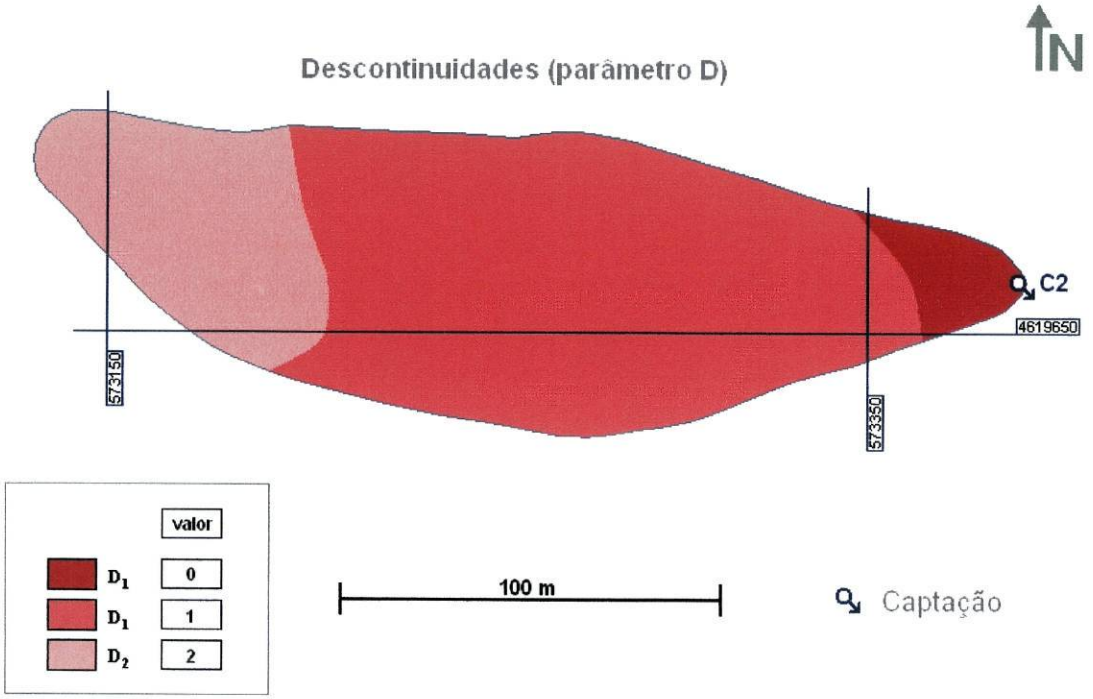



**Figura 8. 24.** Distribuição dos valores referentes ao parâmetro descontinuidades para a bacia de contribuição da captação C2.

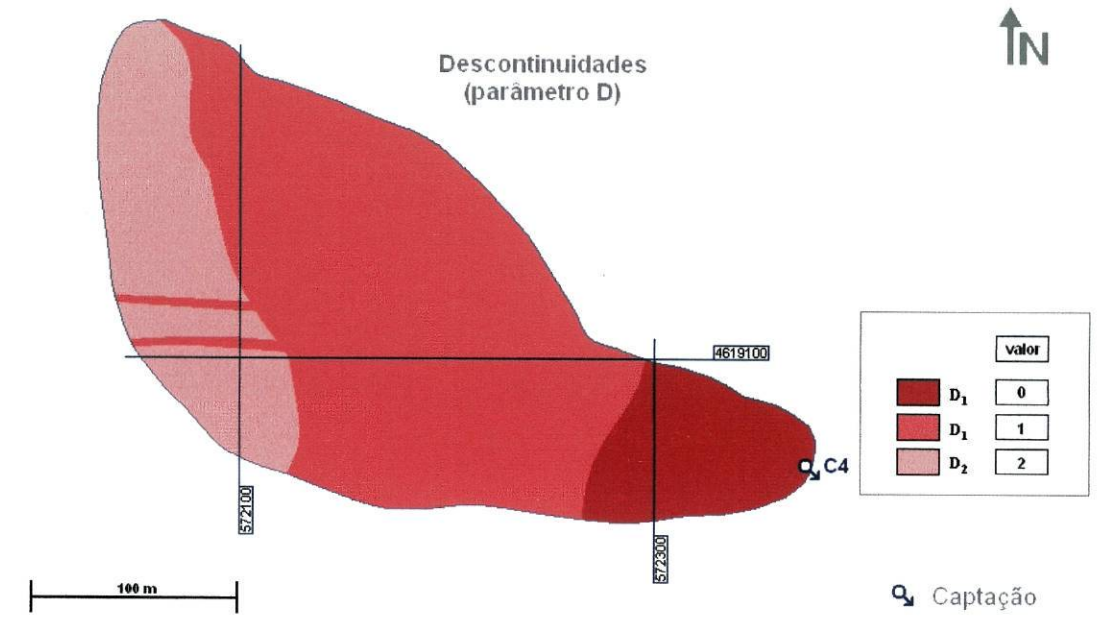



**Figura 8. 25.** Distribuição dos valores referentes ao parâmetro descontinuidades para a bacia de contribuição da captação C4.

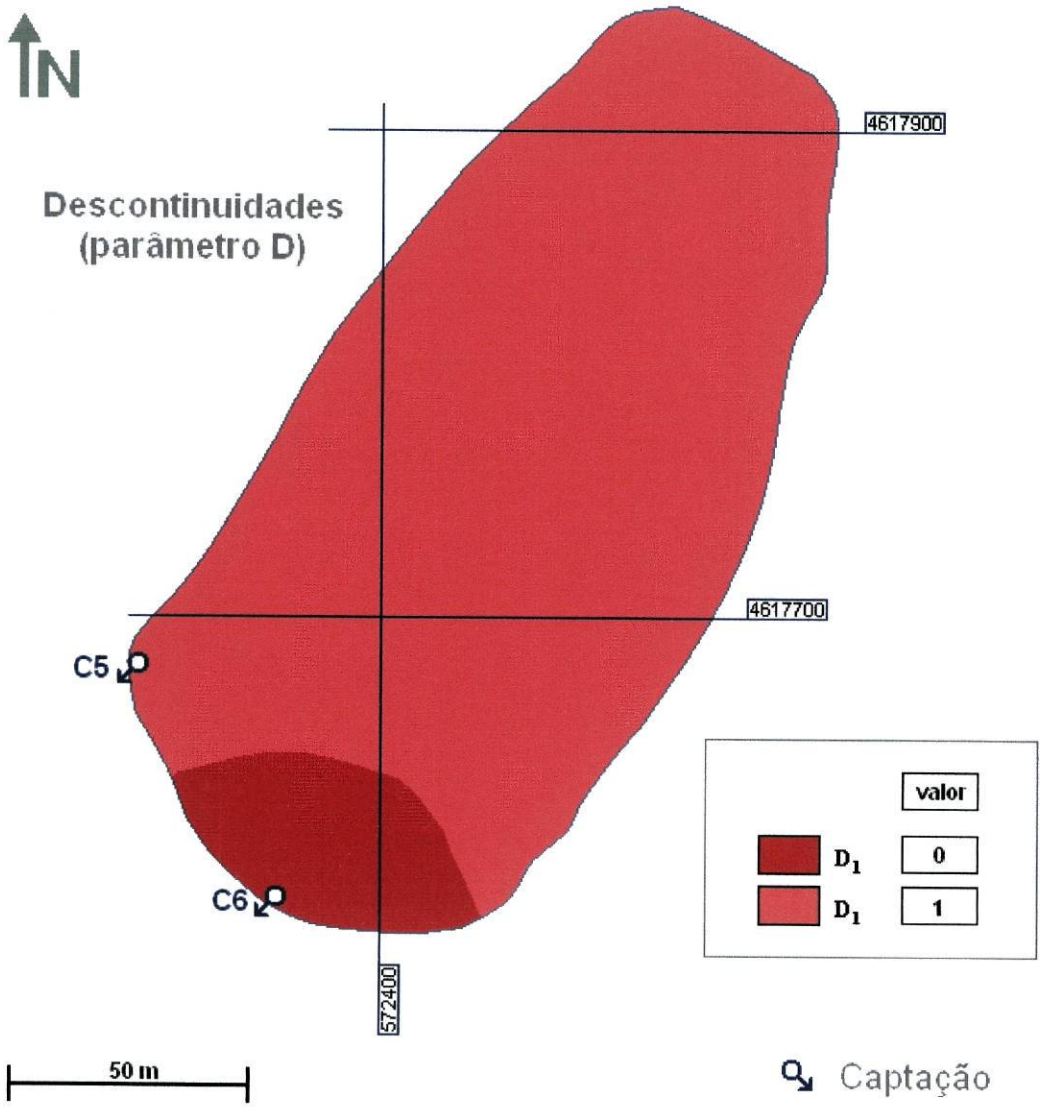



**Figura 8. 26.** Distribuição dos valores referentes ao parâmetro descontinuidades para a bacia de contribuição das captações C5 e C6.

No decurso da segunda etapa do método *DISCO*, proceder-se-á à determinação do factor de protecção intermédio: $F_{int}$, isto é, a determinação, em todos os pontos da bacia de contribuição, da maior ou menor facilidade com que um determinado poluente se infiltra, e atinge a captação (ver tabelas seguintes).

A factores de protecção intermédios muito baixos correspondem vulnerabilidades muito elevadas. Isto implica que um poluente, num ponto caracterizado por um factor de protecção muito baixo, entra muito facilmente na captação, sem que os fenómenos de atenuação (filtração, auto-purificação e diluição) sejam realmente eficazes (Pochon & Zwahlen 2002).

O cálculo do factor de protecção intermédio é efectuado com o auxílio da seguinte equação:

$$F_{int.} = 2*D + P$$

**D:** Valor do do parâmetro: *descontinuidades*

**P:** Valor do parâmetro: *cobertura protectora*

**Tabelas 8. 3. e 8. 4.** Dedução e classificação dos valores referentes ao factor de protecção intermédio (Pochon & Zwahlen 2002).

| | $P_0$ | $P_1$ | $P_2$ | $P_3$ | $P_4$ |
|---|---|---|---|---|---|
| $D_0$ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| $D_1$ | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| $D_2$ | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| $D_3$ | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |

| VALOR | Fint. = 0.1 | Fint. = 2, 3, 4 | Fint. = 5, 6, 7 | Fint. = 8, 9, 10 |
|---|---|---|---|---|
| Protecção | muito baixa | Baixa | média | forte |
| Vulnerabilidade | particularmente baixa | Forte | média | fraca |

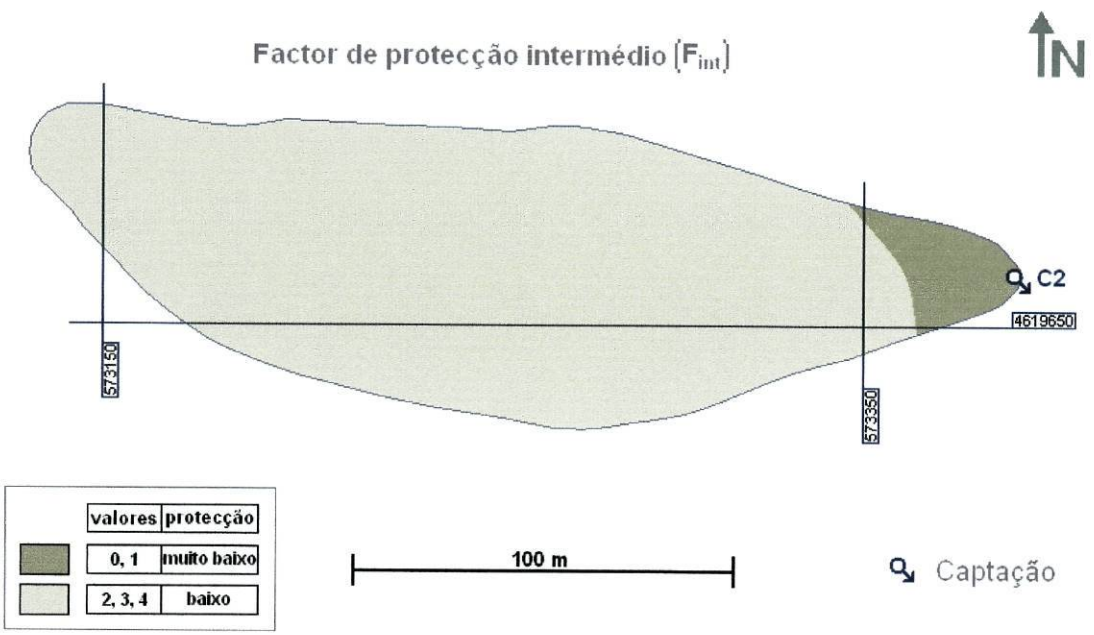



**Figura 8. 27.** Distribuição dos valores referentes ao factor de protecção intermédio para a bacia de contribuição da captação C2.

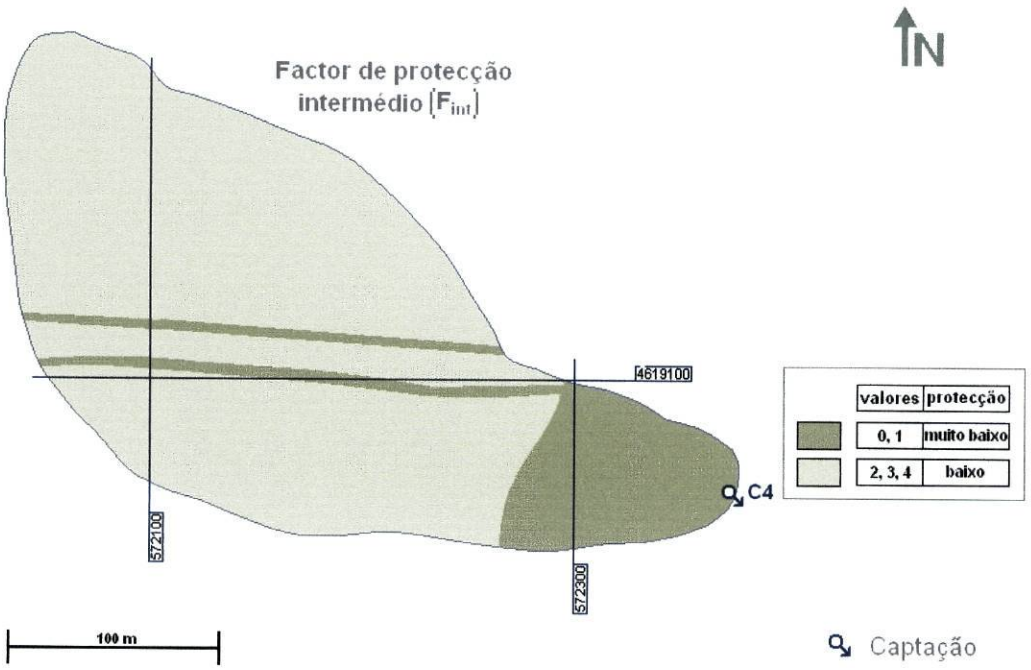



**Figura 8. 28.** Distribuição dos valores referentes ao factor de protecção intermédio para a bacia de contribuição da captação C4.

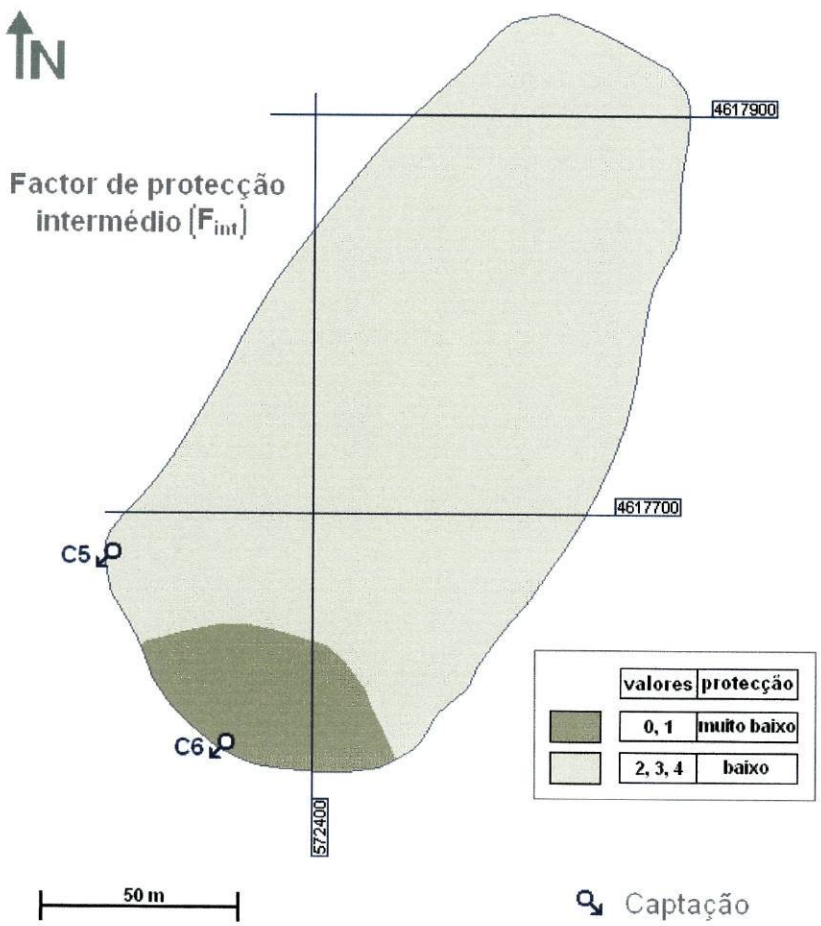



**Figura 8. 29.** Distribuição dos valores referentes ao factor de protecção intermédio para a bacia de contribuição das captações C5 e C6.

No âmbito da terceira etapa, referente à determinação do factor de protecção final (F), é tido em consideração o parâmetro fluxo hídrico superficial. Segundo Pochon & Zwahlen (2002), sempre que se proceda à análise do fluxo superficial, deve ter-se em atenção que ele inclui deslocamentos laterais de algumas dezenas de metros (escorrência difusa), e processa-se ao longo de centenas de metros sobre canais ou drenos naturais (cursos de água permanentes ou temporários).

Aqueles autores referem que, contrariamente aos outros dois parâmetros (descontinuidades e cobertura protectora), que são cartografados ao longo de das bacias de contribuição, o fluxo superficial é considerado exclusivamente, em zonas onde as descontinuidades e a cobertura protectora atribuem um factor de protecção baixo ou muito baixo, assim como em zonas que denotem fenómenos de fluxo hídrico superficial significativos. Deste modo, a cartografia do parâmetro: fluxo hídrico superficial deve permitir delimitar bacias vertentes locais. Essas bacias vertentes locais vão corresponder às superfícies mais vulneráveis.

As três variáveis naturais que determinam o fluxo superficial são a inclinação, a permeabilidade do solo, e as condições antecedentes de humidade. Para que estas variáveis sejam devidamente estudadas torna-se importante recorrer a mapas de grande escala (1:5000 e 1:10000), a modelos numéricos do terreno, a fotografias aéreas, e a observações de campo (especialmente em períodos de forte precipitação).

**Tabelas 8. 5. e 8. 6.** Parâmetros de classificação do fluxo superficial difuso e linear (Pochon & Zwahlen 2002).

| **a) Fluxo difuso ao longo de inclinações de terreno (bacias vertentes locais, relativamente uniformes, sem que existam canais ou sistemas de drenagem)** | |
|---|---|
| Declive | Extensão da bacia vertente local, a considerar |
| 2 – 10% | 10 metros sobre as superfícies vulneráveis consideradas |
| 10 – 25% | 20 metros sobre a superfície vulnerável considerada |
| > 25 % | 30 metros sobre a superfície vulnerável considerada |
| - Na presença de talevegues, canais, cursos ou drenos colectores das águas de escorrência, a extensão da bacia vertente a considerar deve ser entendida em consequência.<br>- A extensão das superfícies a considerar foi fixada com base em observações realizadas essencialmente em sectores de pastorícia. De um modo geral, o fluxo é mais reduzido em sectores de floresta, devido à presença de solos mais arejados e de espessuras mais reduzidas. Nestas situações, podem admitir-se implantações de bacias de contribuição locais mais pequenas (Ex: 10 m, mesmo em casos de declives superiores a 25%). | |

| **b) Cursos de água permanentes ou temporários, infiltrantes** | |
|---|---|
| Extensão a atribuir à bacia vertente local: | Em leitos e margens de cursos de água, bacias vertentes, são determinantes os critérios de inclinação (para o fluxo) |

Após a realização das três primeiras etapas do método *DISCO*, e antes da efectiva delimitação das zonas de protecção (quarta e última etapa), deve ser atestada a fiabilidade dos dados e considerações estabelecidas. Em caso de não existirem certezas, deve verificar-se se é possível e útil adquirir dados complementares. Além disso, é pertinente, mesmo que exista uma boa fiabilidade dos dados, analisá-los e cartografá-los do modo mais rigoroso possível, assim como testar se os resultados obtidos para o factor de protecção (F), estão de acordo com o funcionamento hidrodinâmico da região, e mesmo com a resposta global do sistema Pochon & Zwahlen (2002).

Finalmente, a delimitação das zonas de protecção é efectuada com base numa relação de equivalência entre o valor do factor de protecção final (F) e as zonas (S). Essa relação, bem como a combinação de todos os parâmetros, deve ser suportada com o estudo de um número significativo de locais de teste.

A este nível, os controlos de caudal, ensaios de infiltração e estudos geofísicos podem auxiliar na adequação do modo de determinação dos factores de protecção e de definição das zonas (S). A tudo isto, deve aliar-se um bom conhecimento das características geológicas e hidrológicas de cada área considerada.

**Tabela 8. 7.** Relações de equivalência entre o factor de protecção final, a vulnerabilidade e as zonas S (Pochon & Zwahlen 2002).

| **Factor de protecção F** | **Vulnerabilidade** | **Zonas S** |
|---|---|---|
| F muito baixo (0, 1) | particularmente forte | $S_1$ |
| F baixo (2, 3, 4) | forte | $S_2$ |
| F médio (5, 6, 7) | moderada | $S_3$ |
| F forte (8, 9, 10) | baixa | Resto da bacia de contribuição |

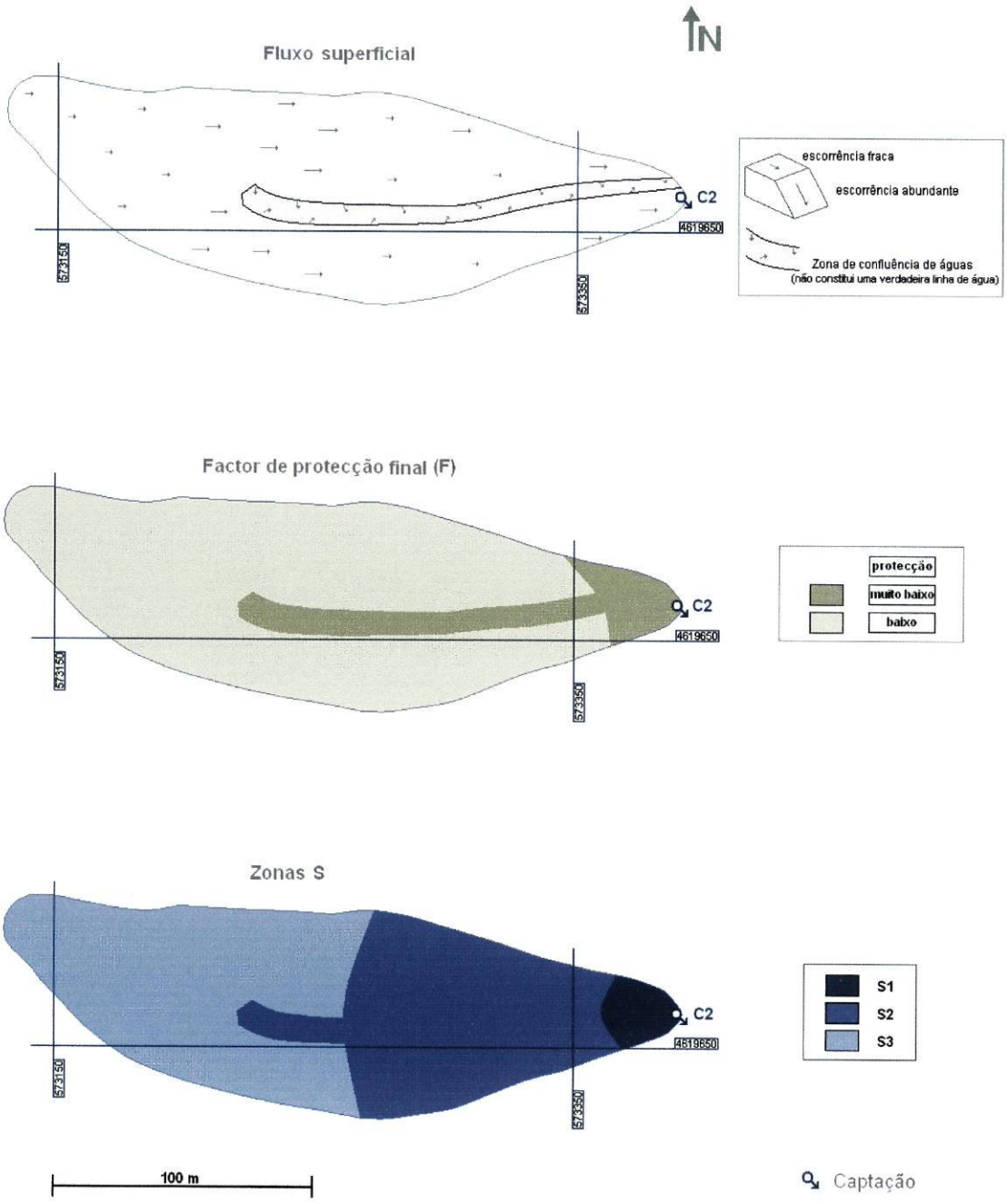



**Figura 8. 30.** Determinação das zonas S para a bacia de contribuição da captação C2.

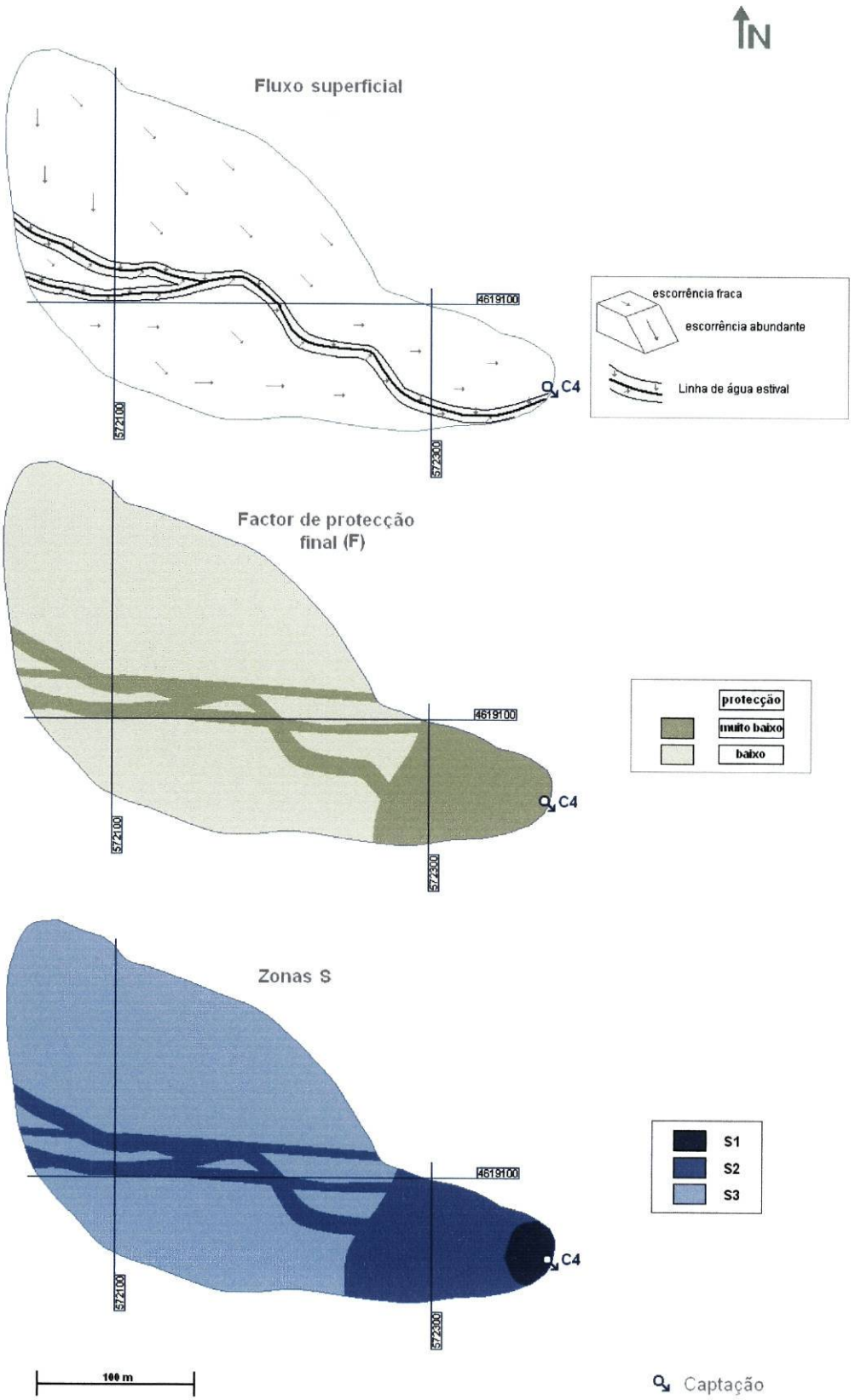



**Figura 8. 31.** Determinação das zonas S para a bacia de contribuição da captação C4.

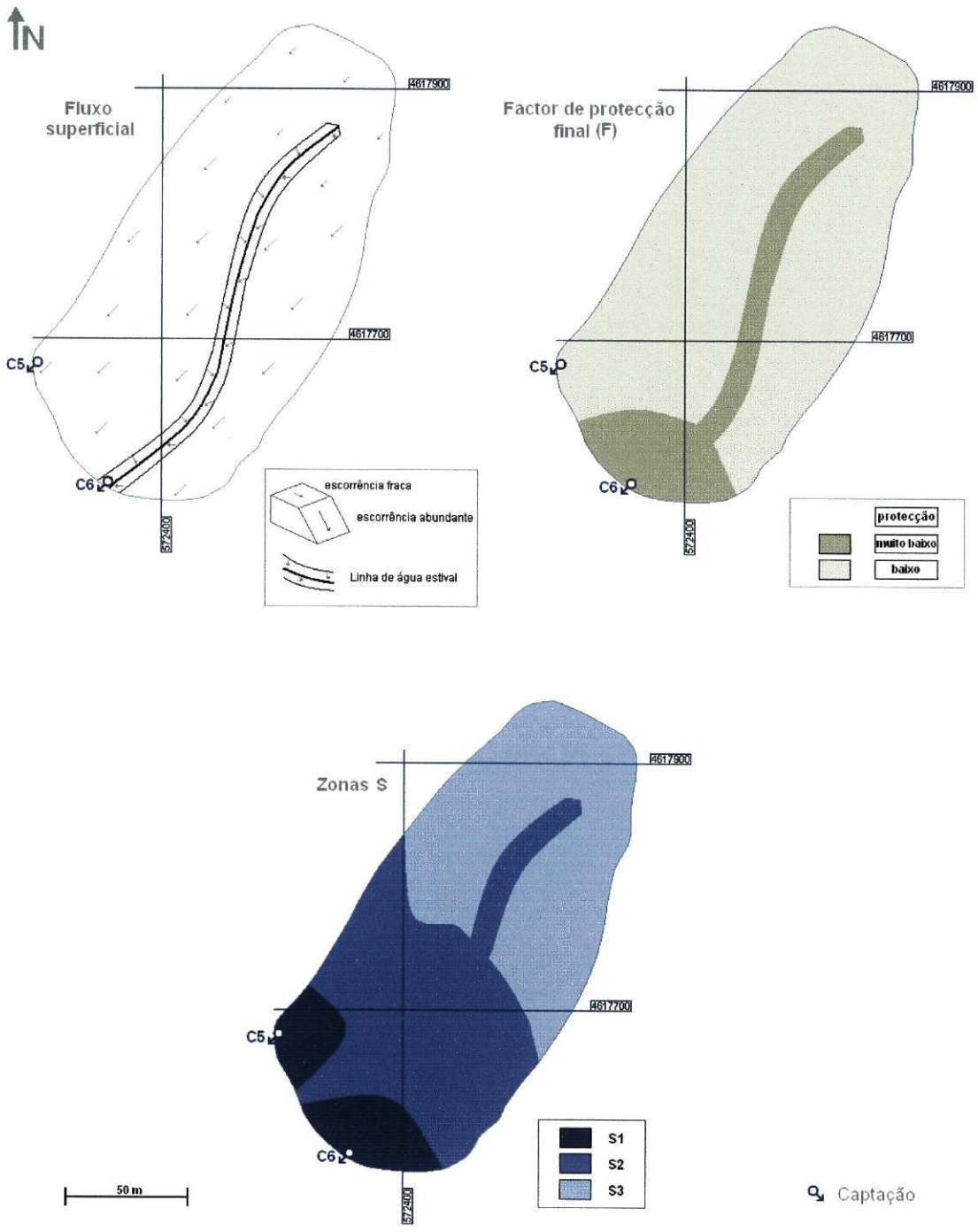
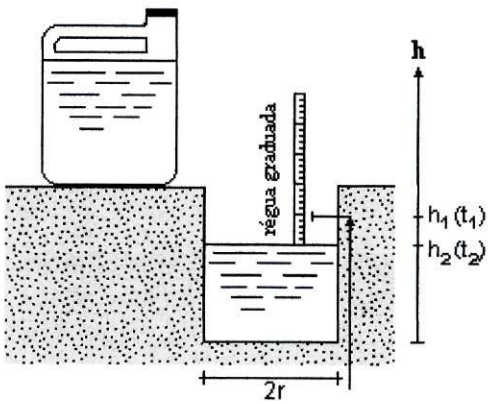



**Figura 8. 32.** Determinação das zonas S para a bacia de contribuição das captações C5 e C6.

Entre os diferentes dados obtidos, indispensáveis para a realização do método de definição de perímetros de protecção (*DISCO*), encontram-se os dados referentes à permeabilidade das camadas de solo. Estes dados resultaram da realização de ensaios de permeabilidade, os quais foram efectuados com a aplicação do "método de Pochet a nível variável".

Este método de determinação da permeabilidade do solo é bastante simples, pois requer a abertura, no solo, de um buraco cilíndrico, com o diâmetro conhecido, no qual se introduz uma determinada quantidade de água, até que se atinja um ponto de saturação. Após a saturação, a variação do nível da água é medida em função do tempo. Nos locais estudados, o nível de variação adoptado foi de dois centímetros.

Deste modo, a determinação da permeabilidade (K) resulta da aplicação dos dados recolhidos na formula apresentada no esquema da Figura 8. 33. .




$$K = \frac{r}{2(t_1 + t_2)} \log \frac{h_1 + r/2}{h_2 + r/2}$$

**Figura 8. 33.** Método de Pochet para a determinação da permeabilidade de solos (Pochon & Zwahlen 2002).

A simplicidade dos processos intervenientes neste método constitui uma verdadeira vantagem. No entanto, o mesmo método é apenas consistente na determinação de permeabilidades globais, nos níveis mais superficiais dos solos. Mesmo assim corresponde a um método viável no âmbito dos trabalhos de definição de perímetros de protecção.

A interpretação dos resultados, isto é, a estimação do grau de permeabilidade, pode ser efectuada a partir da análise do quadro que se segue:

**Tabela 8. 8.** Graus de permeabilidade para diferentes gamas de valores (A. Pochon & F. Zwahlen 2002).

| GRAU DE PERMEABILIDADE | VALORES |
|---|---|
| Fortemente permeável | > 1 m/dia ($>1x10^{-5}$ m/s) |
| Moderadamente permeável | 0,1 < 1m/dia ($5x10^{-5} < 1x10^{-6}$ cm/s) |
| Pouco permeável | < 0,1 m/dia ($< 10^{-6}$ cm/s) |

Efectivamente, os ensaios de permeabilidade realizados na região de Ermida, em todas as secções estudados, revelaram a existência de solos fortemente permeáveis. Esta constatação pode ser comprovada pelos valores apresentados nas tabelas em anexo.

O método de caracterização multicritério *DISCO* apresenta, efectivamente, inúmeras vantagens em relação a outros métodos mais correntes, sendo que uma delas é poder reproduzir, com grande fidelidade, o funcionamento hídrico das áreas de contribuição das captações, sem com isso, envolver custos significativos.

Porém, podem indicar-se algumas desvantagens do método *DISCO*, entre as quais, de destaca a grande morosidade, pois necessita de pelo menos dez meses para a sua execução (Pochon & Zwahlen 2002). Uma outra possível desvantagem refere-se ao facto do mesmo método ser essencialmente aconselhável em captações vulneráveis, implantadas em meios cristalinos fissurados, e fortemente heterogéneos.

# 8. 4. OUTRAS METODOLOGIAS PARA A DELIMITAÇÃO DE PERÍMETROS DE PROTECÇÃO DE CAPTAÇÕES DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Como já foi referido no decurso deste trabalho, o método *DISCO* não tem sido utilizado em Portugal, para a delimitação de perímetros de protecção de captações de águas subterrâneas. Existem outras metodologias mais ou menos correntes que são utilizadas em função do contexto hidrogeológico, da disponibilidade de dados e ferramentas, dos custos e dos objectivos em questão.

Um dos desafios, que se colocam ao nível da selecção e na aplicação de uma metodologia de delimitação de perímetros de protecção, corresponde à selecção dos critérios técnicos a aplicar. Segundo Moinante (2003), entre os principais critérios seleccionáveis encontram-se: distância; rebaixamento; tempo de propagação; critérios hidrogeológicos/fronteiras de fluxo; poder autodepurador do terreno/capacidade de assimilação (processos de diluição, dispersão, absorção-adsorção, precipitação química ou degradação biológica).

Com efeito, o método a utilizar na delimitação de perímetros de protecção, reflecte em muito o critério, ou conjunto de critérios a ter em conta (como acontece no método multicritério *DISCO*), seleccionado(s) numa fase precedente. Em função destes critérios podem distinguir-se dois grandes grupos de metodologias, Métodos Analíticos e Métodos Numéricos. No entanto, destacam-se ainda pela sua especificidade técnica: o Método do Raio Fixo Arbitrário e outros métodos (Moinante, 2003).

## 8. 4. 1. MÉTODOS ANALÍTICOS

Segundo EPA (*Environmental Protection Agency, 1994*) *in.* Moinante (2003), normalmente os métodos analíticos dividem-se em dois grupos que são muitas vezes utilizados em conjunto: o que introduz (nos cálculos) o tempo de propagação, e o que faz uso dos rebaixamentos.

Os métodos analíticos recorrem a equações simples para o cálculo das extensões das zonas de protecção. Nas suas equações incluem, os parâmetros hidrogeológicos como a porosidade, a transmissividade, a condutividade hidráulica, etc.

Estes métodos têm também a vantagem de ser pouco dispendiosos, principalmente quando baseados em relatórios locais ou regionais. No entanto, segundo DEG e OHD (*Department of Environmental Quality* e *Oregon Healt Division*) (1996)

*in.* Moinante (2003) estes métodos apresentam duas limitações: (1) admitem características uniformes no seio do aquífero e (2) não é possível calibrar e validar o modelo, no tempo.

#### 8. 4. 1. 1. LEI DE DARCY

A aplicação da lei de Darcy pode fornecer uma grande ajuda na delimitação de perímetros de protecção, dada a simplicidade das suas fórmulas. Segundo Moinante (2003) a aplicação desta lei torna-se particularmente facilitada sempre que exista um mapa piezométrico do aquífero em estudo, de modo a determinar os gradientes hidráulicos.

No entanto, segundo a mesma autora, a Lei de Darcy, ao nível dos perímetros de protecção é essencialmente vantajosa nas seguintes situações:

- Em aquíferos porosos;
- Em aquíferos confinados, com superfície piezométrica quase plana (com gradiente hidráulico até 0,001);
- Em aquíferos livres, com uma superfície freática quase plana e com pequeno rebaixamento relativamente à espessura do aquífero ou à zona de ralos (<10%);
- Em aquíferos homogéneos, no cálculo do tempo de propagação de um poluente desde um ponto de entrada até um ponto a jusante da captação.

#### 8. 4. 1. 2. RAIO FIXO CALCULADO

A partir do método do Raio Fixo Calculado, determina-se o perímetro de protecção com base numa equação que tanto pode utilizar o tempo de propagação de um poluente até à captação como o rebaixamento do nível piezométrico.

No primeiro caso (tempo de propagação) usa-se a equação volumétrica, que é especialmente adequada para aquíferos confinados. Segundo Moinante (2003), esta equação calcula o raio de uma secção cilíndrica do aquífero, centrada na captação, e com capacidade para conter o volume de água captada durante um determinado tempo de propagação. Esse tempo de propagação define o raio da área de protecção (raio da secção cilíndrica).

*Equação Volumétrica*:

$$Q.t = n.\pi.H.r^2 <=> r = \sqrt{\frac{Q.t}{n.H.\pi}}$$

- $Q$ - caudal de exploração da captação ($m^3/d$)
- $t$ - tempo de propagação ($d$)
- $n$ - porosidade eficaz do aquífero
- $H$ - espessura saturada na captação ($m$)
- $r$ - raio do perímetro de protecção ($m$) (incógnita)

No segundo caso, a área que é definida é aquela na qual é produzido um determinado rebaixamento do nível piezométrico de um aquífero, pelo que é utilizada a Equação de Theis de regime variável (Moinante, 2003).

*Equação de Thais*:

$$d = \frac{Q}{4.\pi.T}\int_u^{\infty}\frac{e^{-u}}{u}.du <=>$$

$$u = \frac{r^2.S}{T.4.t} <=> \sqrt{\frac{u.4.T.t}{S}}$$

- $r$ - raio da zona de protecção ($m$)
- $Q$ - caudal de extracção constante ($m^3/d$)
- $T$ - transmissividade do aquífero ($m^2/d$)
- $S$ - coeficiente de armazenamento ou cedência específica do aquífero
- $t$ - tempo decorrido desde o início da extracção ($m$)

Neste caso, quanto mais eficiente for o ajuste da realidade física às condições limitativas do planeamento, melhor. Essas condições podem ser: ausência de recargas anteriores, o aquífero ser infinito na sua extensão, a superfície piezométrica regional ser praticamente plana, o caudal de exploração for constante, etc.

### 8. 4. 1. 3. MÉTODO DE KREITLER E SENGER

O método de Kreitler e Senger aplica-se a situações onde o gradiente hidráulico apresenta declives significativos, pelo que o cone de rebaixamento é assimétrico (Moinante, 2003). Os autores deste método propõem o cálculo da distância para um determinado tempo a partir de uma equação modificada da equação de Bear e Jacob (1965). Deste modo, são empreendidos cálculos de tentativas de erro com diferentes valores de distâncias, até se atingir o tempo de propagação desejado.

Segundo Moinante (2003) estes cálculos fornecem apenas a distância ao longo de uma linha que passa na captação e que é paralela à direcção de fluxo (de montante

para jusante da captação). Deste modo, sempre que se pretenda definir uma área de protecção, aquela equação deve ser combinada com a equação de fluxo uniforme.

### 8. 4. 1. 4. FLUXO ENTRE AQUÍFEROS

Segundo EPA (1994) *in.* Moinante (2003), na presença de dois aquíferos separados por uma unidade confinante, os cálculos de delimitação do perímetro de protecção devem assumir a drenância entre aquíferos.

Neste caso, o fluxo hídrico processado através da camada confinante pode ser determinado a partir do uso de uma fórmula modificada da lei de Darcy (EPA, 1994 *in.* Moinante, 2003):

$$Q_l = \frac{K_v}{m}.A.H$$

- $Q_l$ - quantidade de drenância ($m^3/d$)
- $K_v$ - condutividade hidáulica vertical da unidade confinante ($m/d$)
- $m$ - espessura da unidade confinante ($m$)
- $A$ - área ($m^2$)
- $H$ - diferença de piezometria entre as duas captações ($m$)

A condutividade hidráulica é a incógnita a ser calculada de modo a distinguir os dos tipos de aquíferos, e Kreitler e Senger *in.* Moinante (2003) sugerem a seguinte fórmula:

$$t_v = \frac{n.m.x}{K_v.H}$$

$$\downarrow$$

$$K = \frac{n.m.x}{40.H}$$

- $t$ - tempo de propagação na vertical através da unidade confinante (normalmente 40 anos)
- $n$ - porosidade
- $x$ - distância de propagação através da unidade confinante (geralmente igual à sua espessura) ($m$)

### 8. 4. 1. 5. EQUAÇÃO DE FLUXO UNIFORME

Segundo EPA (2003) *in.* Moinante (2003), a equação de fluxo uniforme tem forte implantação em aquíferos onde a superfície piezométrica gera um cone de rebaixamento assimétrico. Deste modo, a determinação da fronteira entre a região que produz a entrada de fluxo numa captação em extracção é dada pela seguinte equação geral (Todd, 1980 *in.* Moinante, 2003):

$$-\frac{Y}{X} = \tan\left(\frac{2.\pi.k.b.i}{Q}.Y\right)$$

- $x, y$ - coordenadas
- $Q$ - caudal de extracção ($m^3/d$)
- $K$ - condutividade hidráulica ($m/d$)
- $b$ - espessura saturada ($m$)
- $i$ - gradiente hidráulico

A zona de contribuição é definida pela fronteira de fluxo a jusante (ponto neutro) e pela largura máxima zona de contribuição a montante, as quais são determinadas pelas duas equações que se seguem:

$$X_L = -\frac{Q}{2.\pi.k.b.i} \quad \text{e} \quad Y_L = \pm\frac{Q}{2.\pi.k.b.i}$$

A montante da captação podem ser definidas uma ou mais zonas de protecção, utilizando $\pm Y_L$ como a largura do limite montante do cone de rebaixamento. Numa fase posterior é utilizado um mapa piezométrico para estender as linhas de fluxo até uma divisória de águas subterrâneas ou até outra fronteira do aquífero (EPA, 1994 *in.* Moinante, 2003).

Este método é aplicado a aquíferos verdadeiramente confinados (pois não considera a drenância) e aquíferos livres com valores reduzidos de rebaixamento (menos de 10%).

### 8. 4. 1. 6. EQUAÇÃO DE EQUILÍBRIO DE THIEM

A equação de equilíbrio de Thiem para o cálculo da distância a um determinado rebaixamento específico após alcançado o equilíbrio, é aqui apresentado da seguinte forma:

$$s = \frac{Q}{2.\pi.K.b}.\log_e\frac{r_e}{r}$$

- $s$ - rebaixamento relativamente à superfície piezométrica inicial ($m$)
- $Q$ - descarga ($m^3/d$)
- $K$ - condutividade hidráulica ($m/d$)
- $b$ - espessura do aquífero ($m$)
- $r$ - distância ao ponto de observação do rebaixamento ($m$)
- $r_e$ - distância da captação ao rebaixamento nulo do cone de rebaixamento ($m$)

A utilização da equação de equilíbrio de Thiem implica as seguintes restrições (Moinante, 2003):

- O aquífero é homogéneo e isotrópico;
- O aquífero é infinito na sua extensão (*i.e.* não existem fronteiras ao fluxo no interior do cone de rebaixamento);
- A superfície piezométrica regional é praticamente plana.

### 8. 4. 1. 7. MÉTODO DE HOFFMAN E LILLICH

Segundo Moinante (2003), o método de Hoffman e Lillich é aplicável a meios homogéneos, onde se verifique um rebaixamento (resultante da extracção) reduzido em relação à espessura do aquífero.

Segundo a mesma autora, neste caso usa-se a equação de Todd (1964), a qual descreve o rebaixamento na proximidades de uma captação num aquífero confinado:

$$h - h = (h_0 - h_w)\frac{\ln(l/r)}{\ln(R/r)}$$

- $h$ - nível piezométrico num determinado ponto ($m$)
- $l$ - distância desse ponto à captação ($m$)
- $h_0$ - nível hidrodinâmico na captação ($m$)
- $h_w$ - nível hidrodistático ($m$)
- $R$ - raio de influência (distância entre a captação e o rebaixamento nulo) ($m$)
- $r$ - raio da captação ($m$)

O objectivo deste método é encontrar a distância $l$ para a qual o gradiente $i$ assume um valor tal que, ao calcular a velocidade $Ve$ e a distância $E$ correspondente, se encontram os mesmos valores para $E$ e para $l$. Trata-se portanto, de um processo iterativo dado que se vão atribuindo valores a $l$ até que se obtenha um valor de $E$ igual (Moinante, 2003).

### 8. 4. 1. 8. MÉTODO DE WYSSLING (gradiente hidráulico inclinado)

Este método é de simples execução e aplica-se a aquíferos porosos homogéneos. O mesmo método baseia-se no cálculo da largura da zona de chamada de uma captação (*i.e.* zona de influência onde se verifica rebaixamento do nível freático) e na procura posterior do tempo de propagação desejado, apresentando a desvantagem de não considerar as heterogeneidades do aquífero (Moinante, 2003).

Os procedimentos analíticos do Método de Wyssling fazem também uso da equação de fluxo uniforme (já referida anteriormente) que considera captações em extracções e superfícies piezométricas inclinadas, mas que geralmente não calcula o rebaixamento que determina a zona de influência.

### 8. 4. 1. 9. FORMAS VARIADAS SIMPLIFICADAS

Este método faz uso de padrões simplificados de perímetros de protecção, obtidos através do recurso a métodos analíticos, onde se aplicam dois critérios fundamentais: fronteiras de fluxo e tempos de propagação (Moinante, 2003). Segundo esta autora, a forma da área de protecção utilizada é então orientada em torno da captação, de acordo com o padrão de fluxo hídrico subterrâneo, onde se calcula, inicialmente, a distância da captação até ao ponto neutro (a jusante), e também a extensão lateral das fronteiras de fluxo hídrico subterrâneo. Seguidamente, utiliza-se o tempo de propagação para determinar a sua extensão a montante da captação.

A aplicação deste método consiste na determinação da forma que melhor se ajusta à situação. Assim sendo, informações como: porosidade, condutividade hidráulica, transmissividade, etc., são muito importantes. Por exemplo, se estas propriedades forem uniformes em toda a área, as formas simplificadas são obtidas variando apenas o caudal de extracção. Se, ao invés, as características hidráulicas do aquífero variarem, é necessário utilizar diferentes combinações de parâmetros do aquífero e caudais de extracção (EPA, 1994, *in.* Moinante, 2003).

Apesar da relativa simplicidade do método, a sua eficácia diminui na presença de grandes heterogeneidades geológicas e de fronteiras hidrogeológicas não detectáveis.

### 8. 4. 1. 10. MÉTODO DE ALBINET

Este método envolve o cálculo de curvas de rebaixamento em função da distância à captação, fazendo, para isso, o uso da fórmula de Theis para o regime transitório. Assim sendo temos:

$$d = \frac{Q}{4.\pi.T}.W(u)$$

$$u = \frac{l^2.S}{4.T.t}$$

- $d$ - rebaixamento a uma determinada distância $l$ da captação para um tempo $t(m)$
- $Q$ - caudal constante de extracção ($m^3/d$)
- $T$ - transmissividade ($m^2/d$)
- $S$ - coeficiente de armazenamento (adimensional)
- $W(u)$ - função de poço (anteriormente referida)
- $t$ - tempo de propagação ($d$)

Os círculos de rebaixamento resultantes, intersectam as isopiezas (*i.e.* linhas que unem pontos de igual piezometria) anteriores às extracções, e nos pontos de intersecção são calculados os valores modificados de carga hidráulica. A partir desses pontos, faz-se o traçado das isopiezas de extracção e das linhas de fluxo perpendiculares, tornando-se possível deduzir o perímetro da zona de chamada da captação (Moinante, 2003).

### 8. 4. 1. 11. MÉTODO DE JACOBS E BEAR

Segundo Moinante (2003), o método de Jacobs e Bear é aplicável em casos onde existe uma única captação em aquífero homogéneo e isotrópico, de extensão infinita, e submetido a um gradiente regional uniforme. De acordo com a mesma autora, o presente método define um conjunto de isócronas com o recurso à seguinte expressão:

$$t_R = \frac{X_R}{10} - \frac{1}{\pi}.\ln\left(\cos\pi.\frac{Y_R}{10} + \frac{X_R}{Y_R}.\operatorname{sen}\pi.\frac{Y_R}{10}\right)$$

$$X_R = \frac{20.V.b}{Q}.x$$

$$Y_R = \frac{20.V.b}{Q}.y$$

$$t_R = \frac{2.T.i.t}{n.Q.b}$$

$V$ - velocidade de Darcy ($m/d$)
$Q$ - caudal de extracção contínuo fictício ($m^3/d$)
$n$ - porosidade eficaz (adimensional)
$b$ - espessura do aquífero ($m$)
$T$ - transmissividade ($m^2/d$)
$i$ - gradiente hidráulico (adimensional)
$Y_R$, $X_R$, $t_R$ - variáveis reduzidas

Partindo destes cálculos elabora-se um ábaco constituído por um conjunto de curvas semelhantes a uma parábola, cada uma correspondendo a um determinado tempo de deslocação (Moinante, 2003).

### 8. 4. 1. 12. MÉTODO DE KRIJGMAN E LOBO FERREIRA

Esta metodologia incide particularmente na zona de protecção intermédia, definida na legislação portuguesa, e cuja dimensão se refere a um determinado tempo de propagação, que corresponde a 50 dias, com um valor mínimo entre 40 e 280 metros, de acordo com o tipo de aquífero (Moinante, 2003)

Segundo a mesma autora, este tipo de metodologia representa uma alternativa aos estudos hidrogeológicos detalhados referidos na legislação portuguesa, que se

tornaram dispendiosas no caso de campos de captações individuais, fornecendo séries de variação para os perímetros das zonas de protecção.

Obviamente que se trata de um método com algumas limitações, e que requer para a sua aplicação, a existência de determinadas simplificações (Moinante, 2003):

- Ausência de anisotropias e heterogeneidades;
- Aquífero livre uniforme com base impermeável;
- Inexistência de fracturas e de trajectos preferenciais (apenas se admite porosidade primária);
- Valores constantes de k (permeabilidade) horizontal, espessura, porosidade, caudal de extracção;
- K vertical = 0,1 x k horizontal;
- Fluxo e gradiente uniformes;
- Existência de ralos em toda a espessura do aquífero;
- Ausência de recarga;
- Inexistência de interferências e outras captações;
- Zona de protecção simétrica.

Em suma, o principal objectivo deste método é a produção dos resultados sob a forma de três mapas, em que cada um possa representar a zona de protecção para t = 50 dias.

#### 8. 4. 1. 13. COMBINAÇÃO DE MÉTODOS ANALÍTICOS COM O MAPEAMENTO HIDROGEOLÓGICO

Sugere-se sempre uma determinada precaução nas determinações dos limites da bacia de contribuição de uma captação, usando apenas técnicas analíticas. Daí que os mapeamentos hidrogeológicos desta natureza devem envolver critérios geológicos, hidrológicos e geomorfológicos.

Além do mais, torna-se importante que as determinações sobre o grau de confinamento do aquífero sejam apoiadas pelo modelo conceptual, e que não se baseiem exclusivamente no relatório de implantação de um único furo (Moinante, 2003). Segundo esta autora, é também necessário distinguir se estamos perante um aquífero poroso ou um aquífero fracturado, pois que, em geral as equações de fluxo assumem que: (1) o aquífero pode ser modelado como meio poroso, (2) o aquífero é isotrópico

nas suas características, (3) o fluxo da água subterrânea é bidimensional num plano horizontal (não se assumindo o fluxo vertical), e (4) a direcção do fluxo é previsível relativamente à distribuição das cotas piezométricas.

Todas a suposições anteriores são típicas de aquíferos granulares, ou seja, aquíferos constituídos por materiais sedimentares, consolidados ou não. Em casos em que alguma daquelas suposições não se insira, como acontece com os aquíferos fracturados (que apesar de se poderem considerar como meios granulares não deixam de ser anisotrópicos) ter-se-á que recorrer a outras técnicas (especiais) que permitirão o uso de modelos analíticos. Seja como for, geralmente as técnicas analíticas não são aplicáveis em meios fracturados (Moinante, 2003).

Com efeito, a conjugação de técnicas analíticas com o mapeamento hidrogeológico tem a vantagem de poder incluir as características do aquífero, o fluxo da água subterrânea, as fronteiras hidrogeológicas, e basear-se em informação recolhida no local. Dessa forma, é possível obter uma definição segura do perímetro de protecção.

No entanto, o mesmo método apresenta algumas desvantagens, uma vez que considera apenas aquíferos uniformes, exige grande experiência e não envolve custos propriamente reduzidos.

### 8. 4. 2. MÉTODOS NUMÉRICOS

Os modelos analíticos resolvem equações de fluxo e de transporte, com valores de parâmetros hidrogeológicos fornecidos pelo utilizador. Correspondem a modelos relativamente simplificados da realidade. Tal simplicidade leva a algumas limitações, nomeadamente quando consideram a existência de condições homogéneas no seio do aquífero.

Segundo Moinante (2003), os modelos semianalíticos, por sua vez, fornecem já alguns dados relativamente a trajectórias e tempos de propagação no espaço e no tempo, mediante expressões analíticas ou numéricas. Esses dados são, efectivamente bastante úteis na definição de perímetros de protecção de captações de águas subterrâneas.

As ferramentas recentes que envolvem o elemento analítico, na modelação semianalítica do fluxo hídrico subterrâneo regional, são flexíveis, pois não exigem aumentos significativos de informação.

Os modelos "puramente" numéricos são matematicamente mais complexos do que os anteriores, permitindo seleccionar problemas também mais complexos, nos quais é estabelecida uma malha sobre o sistema de água subterrânea a estudar (Moinante, 2003). Nos nós dessa malha são atribuídos valores dos parâmetros a considerar, que servirão como a matriz das equações a resolver.

Segundo a mesma autora, a utilização destes modelos justifica-se apenas nos casos em que existe informação suficiente para suportar as necessidades do modelo matemático.

As principais vantagens destes modelos numéricos (ou matemáticos) podem enunciar-se nos seguintes pontos:

- Fornecem um elevado grau de exactidão, podendo ser aplicados a uma grande variedade de situações hidrogeológicas;
- Permitem considerar condições de fronteira complexas e variações nas propriedades hidráulicas, que eventualmente ocorram no seio do aquífero.

São, na realidade, modelos onde existe uma verdadeira discretização das variáveis, sendo sempre necessário seleccionar o modelo matemático a utilizar, baseado nas hipóteses introduzidas e nos objectivos que se pretendam alcançar. A este nível, é importante conhecer a qualidade e tipicidade dos dados disponíveis (Moinante, 2003).

Franke *et al.* (1985), *in.* Moinante (2003), no âmbito dos modelos numéricos, sugerem que o processo de selecção das condições de fronteira (quer se trate de regime de escoamento permanente ou transitório) constitui provavelmente a etapa mais crítica. Segundo os mesmos autores, uma selecção inadequada das condições de fronteira pode conduzir a um insucesso da modelação, e a resposta do modelo quando sujeito a uma determinada pressão pode ter pouco a ver com a resposta do sistema real.

Depois de devidamente calibrado e validado, o modelo constitui, não só uma importante ferramenta na definição de perímetros de protecção, como também um

instrumento de planeamento e de gestão que permite avaliar com mais segurança o impacto gerado por mais furos, potenciais eventos de poluição, etc., (Moinante, 2003).

Os modelos matemáticos exigem a presença de técnicos especializados, bem como, a recolha de uma grande quantidade de informação (com custos elevados). Deste modo, estes devem ser empregues em situações carentes de grande exactidão de resultados, devido a problemas complexos, ou em situações de expropriações e indemnizações dispendiosas.

Segundo Moinante (2003), os custos relacionados com a aplicação dos modelos numéricos também dependem da qualidade da informação disponível, do número de captações existentes e da complexidade hidrogeológica da região. Assim sendo, a sua aplicação poderá ser menos dispendiosa se existirem bases de dados adequadas e se a hidrogeologia da região for bem conhecida.

Podem ser referenciados alguns programas informáticos que são concebidos especificamente para elaborarem os modelos numéricos hidrogeológicos, que servirão de base para a implantação de perímetros de protecção:

- O programa ASMWIN (*Aquifer Simulation Model*) – corresponde a um modelo bidimensional de fluxo e de transporte de águas subterrâneas;
- O programa WELLFLOW – é um programa que foi desenvolvido por Feseker e Lobo Ferreira (2001), com o objectivo de facilitar a delimitação de perímetros de protecção em aquíferos multicamada.

### 8. 4. 3. RAIO FIXO ARBITRÁRIO

Entre todos os métodos de delimitação de perímetros de protecção que existem, trata-se provavelmente de um dos mais simples que se conhecem. O mesmo consiste na definição de uma área circular, centrada na captação e cujo raio é escolhido arbitrariamente.

Frequentemente este método é utilizado na definição da zona imediata ($S_I$), sendo também utilizado para definir uma área de protecção provisória durante uma fase preliminar, até que seja necessário recorrer a métodos mais complexos, devido a um

eventual aumento da necessidade de protecção, ou devido à disponibilidade de dados mais sofisticados. Pode também constituir uma metodologia particularmente útil em casos de ameaça eminente de poluição, o que exige atenção imediata (Moinante, 2003).

Segundo aquela autora, este método tem como vantagem o facto de ser bastante simples, rápido e pouco dispendioso, uma vez que não necessita de uma grande quantidade de informação nem uma grande experiência. No entanto, uma vez que não considera as condições hidrogeológicas locais, pode induzir ou gerar alguns erros.

### 8. 4. 4. OUTROS MÉTODOS

#### 8. 4. 4. 1. MÉTODO DE HORSLEY

Segundo Moinante (2003), a aplicação do Método de Horsley envolve três etapas fundamentais:

- 1ª etapa – Determinação da distância a jusante da captação, no sentido do fluxo, até ao ponto neutro ou de inflexão, representando as divisórias de fluxo de água subterrânea. Por isso, constrói-se um gráfico da distância à captação (m) *versus* rebaixamento (m) e projecta-se a variação do nível piezométrico antes do início da extracção e após a mesma. Depois de se somarem as duas linhas, obtém-se uma outra linha curva cujo ponto de inflexão representa o ponto neutro, até onde se deverá estender o perímetro de protecção, a jusante da captação, no sentido e direcção do fluxo.

- 2ª etapa – Determinação da distância a montante da captação, no sentido contrário ao do fluxo. Para tal, determina-se a relação entre a espessura do aquífero que drena a captação e a espessura saturada total do mesmo. A proporção determinada é então aplicada à distância que separa a captação da divisória hidrogeológica a montante, e o valor obtido representa a extensão do perímetro nessa direcção.

- 3ª etapa – Determinação da zona compreendida pelo perímetro de protecção. Obtém-se calculando a área necessária para proporcionar o caudal extraído pela captação, em função da recarga existente, através da seguinte fórmula:

$$V = I.A \longrightarrow A = \frac{V}{I}$$

- $V$ - volume de água extraído no período de tempo $t(m^3)$
- $I$ - volume de água infiltrado por unidade de superfície no período de tempo $t(m^3/m^2)$
- $A$ - área de infiltração $(m^2)$

**8. 4. 4. 2. UTILIZAÇÃO DE TRAÇADORES** (método hidrogeológico)

No caso específico da delimitação de perímetros de protecção, o objectivo dos ensaios com traçadores consiste em saber se a partir de um determinado ponto de água um poluente poderá atingir, ou não, a captação a estudar, e se tal se verificar, quanto tempo demorará para que isso aconteça (Moinante, 2003).

A mesma autora refere que o presente método assume grande importância quando se reporta a zonas de protecção especial a definir em aquíferos cársicos ou fracturados, e as substâncias (traçadores) utilizadas podem ser naturais ou artificiais.

i) Traçadores artificiais

A utilização de traçadores artificiais consiste essencialmente na introdução de uma quantidade conhecida de uma determinada substância (traçador) no sistema de água subterrânea a ser estudado (método mais antigo). A injecção do traçador pode ser efectuada num ponto de água ou numa linha de água que flua na direcção do aquífero, que se pensa abastecer a captação para a qual se pretende definir o perímetro de protecção (nas zonas cársicas e fracturadas os traçadores utilizados podem ser naturais ou artificiais).

ii) Traçadores naturais

Correspondem a substâncias que ocorrem naturalmente, ou não na água, pois também se consideram os de origem antropogénica. De qualquer modo, os traçadores naturais mais importantes são os constituintes químicos naturais da água, bem como o seu conteúdo isotópico (Kass, 1998 *in.* Moinante, 2003). Segundo Moinante, (2003), entre esses isótopos podem destacar-se: deutério $^{-2}H$, oxigénio $^{-18}O$, trítio radioactivo $^{-3}H$, etc.

**Tabela 8. 9.** Síntese das metodologias de delimitação dos perímetros de protecção (Adaptado de: Moinante, 2003).

| METODOLOGIAS DE DELIMITAÇÃO DE PERÍMETROS DE PROTECÇÃO | | | |
|---|---|---|---|
| MÉTODOS ANALÍTICOS | MÉTODOS NUMÉRICOS | RAIO FIXO ARBITRÁRIO | OUTROS MÉTODOS |
| a) Lei de Darcy<br>b) Raio Fixo Calculado<br>c) Método de Kreitler e Senger<br>d) Fluxo entre Aquíferos (Drenância)<br>e) Equação de Fluxo Uniforme<br>f) Equação de Equilíbrio de Thiem<br>g) Método de Hoffman e Lillich<br>h) Método de Wyssling (gradiente hidráulico inclinado)<br>i) Formas Variáveis e Simplificadas<br>j) Método de Albinet<br>k) Método de Jacobs e Bear<br>l) Método de Krijgman e Lobo Ferreira<br>m) Combinações de Métodos Analíticos com Mapeamento Hidrogeológico | a) Programa ASMWING (*Aquifer Simulation Model*)<br>b) Programa WELLFLOW | | a) Método de Horsley<br>b) Utilização de Traçadores (método hidrogeológico)<br>c) Método *DISCO* |

# CAPÍTULO - 9

# PERÍMETROS DE PROTECÇÃO: INTERESSE AMBIENTAL E ESTRATÉGICO

Nalguns dos países mais desenvolvidos, a noção de: Perímetro de Protecção, aplicada no âmbito das captações de águas subterrâneas, constitui um conceito amplamente aflorado e implementado no decurso das últimas quatro décadas. Esta situação decorre, das crescentes preocupações ambientais, e necessidades de crescimento sustentado, que tiveram início durante os anos sessenta e setenta do Século – XX.

Em Portugal, as preocupações com o ambiente, conservação da natureza e desenvolvimento sustentado, não são propriamente recentes. Na realidade, foram algumas as vozes, com maior ou menor poder de decisão, que na história portuguesa recente (últimos vinte anos) tentaram sensibilizar os poderes: político, económico, mediático e a população em geral, para estas questões.

Seja como for, ainda nos dias de hoje, existe o espectro de todas estas "boas intenções" não passarem de propaganda política e medidas de cosmética, que normalmente não são traduzidas na prática.

No decurso dos anos noventa do Século – XX, as directivas da União Europeia foram bem claras sobre a necessidade de se estabelecerem regras para a salvaguarda dos valores naturais, e para o ordenamento do território. Daí que os governos da União Europeia, que até à data, ainda não tinham regulamentação específica sobre estas questões, foram obrigados a adoptar políticas no sentido de satisfazer os requisitos para pôr em prática as políticas de ambiente e ordenamento do território.

Deste modo, em Portugal existe a "Lei de Bases da Política do Ordenamento do Território e de Urbanismo (Lei n.º 48/99, de 11 de Agosto)", que faz referência clara sobre a necessidade da preservação do ambiente, nas sua variantes: paisagística, recursos hídricos, orlas costeiras, solos e florestas.

Neste propósito, surge a necessidade de colocar em prática medidas de planeamento (componente operacional do ordenamento), de modo a evitar que muitas das leis não passem de meras boas intenções. Assim sendo, foram instituídos, por

decreto-lei, os "Planos Regionais de Ordenamento do Território" (PROT), que têm em conta, entre outros possíveis aspectos, a "delimitação do domínio hídrico" (Partidário 1999).

Neste âmbito foram, posteriormente, estabelecidos, também por decreto-lei, os "Planos de Recursos Hídricos". Segundo a autora acima citada, estes planos têm como objectivos gerais: a valorização, a protecção e a gestão equilibrada dos recursos hídricos nacionais, assegurando a sua harmonização com o desenvolvimento regional e sectorial, através da economia do seu emprego e racionalização dos seus usos.

Integrados nestes planos de recursos hídricos, inserem-se: o Plano Nacional da Água e, obviamente, os Planos de Bacia Hidrográfica. Estes últimos são elaborados pelo Instituto Nacional da Água e pelas Direcções Regionais do Ambiente.

Segundo Partidário (1999), os recursos hídricos fazem parte do conjunto das variáveis biofísicas intervenientes no ordenamento do território. E os recursos hidrogeológicos são uma parte importante dos recursos hídricos. Neste sentido, a caracterização hidrogeológica das formações permite a obtenção de dados importantes sobre as profundidades e disponibilidades dos níveis freáticos, potencialidades e qualidades das águas subterrâneas, funcionamento hidráulico dos sistemas aquíferos e factores de degradação.

Entre os factores de degradação destacam-se os que interferem na quantidade e na qualidade dos recursos hídricos subterrâneos. A necessidade de proteger estes recursos, dos factores promotores da degradação (principalmente da qualidade), vai de encontro às políticas de implantação de perímetros de protecção para as captações de águas subterrâneas.

## 9. 1. ENQUADRAMENTO DOS PERÍMETROS DE PROTECÇÃO NAS POLÍTICAS ACTUAIS DE ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO

O artigo 9º do Decreto-Lei n.º 382/99 de 22 de Setembro é explícito quando diz que os perímetros de protecção, depois de devidamente delimitados, devem ser contemplados pelos planos de bacia hidrográfica, os planos directores municipais e os planos especiais do ordenamento do território.

O mesmo decreto-lei refere-se sobre a especial necessidade da delimitação dos perímetros de protecção se basear em critérios geológicos e hidrogeológicos, os quais devem visar os seguintes objectivos:

- Prevenção, redução e controlo da poluição das águas subterrâneas, motivada pela infiltração de águas pluviais lixiviantes e pelas águas excedentes de rega e de lavagens;
- Fomentar os processos naturais de diluição e de autodepuração de águas subterrâneas;
- Prevenir, minimizar e controlar as descargas acidentais de poluentes;
- Permitir a concepção de sistemas de alerta para a protecção dos sistemas de abastecimento de águas de origem subterrânea, em situações de poluição acidental.

Em muitas situações, a implantação de perímetros de protecção envolve alguns custos, dadas as frequentes pressões do uso do solo. Nas áreas situadas a montante das captações de Ermida (bacias de contribuição), não se destacam grandes pressões sobre o uso dos solos, pois tratam-se de zonas de mata e floresta. Esta situação foi confirmada através da consulta e análise do Plano Director Municipal (Figura 9. 1.). Daí que as eventuais restrições, a por em prática, não introduzirão grandes

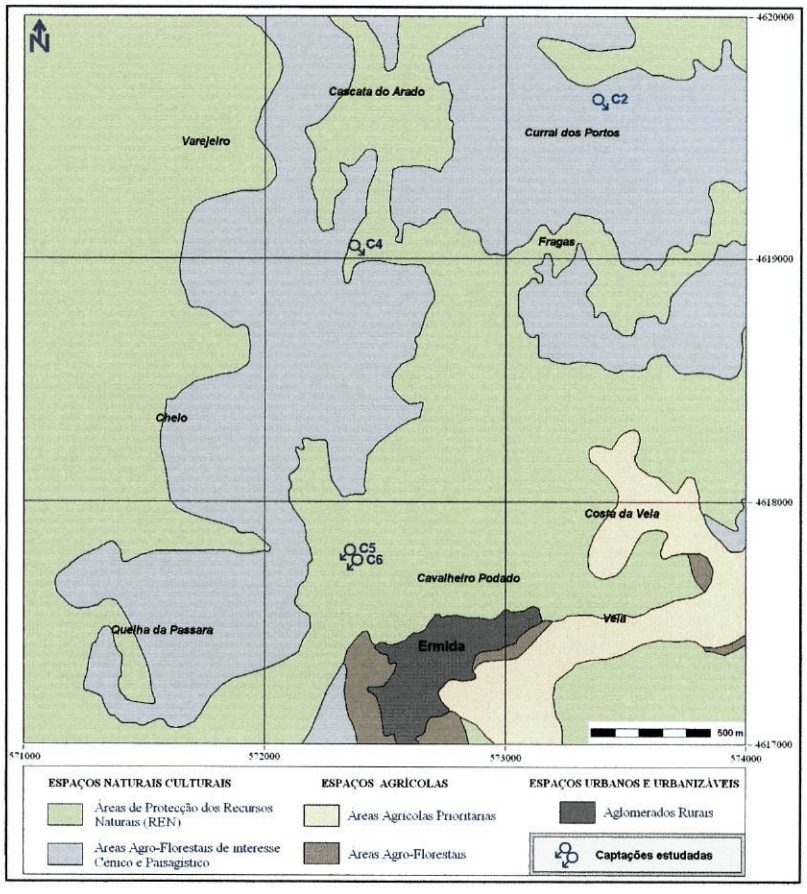



**Figura 9. 1.** Estrato do Plano Director Municipal, referente à região estudada.

inconvenientes para a comunidade local.

Certo é que, o decreto-lei acima mencionado estabelece, como condições necessárias para a implantação de perímetros de protecção, a existência de captações preparadas para o abastecimento público de aglomerados populacionais superiores a meio milhar de habitantes, ou onde o caudal de exploração seja superior 100 $m^3$/dia. E a verdade é que nenhuma destas condições é satisfeita na região de Ermida. Embora durante o mês de Agosto, a presença de turistas faça aumentar significativamente o número de habitantes, em Ermida existe uma população residente na ordem das 190 pessoas, distribuídas por 62 fogos.

Seja como for, a definição dos perímetros de protecção, com o recurso ao método *DISCO*, funcionou, antes de mais, como um excelente ensaio para satisfazer a eventuais necessidades e desafios futuros, quer na região de Ermida, quer em regiões com características geológicas semelhantes.

O Decreto – Lei n.º 382/99 de 22 de Setembro, que regulamenta a definição de perímetros de protecção, refere-se também sobre a implantação de três áreas, contíguas às captações. Estas áreas, que englobam os perímetros de protecção, são (como se pode ver na tabela):

- Zona de protecção imediata (zonas $S_1$);
- Zona de protecção intermédia (zonas $S_2$);
- Zona de protecção alargada (zonas $S_3$).

**Tabela 9. 1.** Áreas englobadas num perímetro de protecção e suas especificidades (Adaptado de: Decreto – Lei n.º 382/99 de 22 de Setembro).

| Áreas englobadas num perímetro de protecção | |
|---|---|
| Zona de protecção imediata **(S1)** | Área da superfície do terreno contígua à captação em que, para a protecção directa das instalações da captação e das águas captadas, todas as actividades são, por princípio, interditas. |
| Zona de protecção intermédia **(S2)** | Área da superfície do terreno contígua exterior à zona de protecção imediata, de extensão variável, tendo em conta as condições geológicas e estruturais do sistema aquífero, definida por forma a eliminar ou reduzir a poluição das águas subterrâneas, onde são interditas ou condicionadas as actividades e as instalações susceptíveis de poluírem aquelas águas, quer por infiltração de poluentes, quer por poderem modificar o fluxo da captação ou favorecer a infiltração na zona próxima da captação. |
| Zona de protecção alargada **(S3)** | Área da superfície do terreno contígua exterior à zona de protecção intermédia, destinada a proteger as águas subterrâneas de poluentes persistentes, tais como compostos orgânicos, substâncias radioactivas, metais pesados, hidrocarbonetos e nitratos, onde as actividades e instalações são interditas ou condicionadas em função do risco de poluição das águas, tendo em atenção a natureza dos terrenos atravessados, bem como o modo de emissão desses poluentes. |

## 9. 2. PROPOSTA DE PERÍMETROS DE PROTECÇÃO À CÂMARA MUMICIPAL DE TERRAS DE BOURO

Colocando em evidência os resultados obtidos para os perímetros de protecção, por meio do método *DISCO* (capítulo anterior), onde se destacam as diferentes zonas S finais, representativas dos diferentes graus de restrição das actividades antropogénicas, é possível estruturar uma proposta de perímetros de protecção à Câmara Municipal de Terras de Bouro.

Na região de Ermida, estas zonas, em virtude dos condicionalismos naturais, já focados anteriormente (topografia, geologia e geomorfologia, hidrogeologia, etc.), desenvolvem-se a partir das captações, segundo áreas pouco extensas. Este dado, aliado ao facto de as mesmas áreas não serem alvo de forte pressão antropogénica, poderá facultar, à Câmara Municipal de Terras de Bouro, a inclusão de zonas (ou perímetros) de protecção para aquelas áreas, numa futura revisão do P. D. M. (Plano Director Municipal).

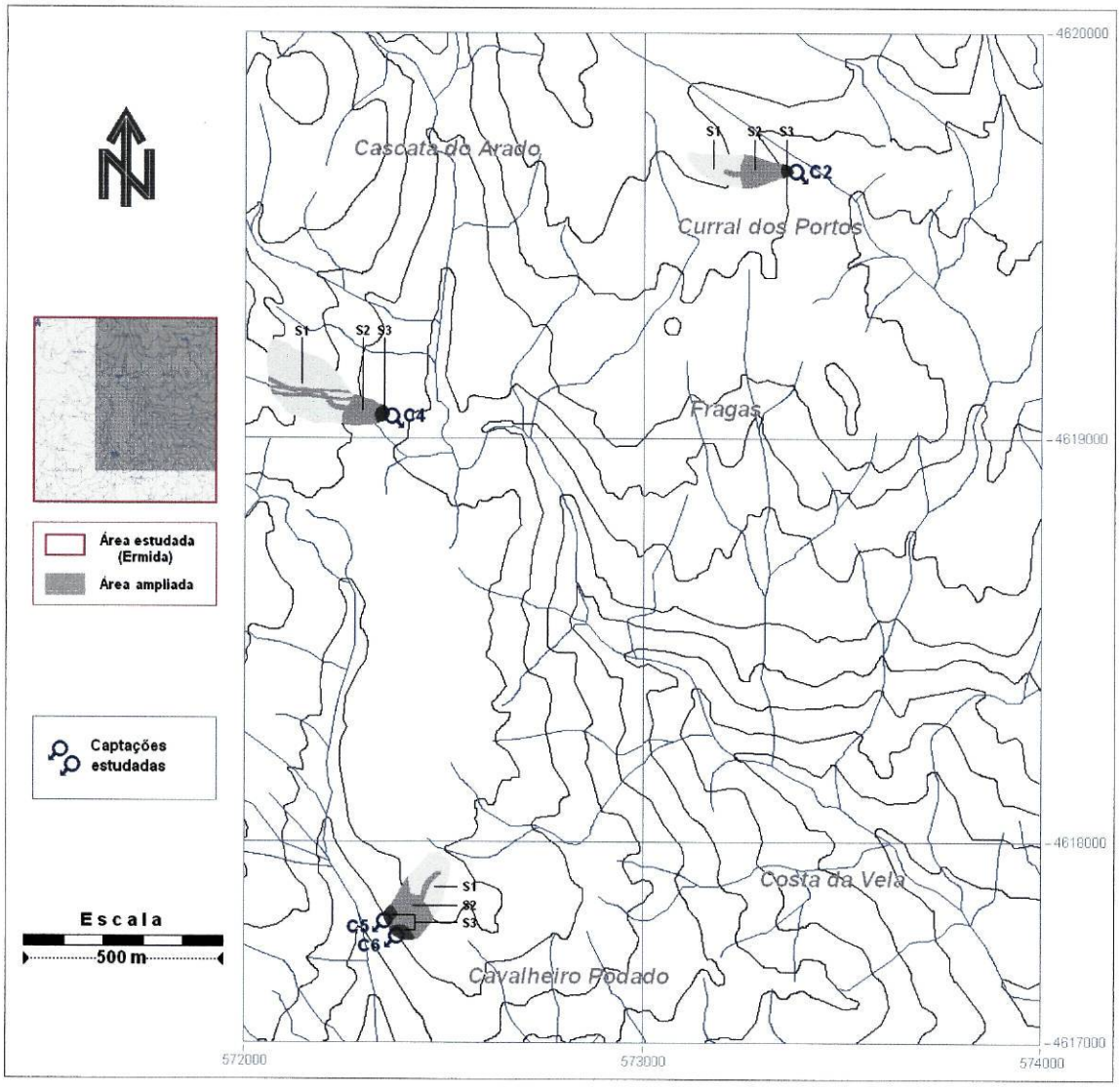



**Figura 9. 2.** Localização geográfica das áreas propostas para englobar os perímetros de protecção.

Em seguida, serão introduzidas algumas sugestões e propostas concretas que visam, acima de tudo, facilitar e esclarecer os processos a colocar em prática com vista a introdução dos perímetros de protecção das captações de Ermida no P. D. M:

- Antes de tudo interessa referenciar, cartograficamente, as diferentes áreas englobadas nos perímetros de protecção das captações (Figura 9.2.);
- Estabelecer medidas que impeçam o desenvolvimento de actividades de qualquer natureza, nas zonas de protecção imediata (zonas $S_1$) onde, obviamente se incluem as pastagens. Estas zonas apresentam áreas bastante reduzidas, daí que, não será muito difícil estabelecer regras de proibição;

- Nas zonas de protecção intermédia, atendendo ao tipo e natureza dos processos promotores (ou potenciadores) de poluição de águas subterrâneas na região, podem ser implementadas medidas que facultem a eliminação ou a mitigação dos mesmos. Nestas áreas, se não for possível proibir as actividades que provoquem a poluição, devem sugerir-se medidas de atenuação;
- Nas zonas de protecção imediata, e nas zonas de protecção intermédia, devem proibir-se quaisquer tipo de obras ou construções que alterem as condições de infiltração e de fluxo hídrico subterrâneo das captações;
- Nas zonas de protecção alargada, apesar do tipo de poluentes potenciais não acalentarem grandes preocupações (em relação a outros), deve também aconselhar-se medidas que promovam a ausência ou diminuição destes;
- De um modo geral, seria importante sensibilizar os residentes da povoação de Ermida, para a importância e o interesse destas zonas integradas nos perímetros de protecção. Na realidade, aqueles residentes deveriam ter a consciência do património que representa um perímetro de protecção.

Convém salientar que, na região em questão, as medidas preventivas e/ou aconselháveis a implementar, com vista à eliminação ou atenuação dos processos promotores de poluição de águas subterrâneas, se referem às actividades de pastorícia e actividades turísticas (ver capítulo 8).

Em anexo encontram-se as zonas de protecção da Figura 9. 3., estando aí

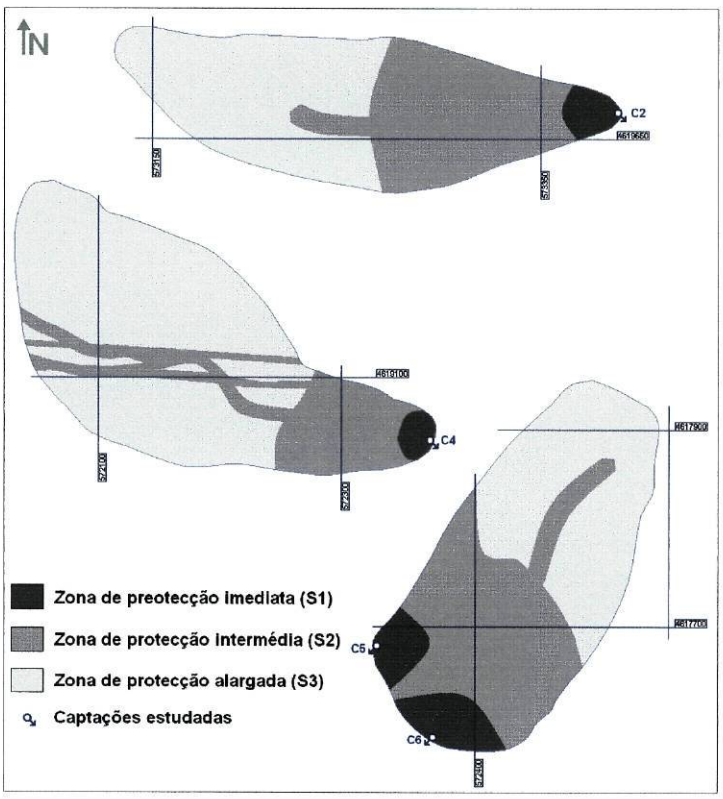



**Figura 9. 3.** Áreas propostas para englobar os perímetros de protecção.

representadas sob a forma de pontos (devidamente cartografados) que correspondem a vértices de polígonos. Esse tipo de representação visa auxiliar uma eventual proposta da Câmara Municipal de Terras de Bouro, à Comissão Coordenadora da Região Norte (CCRN), para a efectiva inclusão dos perímetros de protecção das captações de Ermida no Plano Director Municipal.

# CAPÍTULO - 10

# CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A caracterização hidrogeológica encetada neste trabalho veio a confirmar, algumas das expectativas iniciais sobre a hidrogeologia da região. Efectivamente está-se perante um meio cristalino fissurado, favorável à ocorrência de aquíferos.

Os dados tidos em consideração para esta caracterização hidrogeológica foram de diversa índole. Entre eles destacam-se os dados geomorfológicos, hidroclimatológicos e tectónicos.

No que concerne aos dados geomorfológicos, conclui-se que estes facultaram o processo de definição das prováveis orientações de fluxo hídrico subterrâneo. Este processo, como já foi referido, envolveu a identificação de linhas de água (permanentes e temporárias), linhas de cume e fundos de vale, zonas favoráveis à infiltração, zonas favoráveis à descarga de águas subterrâneas, etc.

Por outro lado, as análises topográficas e geomorfológicas, a uma escala local, criaram as bases para a definição dos perímetros de protecção, através da determinação das áreas de contribuição hídrica das captações estudadas.

As características hidrológicas e climatológicas das zonas montanhosas da bacia hidrográfica do Cávado (onde se insere a região de Ermida), que são marcadas, entre outros aspectos, por elevados índices anuais de precipitação e de escoamento superficial, fomentam o desenvolvimento de recursos hídricos subterrâneos.

Ao nível da tectónica local, em cujo estudo se baseou em análises exaustivas dos sistemas de fracturação (mesoscópica e macroscópica) e outras descontinuidades, foi possível definir algumas orientações principais. Entre essas orientações podem destacar-se os seguintes azimutes: WNW – ESE, NW – SE, N – S e NNE – SSW. Ao longo desta gama de orientações, processar-se-á seguramente parte significativa do fluxo condicionado das águas subterrâneas.

Enquadrada na caracterização hidrogeológica local, a realização de um mapa hidrogeológico revelou-se numa actividade importante no contexto deste trabalho. Na realidade, este mapa veio a tornar-se numa útil ferramenta no âmbito da compreensão e síntese de alguns dos factores e processos relacionados (directa ou indirectamente) com a hidrogeologia da região de Ermida.

Ao longo deste trabalho, o recurso a métodos ou técnicas de prospecção geofísica serviu essencialmente de complemento à caracterização hidrogeológica. Efectivamente, a prospecção electromagnética (de VLF) permitiu, nalgumas zonas, reforçar a suposições, inicialmente feitas, sobre a provável existência, em profundidade, de importantes descontinuidades tectónicas (essencialmente falhas e filões).

Houve também a tentativa de se fazer uso dos dados obtidos, na prospecção electromagnética, em zonas de contribuição das captações, de modo a complementar as informações, até então recolhidas para a definição dos perímetros de protecção. Estas intenções foram coroadas com a detecção de anomalias electromagnéticas na área de contribuição da captação C4. Tais anomalias são pronunciadoras da provável existência de descontinuidades tectónicas, de diversa índole, com orientações aproximadas: este – oeste. O facto das anomalias em questão se encontrarem em pequenas linhas de água (não permanentes), favorece ainda mais as suposições aqui apresentadas.

Em fases posteriores deste trabalho, o recurso ao método cartográfico e multicritério – *DISCO* (Pochon & Zwahlen 2002) de definição de perímetros de protecção, constituiu uma boa opção. Na realidade, a aplicação deste método, desde os procedimentos preliminares, até às fases finais (ou efectivas), revelou um considerável grau de eficácia, que se deveu, em grande parte, do mesmo ter em consideração inúmeros factores e condicionalismos naturais (geológicos, geomorfológicos, hidrológicos, etc.).

Por um lado, as fases (ou procedimentos) preliminares acima mencionadas levaram a considerar os meios hidrogeológicos envolventes à captações de Ermida, como fortemente heterogéneos.

Por outro lado, após a realização das etapas efectivas do método *DISCO*, foi possível definir as zonas S, isto é, as zonas de protecção finais.

Como foi possível verificar nos capítulos 8 e 9, as mesmas zonas S subdividem-se em: ($S_1$) – Zona de protecção imediata; ($S_2$) – Zona de protecção intermédia; ($S_3$) – Zona de protecção alargada. Estas zonas estão definidas na legislação portuguesa, e inserem-se no âmbito dos Planos Directores Municipais.

No decurso deste trabalho, foram já enunciadas algumas propostas e recomendações, mais concretamente no capítulo nono. No entanto, podem ainda introduzir-se algumas recomendações, de modo a obter um estudo hidrogeológico mais completo, não só na região de Ermida como nas regiões vizinhas:

- De modo a efectuar-se a avaliação dos recursos hídricos subterrâneos da região estudada, sugere-se a recolha e análise estatística de dados climatológicos, e o estudo de características hidrodinâmicas. Dentro do mesmo propósito, sugere-se também a realização de estudos sobre o quimismo das águas subterrâneas, e com isso obter uma melhor caracterização das mesmas.
- Por forma a proporcionar, em situações futuras, um conhecimento mais exaustivo das zonas favoráveis à ocorrência de importantes alinhamentos tectónicos (falhas, filões, etc.) em profundidade, potenciadoras do fluxo hídrico subterrâneo, aconselha-se a realização de prospecção geofísica noutras áreas. Neste âmbito, poder-se-á aplicar novamente, o método electromagnético – VLF.
- Uma vez que a região de Ermida se encontra englobada no território do Parque Nacional da Peneda-Gerês, o estudo realizado neste trabalho assume especial interesse. Nesta mesma instituição (Parque Nacional da Peneda-Gerês) existe, actualmente, um défice estrutural ao nível dos estudos dos recursos hídricos subterrâneos, pelo que se recomenda a realização de uma carta hidrogeológica representativa de todo o território. Para esse efeito, este trabalho poderá constituir uma modesta documentação – base.
- Entre todas as captações estudadas, a captação C2 destaca-se das demais por apresentar os caudais mais apreciáveis. Ao mesmo tempo, é credível que esta captação possa estar a funcionar abaixo das suas possibilidades, pelo que se perfila como a melhor candidata (entre todas) a obras de melhoramento.

Estas obras, para além da substituição de tubagens, da colocação de ralos, etc., poderiam incluir a instalação de um novo furo, no entanto, devem sempre ser precedidas de um estudo prévio.

# BIBLIOGRAFIA


AFONSO, M. J. (1997) *Hidrogeologia de Rochas Graníticas da Região do Porto.* Dissertação apresentada à Universidade de Lisboa para a obtenção do grau de Mestre em Geologia Económica Aplicada. pp. 150. Lisboa.

BARKER, R. D. (2001) *Imaging fractures in hardrock terrain.* pp. 4 http://www.ac.uk/earthsciences/research/hydro/. University of Birmingham, U. K.

BATHURST, J. C. (1997) *Applied Fluvial Geomorphology for River Engineering and Management.* pp. 376. John Willey & Sons Inc.

BECK, A. E. (1981) *Physical Principles of Exploration Methods. An Introductory Text for Geology and Geophysics Students.* Dep. of Geophysics, University

CARVALHO, J. M. (1981) *A metodologia de prospecção e pesquisa de águas subterrâneas em formações cristalinas e cristalofilinas portuguesas.* Relatórios inéditos e arquivo. pp. 153. Lisboa. Portugal.

CARVALHO, J. M. (2001) *Águas Subterrâneas: uma abordagem metodológica.* Cadernos Didácticos de Ciência. pp. 1 – 13. Departamento de Geociências. Universidade de Évora.

CARVALHO, J. M. (2001) *As águas subterrâneas no abastecimento de núcleos urbanos no norte de Portugal.* Vol. 4 – Nº1. pp. 1 – 18. Departamento de Geociências, Universidade de Évora. Centro de Geociências da Universidade do Porto.

CASTANY, G. (1975) *Prospección y Explotación de las Aguas Subterráneas.* Ediciones Omega, S. A. Barcelona.

COSTA, J. B. (1999) *Caracterização e Constituição do Solo* (6ª Edição). Serviços de Educação, Fundação Calouste Gulbenkian. pp. 527. Lisboa.

CUSTÓDIO, E. & LLAMAS, M. R. (1983) *Hidrología Subterránea.* Ediciones Omega, 2 tomos. pp. 2359. Barcelona.

DOMENICO, P. A. & SCHWARTZ, F. W. (1998) *Physical and Chemical Hydrogeology* – Second Edition. pp. 506. John Willey & Sons, Inc.

FERREIRA, P. L., OLIVEIRA, M. M. & MOINANTE, M. J. (1995) *Desenvolvimento de inventários das Águas subterrâneas – Volume II.* Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Departamento de Hidráulica – Grupo de Investigação de Águas Subterrâneas. Estudos realizados para a Comissão Europeia (DGXI) e Direcção Geral do Ambiente. pp. 262. Lisboa.

FERREIRA, P. L. (2000) *Teses e Programas de Investigação LNEC. Inventariando, monotorizando e gerindo de forma sustentável os recursos hídricos. A situação portuguesa, os desafios da União Europeia e a globalização.*

FETTER, C. W. (2001) *Applied Hydrogeology* – Fourth Edition. pp. 597. Prentice Hall.

FRASER, D. C. (1977) *Contouring of VLF – EM Data.* Geonics Limited.

FREEZE, R. A. & CHERRY, J. A. (1979) *Groundwater.* pp. 604. Prentice Hall.

GONÇALVES, E. (2002) *Caracterização Geológica e Geomorfológica do Baldio de Vilar da Veiga. Relatórios do Plano de Ordenamento do Território do Parque Nacional da Peneda-Gerês.* Braga.

GONÇALVES, E. (2003) *Caracterização Geológica e Geomorfológica dos Baldios de Cabril e de Pitões das Júnias. Relatórios do Plano de Ordenamento do Território do Parque Nacional da Peneda-Gerês.* Braga.

INSTITUTO DA ÁGUA (INAG) (2000) *Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Cávado.* Volume III. Subsistema Hidrológico. pp. 70. http://www.snirh.pt

INSTITUTO DA ÁGUA (INAG) *Séries hidroclimatológicas de Portugal.* http://www.snirh.pt

KITANIDIS, P. K. (1997) *Introduction to Geostatistics. Aplications in Hydrogeology.* pp. 249. Cambridge.

LIMA, A. S. (1994) *Hidrogeologia de Regiões Graníticas.* (Braga – NW Portugal). Dissertação apresentada à Universidade do Minho para a obtenção do grau de Mestre em Educação, especialização em Ensino da Biologia e Geologia. pp. 202. Braga.

MALTMAN, A. (1996) *Geological maps. An introduction* – Second Edition. pp. 260. John Willey & Sons, Inc.

MARQUES, J. M. & PEDROSA, M. Y. (1999) *Mina de Jales: Uma abordagem da hidrogeologia ambiental. Geologos* – Departamento de Geologia/Centro de Geologia da Universidade do Porto. F. C. U. P.

MANNING, J. C. (1997) *Applied Principles of Hydrology* – Third Edition. pp. 276. Prentice Hall.

McNEIL, J. D. and LABSON, V. F. (1998) *Geological Mapping Using VLF Radio Fields.* Geonics Limited, Ontario, Canada L5T 1C6. U. S. Geological Survey, MS 964, Box 25046 Federal Center, Denver, CO 80225.

MILSON, J. (2000) *Field Geophysics – Second Edition. The Geological Field Guide Series.* pp. 187. John Willey & Sons, Inc.

MOINANTE, M. J. (2003) *Delimitação de Perímetros de Protecção de Captações de Águas Subterrâneas. Estudo comparativo utilizando métodos analíticos e numéricos.* pp. 37 – 87. Teses de Mestrado do LNEC. Lisboa.

MOREIRA, A. & RIBEIRO, M. L. (1991) *Carta Geológica do Parque Nacional da Peneda-Gerês na escala 1:50000.* Serviço Nacional de Parques, Reservas e Conservação da Natureza. Parque Nacional da Peneda-Gerês.

NORONHA, F. & RIBEIRO, M. L. (1983) *Carta Geológica de Portugal na escala 1:50000. Notícia Explicativa da folha 6 – A (Montalegre).* Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

PARQUE NACIONAL DA PENEDA-GERÊS (2002) *Mapa de Declives do Baldio de Vilar da Veiga.* Documentos de S. I. G. do P. N. P. G. Braga.

PARTIDÁRIO, M. R. (1999) *Introdução ao Ordenamento do Território.* pp. 210. Universidade Aberta. Lisboa.

PATERSON, N. P. & RONKA, V. (1997) *Five years of Surveying With VLF – EM Method.* Presented at The 1969 Annual International Meeting Society of Exploration Geophysicists. Geonics Limited.

PEDROSA, M. Y. (1999) *Carta Hidrogeológica de Portugal na escala 1:200000. Notícia Explicativa da folha 1.* Instituto Geológico e Mineiro. Departamento de Hidrogeologia.

PEREIRA, E. (1992) *Carta Geológica de Portugal na escala 1:200000. Notícia Explicativa da folha 1.* Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

PLUMMER, C., McGEARY, D. & CARLSON, D. (2001) *Physical Geology.* Pp. 578. McGraw Hill.

POCHON, A. & ZWAHLEN, F. (2002) *Guide Pratique: Délimitation des zones de protection des eaux souterraines en milieu fissuré. Version provisoire du 28 mars 2002.* pp. 80. Office fédéral de l'environnement des forêts et du paysage (OFEFP). L'environnement pratique.

RIBEIRO, A., LAUTENSACH, H. & DAVEAU, S. (1987) *Geografia de Portugal. II. O Ritmo Climático e a Paisagem.* pp. 623. Edições João Sá da Costa – Lisboa.

ROGOWSKY, T. P. & MARTIN, W. A. B. and Associates (1997) *Model Experiments.* Geonics Limited.

ROWELL, D. L. (1994) *Soil Science. Methods & Applications.* pp. 350. Prentice Hall.

SANDERS, L. L. (1998) A Manual of Field Hydrogeology. pp. 381. Prentice Hall.

TEIXEIRA, C., MEDEIROS, A. C. & LOPES, J. T. (1974) *Carta Geológica de Portugal na escala 1:50000. Notícia Explicativa da folha 5 – B (Ponte da Barca).* Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

TELFORD, W. M., KING, W. F. & BECKER, A. (1977) *VLF Mapping of Geological Structure. Canada Geological Survey – Paper 76-25. Geonics Limited.*

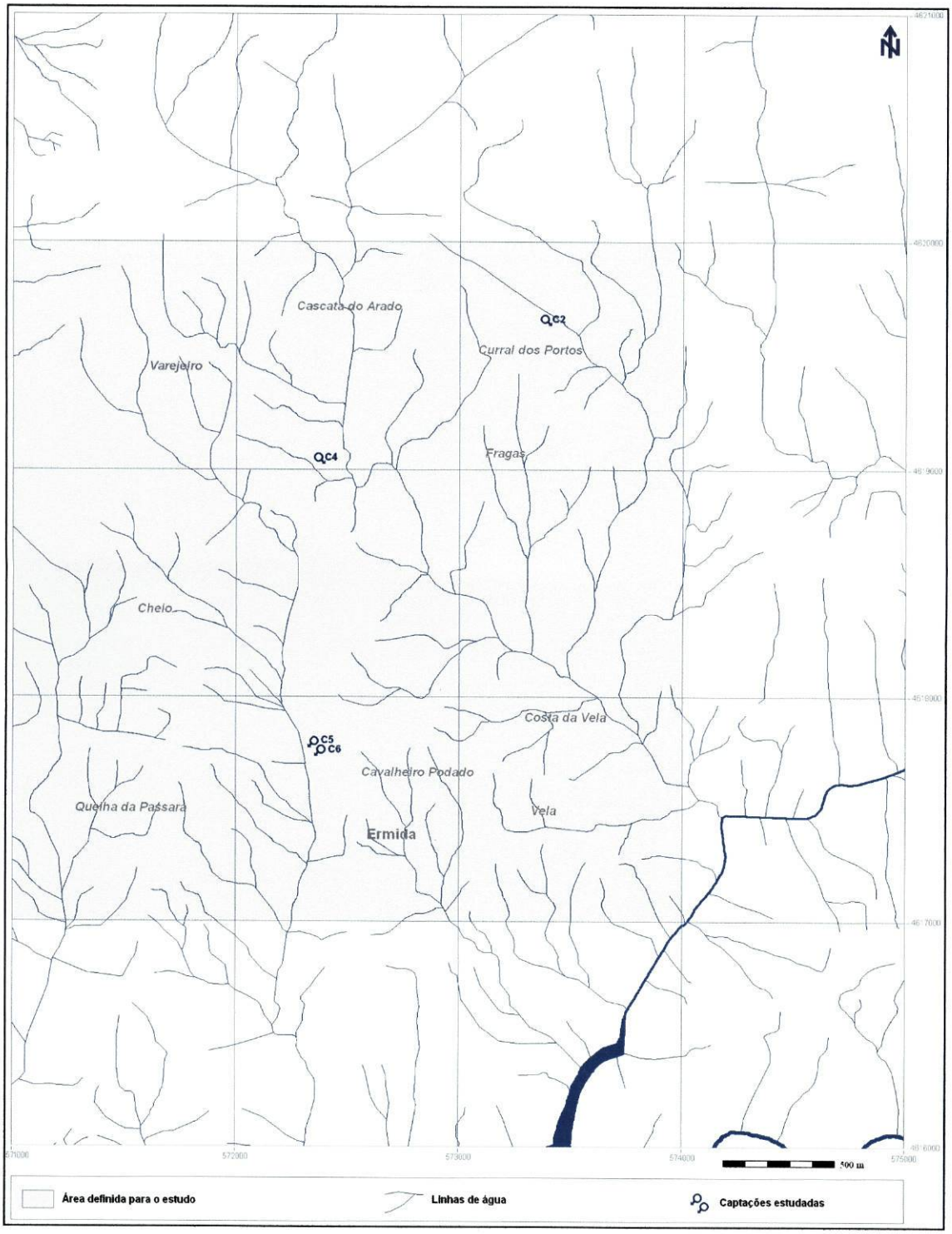
THORNE, C. R., HEY, R. D. & NEWSON, M. D. (1997) *Applied Fluvial Geomorfhology for River Engineering and Management.* pp. 376. John Willey & Sons, Inc.

TRICART, J. (1978) *Géomorphologie Applicable.* Collection de géographie applicable. pp. 204. Masson.

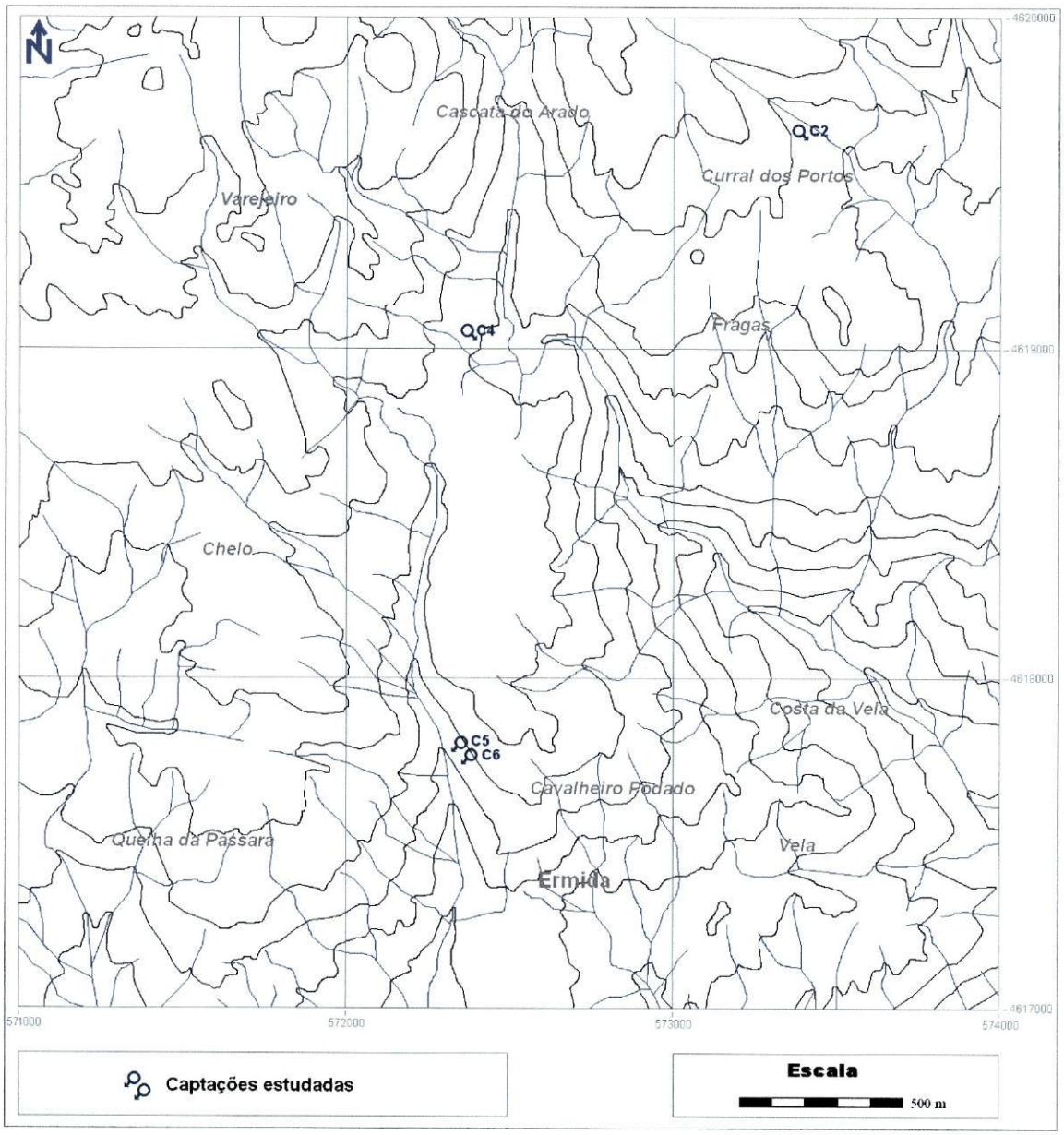
WERRITY, A. (1997) *Applied Fluvial Geomorphology for River Engineering and Management.* pp. 376. John Willey & Sons, Inc.

# ANEXOS

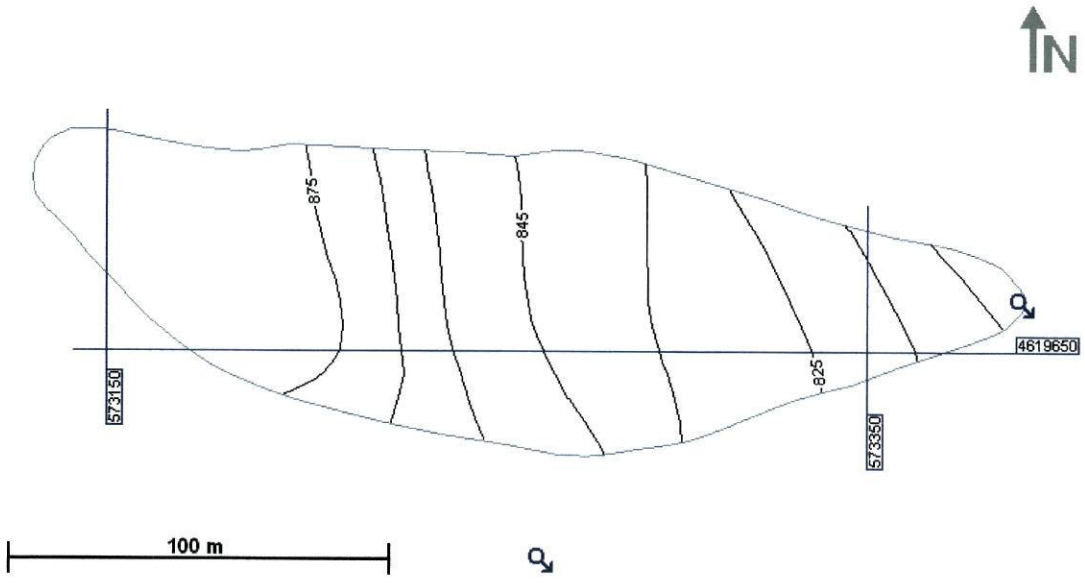
# PRINCIPAIS LINHAS DE ÁGUA DA REGIÃO ESTUDADA E ÁREAS ENVOLVENTES

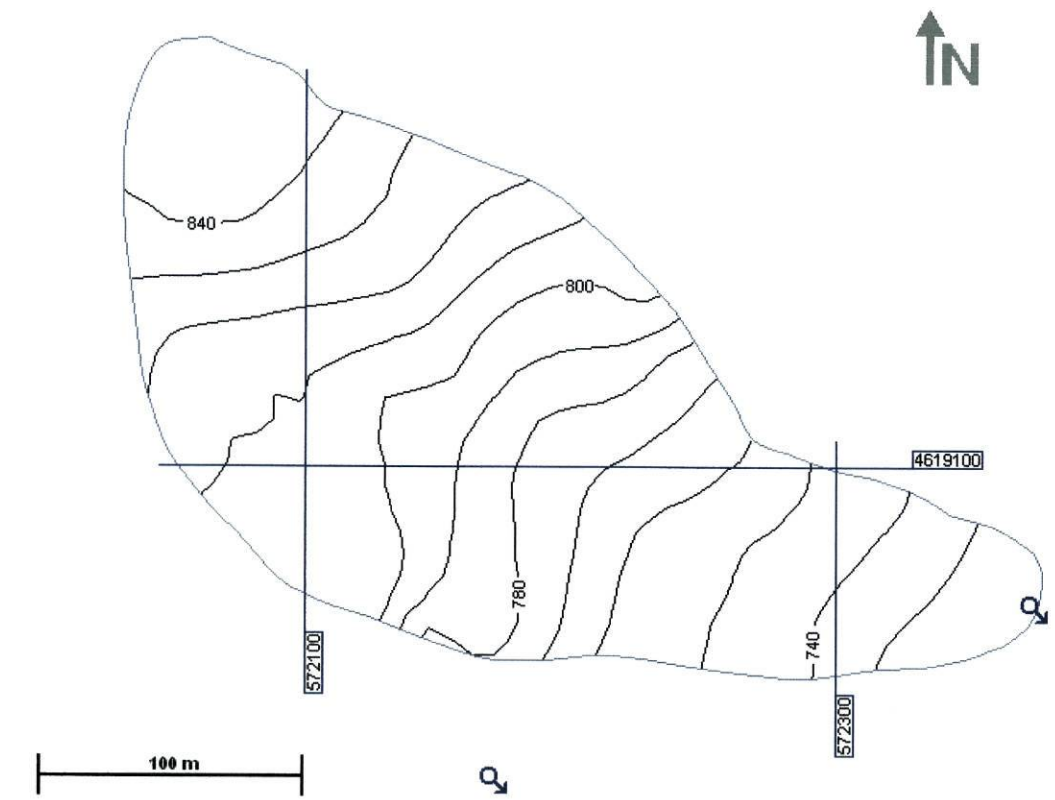


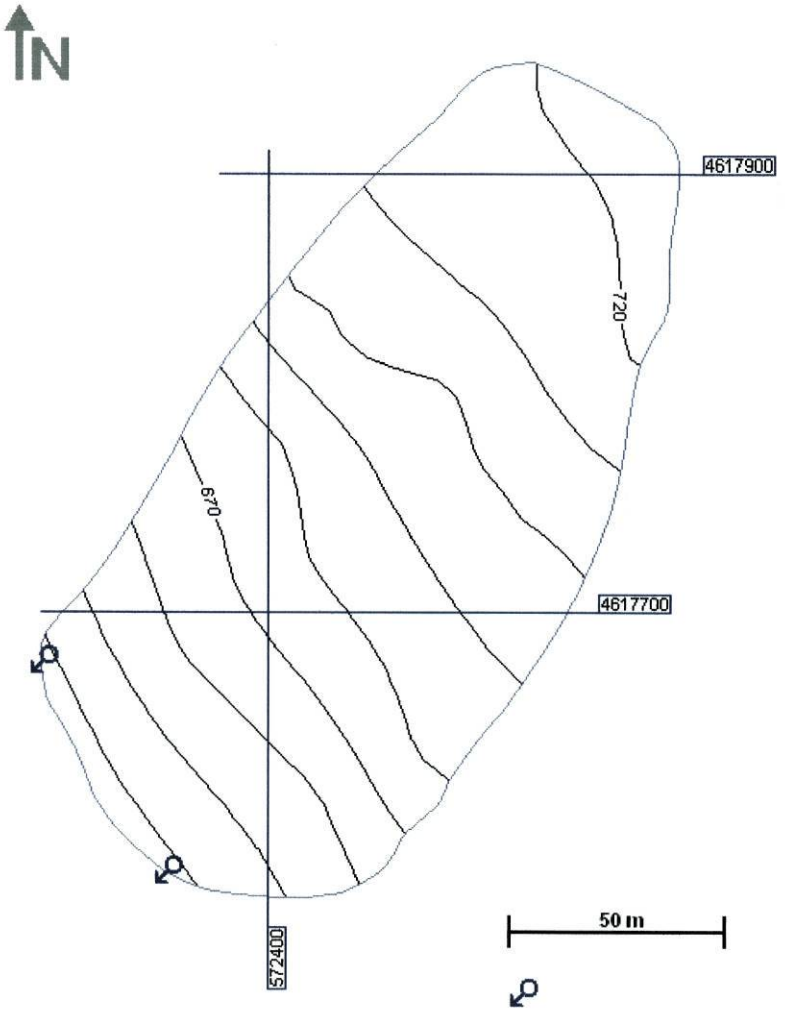
# HIPSOMETRIA E DISTRIBUIÇÃO DAS LINHAS DE ÁGUA SUPERFICIAIS



# ÁREAS DE CONTRIBUIÇÃO DAS CAPTAÇÕES, DEFINIDAS COM BASE EM CRITÉRIOS TOPOGRÁFICOS




N
4617900
720
670
4617700
572400
50 m

# ENSAIOS DE PERMEABILIDADE

***Bacia de alimentação da captação C2***

| ENSAIO | PERMEABILIDADE (m/dia) | (cm/s) |
|---|---|---|
| 1 | 5,65 | $6,54x10^{-3}$ |
| 2 | 5,39 | $6,24x10^{-3}$ |
| 3 | 15,6 | 0,0180 |
| 4 | 5,63 | $6,51x10^{-3}$ |
| 5 | 2,19 | $2,53x10^{-3}$ |
| 6 | 1,82 | $2,11x10^{-3}$ |

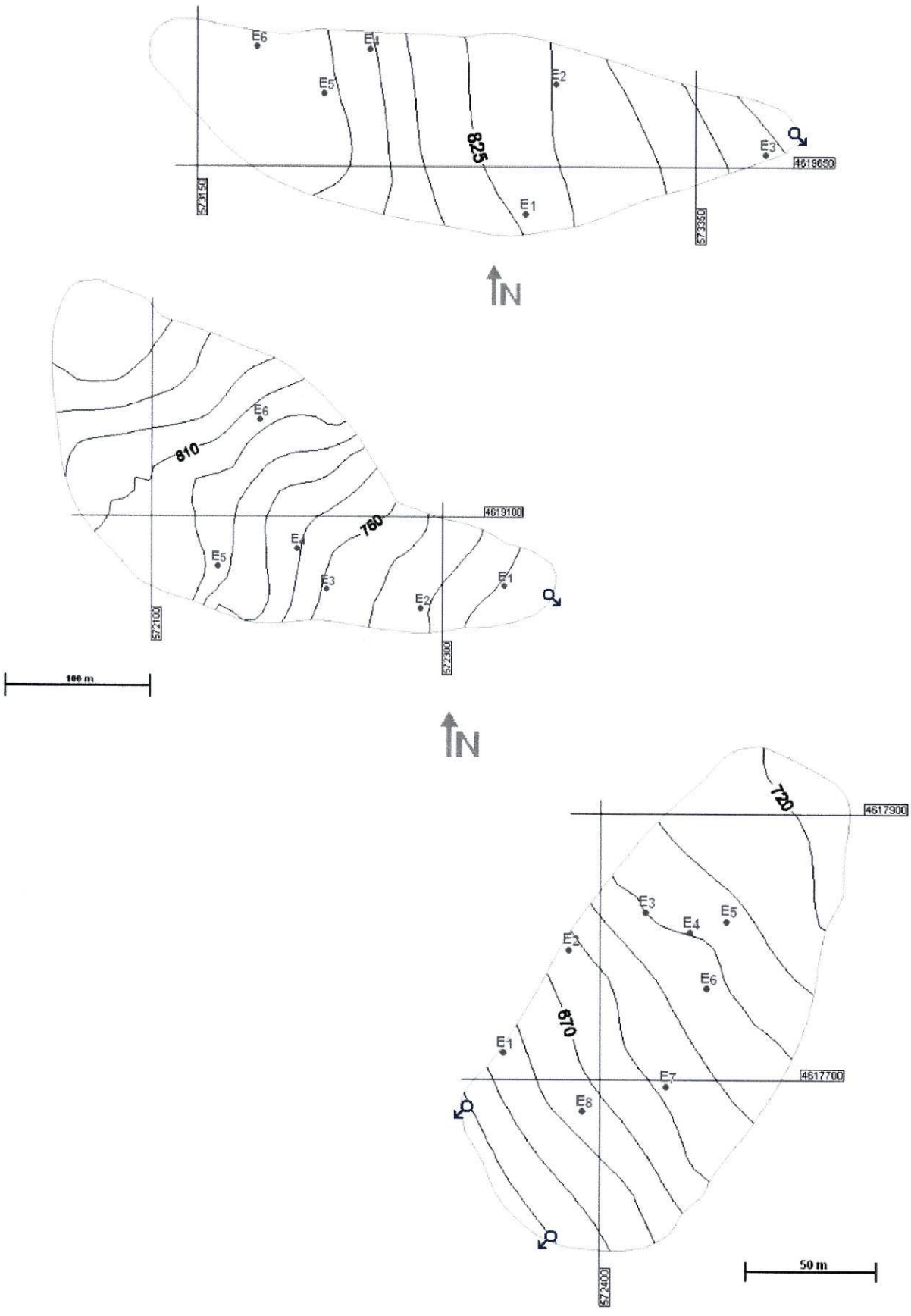
***Bacia de alimentação da Captação C4***

| ENSAIO | PERMEABILIDADE (m/dia) | (cm/s) |
|---|---|---|
| 1 | 20,8 | 0,0241 |
| 2 | 5,28 | $6,11x10^{-3}$ |
| 3 | 3,01 | $3,57x10^{-3}$ |
| 4 | 1,85 | $2,14x10^{-3}$ |
| 5 | 2,43 | $2,81x10^{-3}$ |
| 6 | 3,38 | $3,91x10^{-3}$ |

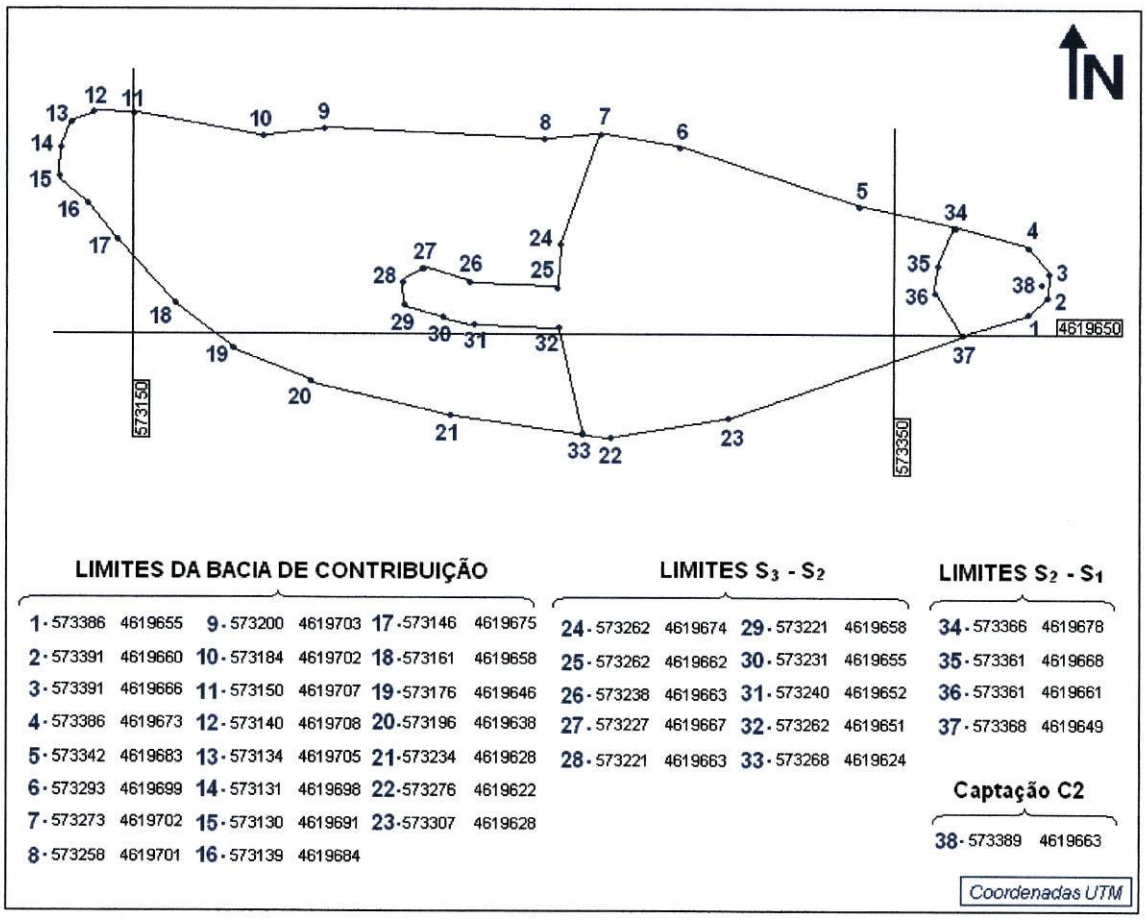
***Bacia de alimentação das captações C5 e C6***

| ENSAIO | PERMEABILIDADE (m/dia) | (cm/s) |
|---|---|---|
| 1 | 2,11 | $2,44x10^{-3}$ |
| 2 | 4,01 | $4,73x10^{-3}$ |
| 3 | 4,96 | $5,74x10^{-3}$ |
| 4 | 1,63 | $1,89x10^{-3}$ |
| 5 | 9,94 | 0,0115 |
| 6 | 3,26 | $3,77x10^{-3}$ |
| 7 | 5,99 | $6,93x10^{-3}$ |
| 8 | 2,62 | $3,03x10^{-3}$ |

# LOCALIZAÇÕES DOS ENSAIOS DE PERMEABILIDADE NAS DIFERENTES ZONAS DE CONTRIBUIÇÃO DAS CAPTAÇÕES



# ZONAS DE PROTECÇÃO REPRESENTADAS SOB A FORMA DE PONTOS CARTOGRAFADOS E POLÍGONOS




**LIMITES DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 - 573386 | 4619655 | 9 - 573200 | 4619703 | 17 - 573146 | 4619675 |
| 2 - 573391 | 4619660 | 10 - 573184 | 4619702 | 18 - 573161 | 4619658 |
| 3 - 573391 | 4619666 | 11 - 573150 | 4619707 | 19 - 573176 | 4619646 |
| 4 - 573386 | 4619673 | 12 - 573140 | 4619708 | 20 - 573196 | 4619638 |
| 5 - 573342 | 4619683 | 13 - 573134 | 4619705 | 21 - 573234 | 4619628 |
| 6 - 573293 | 4619699 | 14 - 573131 | 4619698 | 22 - 573276 | 4619622 |
| 7 - 573273 | 4619702 | 15 - 573130 | 4619691 | 23 - 573307 | 4619628 |
| 8 - 573258 | 4619701 | 16 - 573139 | 4619684 | | |

**LIMITES $S_3$ - $S_2$**

| | | | |
|---|---|---|---|
| 24 - 573262 | 4619674 | 29 - 573221 | 4619658 |
| 25 - 573262 | 4619662 | 30 - 573231 | 4619655 |
| 26 - 573238 | 4619663 | 31 - 573240 | 4619652 |
| 27 - 573227 | 4619667 | 32 - 573262 | 4619651 |
| 28 - 573221 | 4619663 | 33 - 573268 | 4619624 |

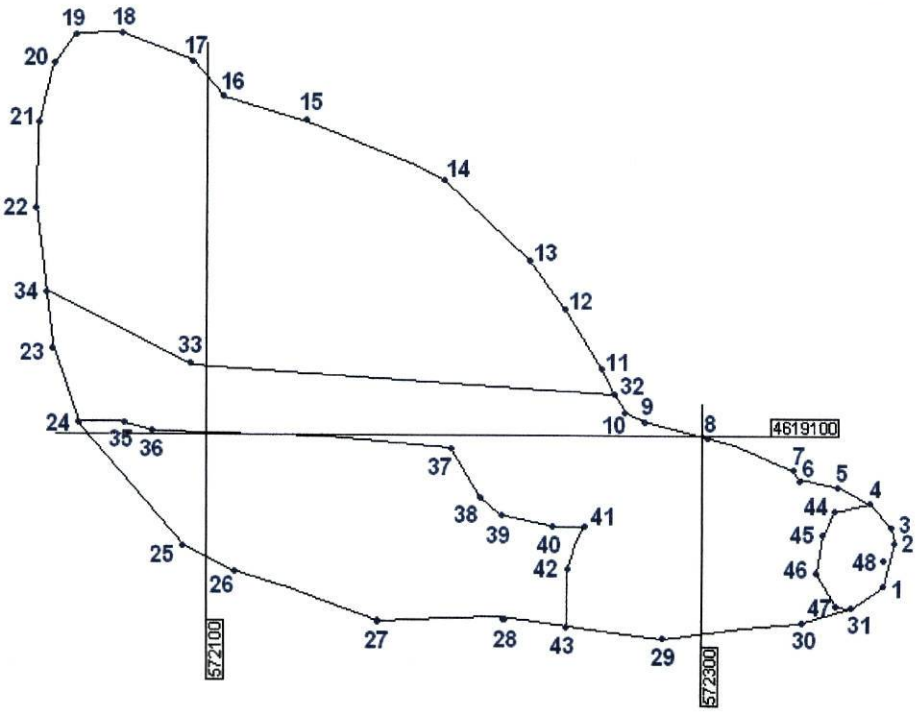
**LIMITES $S_2$ - $S_1$**

| | | | |
|---|---|---|---|
| 34 - 573366 | 4619678 | | |
| 35 - 573361 | 4619668 | | |
| 36 - 573361 | 4619661 | | |
| 37 - 573368 | 4619649 | | |

**Captação C2**

| | | | |
|---|---|---|---|
| 38 - 573389 | 4619663 | | |

*Coordenadas UTM*




**LIMITES DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO**

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 572374 | 4619041 | 11 | 572260 | 4619126 | 21 | 572032 | 4619224 |
| 2 | 572378 | 4619057 | 12 | 572244 | 4619150 | 22 | 572032 | 4619190 |
| 3 | 572377 | 4619064 | 13 | 572231 | 4619169 | 23 | 572039 | 4619133 |
| 4 | 572369 | 4619074 | 14 | 572195 | 4619201 | 24 | 572048 | 4619105 |
| 5 | 572356 | 4619079 | 15 | 572140 | 4619224 | 25 | 572090 | 4619055 |
| 6 | 572339 | 4619082 | 16 | 572106 | 4619234 | 26 | 572111 | 4619046 |
| 7 | 572337 | 4619087 | 17 | 572094 | 4619248 | 27 | 572170 | 4619027 |
| 8 | 572303 | 4619100 | 18 | 572066 | 4619259 | 28 | 572220 | 4619028 |
| 9 | 572278 | 4619105 | 19 | 572047 | 4619258 | 29 | 572285 | 4619020 |
| 10 | 572269 | 4619109 | 20 | 572038 | 4619246 | | | |

**LIMITES $S_3$ - $S_2$**

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 30 | 572341 | 4619027 | 38 | 572210 | 4619074 | | | |
| 31 | 572362 | 4619033 | 39 | 572220 | 4619069 | | | |
| 32 | 572265 | 4619117 | 40 | 572239 | 4619064 | | | |
| 33 | 572093 | 4619128 | 41 | 572254 | 4619065 | | | |
| 34 | 572035 | 4619156 | 42 | 572247 | 4619048 | | | |
| 35 | 572067 | 4619105 | 43 | 572245 | 4619025 | | | |
| 36 | 572078 | 4619102 | | | | | | |
| 37 | 572199 | 4619095 | | | | | | |

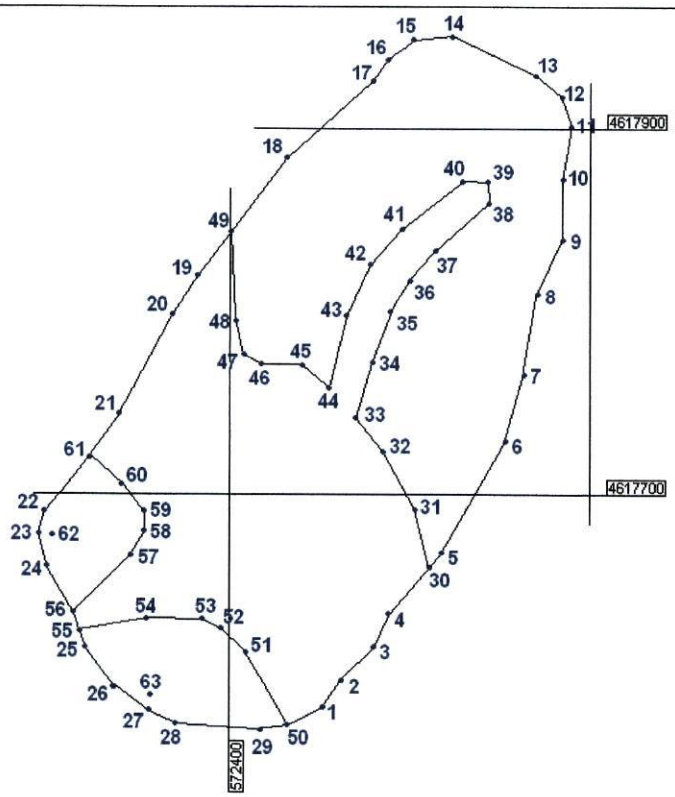
**LIMITES $S_2$ - $S_1$**

| | | |
|---|---|---|
| 44 | 572354 | 4619071 |
| 45 | 572349 | 4619061 |
| 46 | 572347 | 4619047 |
| 47 | 572354 | 4619034 |

**Captação C4**

| | | |
|---|---|---|
| 48 | 572374 | 4619051 |

*Coordenadas UTM*




**LIMITES DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO**

| | | |
|---|---|---|
| 1 · 572452 4617582 | 12 · 572584 4617918 | 23 · 572295 4617677 |
| 2 · 572463 4617596 | 13 · 572569 4617929 | 24 · 572299 4617660 |
| 3 · 572481 4617616 | 14 · 572523 4617950 | 25 · 572320 4617615 |
| 4 · 572490 4617634 | 15 · 572501 4617949 | 26 · 572336 4617593 |
| 5 · 572517 4617668 | 16 · 572487 4617938 | 27 · 572355 4617580 |
| 6 · 572553 4617729 | 17 · 572480 4617926 | 28 · 572369 4617573 |
| 7 · 572563 4617764 | 18 · 572431 4617884 | 29 · 572418 4617569 |
| 8 · 572571 4617809 | 19 · 572383 4617820 | 30 · 572511 4617659 |
| 9 · 572585 4617839 | 20 · 572369 4617798 | 31 · 572504 4617692 |
| 10 · 572585 4617872 | 21 · 572339 4617743 | |
| 11 · 572590 4617901 | 22 · 572298 4617690 | |

**LIMITES $S_3$ - $S_2$**

| | |
|---|---|
| 32 · 572485 4617723 | 41 · 572494 4617844 |
| 33 · 572471 4617741 | 42 · 572478 4617826 |
| 34 · 572480 4617772 | 43 · 572464 4617799 |
| 35 · 572490 4617800 | 44 · 572455 4617758 |
| 36 · 572501 4617817 | 45 · 572441 4617771 |
| 37 · 572515 4617833 | 46 · 572418 4617772 |
| 38 · 572543 4617858 | 47 · 572407 4617776 |
| 39 · 572543 4617870 | 48 · 572404 4617795 |
| 40 · 572529 4617871 | 49 · 572401 4617843 |

**LIMITES $S_2$ - $S_1$**

| | |
|---|---|
| 50 · 572432 4617572 | 56 · 572314 4617635 |
| 51 · 572409 4617613 | 57 · 572345 4617666 |
| 52 · 572396 4617625 | 58 · 572353 4617680 |
| 53 · 572384 4617630 | 59 · 572351 4617692 |
| 54 · 572354 4617630 | 60 · 572341 4617704 |
| 55 · 572316 4617624 | 61 · 572323 4617720 |

**Captações C5 e C6**

| |
|---|
| 62 · 572301 4617677 |
| 63 · 572357 4617586 |

*Coordenadas UTM*

# TABELAS DE DADOS - VLF

SECÇÃO 1

| LOCALIZAÇÃO | FASE | QUADRATURA |
|---|---|---|
| 0 | 30 | 3 |
| 5 | 25 | 0.4 |
| 10 | 23 | 0 |
| 15 | 17 | -6 |
| 20 | 21 | 2.5 |
| 25 | 22 | 2 |
| 30 | 22.5 | 4 |
| 35 | 16 | -2.5 |
| 40 | 23 | 4 |
| 45 | 15 | -1 |
| 50 | 13 | 1 |
| 55 | 17 | 1.2 |
| 60 | 23 | 1.5 |
| 65 | 19 | -0.5 |
| 70 | 20 | 0.5 |
| 75 | 15 | 2 |
| 80 | 17 | 1.8 |
| 85 | 15 | 2.6 |
| 90 | 11 | -2.2 |
| 95 | 14 | 1.5 |
| 100 | 16 | 0.8 |

| LOCALIZAÇÃO | FASE | QUADRATURA |
|---|---|---|
| 0 | 26 | 4.5 |
| 5 | 29.5 | 4 |
| 10 | 24 | 3.6 |
| 15 | 21.5 | -3.6 |
| 20 | 24.5 | 3.8 |
| 25 | 23.5 | 5.5 |
| 30 | 24 | 1 |
| 35 | 25 | 4.4 |
| 40 | 20.5 | 2.2 |
| 45 | 17 | 0 |
| 50 | 20 | 3.8 |
| 55 | 17 | 1.8 |
| 60 | 19.5 | 2.9 |
| 65 | 21.5 | 1.6 |
| 70 | 21 | 2 |
| 75 | 25 | 2.2 |
| 80 | 16 | 2.4 |
| 85 | 18 | 1.8 |
| 90 | 15.5 | 0.2 |
| 95 | 18 | 0.5 |
| 100 | 16 | -1.5 |

## SECÇÃO 2

| LOCALIZAÇÃO | FASE | QUADRATURA | FILTRAGEM |
|---|---|---|---|
| 0 | 17 | 1 | 1.75 |
| 5 | 8.5 | 4 | -11.25 |
| 10 | 7 | 5.2 | -9.25 |
| 15 | 15 | 7 | 4.25 |
| 20 | 23 | 2.8 | 9.25 |
| 25 | 17.5 | 10 | 5.75 |
| 30 | 12 | 1.6 | 4.25 |
| 35 | 10 | -1.6 | 3.1 |
| 40 | 8 | 5 | 1.1 |
| 45 | 5.5 | 6.8 | 5.65 |
| 50 | 6.3 | -1.8 | 4.65 |
| 55 | 2 | -5 | 0 |
| 60 | -1.5 | -5.8 | -0.75 |
| 65 | 0.5 | -4 | 1.5 |
| 70 | 0 | -7.4 | -0.5 |
| 75 | 0.5 | -6.2 | -6 |
| 80 | -3 | -4.2 | -4.75 |
| 85 | 4.5 | -9 | 0.75 |
| 90 | 5 | -2 | |
| 95 | 6 | -5.9 | |
| 100 | 2 | -3 | |

| LOCALIZAÇÃO | FASE | QUADRATURA | FILTRAGEM |
|---|---|---|---|
| 0 | 12 | -2 | -1 |
| 5 | 10 | 4 | -7 |
| 10 | 6 | 1 | 1.25 |
| 15 | 18 | 9.8 | 4 |
| 20 | 12 | 5.6 | 0 |
| 25 | 9.5 | 3.2 | 1.25 |
| 30 | 12.5 | 8.2 | 2.75 |
| 35 | 9 | -5 | 3.5 |
| 40 | 10.5 | 4 | 2 |
| 45 | 5.5 | 3.2 | 3.75 |
| 50 | 7 | -3.8 | 6.5 |
| 55 | 5 | 0 | 1 |
| 60 | 0 | -0.4 | -1 |
| 65 | -1 | -2.5 | 3.25 |
| 70 | 4 | -1 | -1.75 |
| 75 | -3 | -9 | -4.75 |
| 80 | -0.5 | -11 | -1.5 |
| 85 | 5 | -4 | -1.75 |
| 90 | 1 | -2.2 | |
| 95 | 6.5 | -8 | |
| 100 | 3 | -4.4 | |

## SECÇÃO 3

| LOCALIZAÇÃO | FASE | QUADRATURA |
|---|---|---|
| 0 | 5 | -2 |
| 4 | 8 | -4 |
| 8 | 11 | -0,8 |
| 12 | 9 | -3,2 |
| 16 | 10 | -3,8 |
| 20 | 11,5 | -2,2 |
| 24 | 9 | -0,3 |
| 28 | 8 | -1,6 |
| 32 | 9 | -2,2 |
| 36 | 10,5 | 0,1 |
| 40 | 10 | -0,9 |
| 45 | 6 | -2,6 |
| 50 | 8 | -3,8 |

| LOCALIZAÇÃO | FASE | QUADRATURA |
|---|---|---|
| 0 | 10 | 0 |
| 4 | 7.5 | -2 |
| 8 | 9 | -3.7 |
| 12 | 11 | -2.8 |
| 16 | 8.2 | -4 |
| 20 | 9 | -1.8 |
| 24 | 7 | 0.2 |
| 28 | 9 | -1.9 |
| 32 | 5 | -2 |
| 36 | 9.5 | 1 |
| 40 | 9 | 0.8 |
| 45 | 8 | -4.2 |
| 50 | 8.5 | -3 |

# SECÇÃO 4

| LOCALIZAÇÃO | FASE | QUADRATURA | FILTRAGEM |
|---|---|---|---|
| 0 | 7 | -2 | -2 |
| 5 | 5 | -6.4 | -4.25 |
| 10 | 1 | -5.9 | 3.25 |
| 15 | 15 | -8 | 0.25 |
| 20 | -0.5 | -6 | -1 |
| 25 | 10 | -5 | 1.5 |
| 30 | 4 | -4.8 | -1 |
| 35 | 7.5 | -8.5 | -5.25 |
| 40 | 3.5 | -6.2 | -6.5 |
| 45 | 10 | -10.4 | -3.75 |
| 50 | 11.5 | -12.4 | -0.5 |
| 55 | 15 | -14.3 | 1.5 |
| 60 | 14 | -8 | 0.5 |
| 65 | 13.5 | -9.5 | 0.5 |
| 70 | 12.5 | -14 | 0.75 |
| 75 | 14 | -16 | -1.75 |
| 80 | 11 | -17.8 | 3.25 |
| 85 | 14 | -17.5 | 6.75 |
| 90 | 14.5 | -18.2 | |
| 95 | 4 | -19 | |
| 100 | 11 | -13 | |

| LOCALIZAÇÃO | FASE | QUADRATURA | FILTRAGEM |
|---|---|---|---|
| 0 | 9 | -9.5 | -2.25 |
| 5 | 4 | -6 | 0.75 |
| 10 | 7.5 | -9.5 | 6.25 |
| 15 | 10 | -3.6 | -2 |
| 20 | 0 | -3.2 | -6.4 |
| 25 | 5 | -5.8 | -0.4 |
| 30 | 9 | -6.2 | 3.65 |
| 35 | 8.8 | -8.2 | -0.45 |
| 40 | 6 | -10.2 | -5.35 |
| 45 | 4.5 | -10.8 | -1.65 |
| 50 | 11.2 | -10.6 | -1.15 |
| 55 | 10 | -6.2 | -4.75 |
| 60 | 9 | -12.5 | -1.75 |
| 65 | 14.5 | -15.5 | 0.75 |
| 70 | 14 | -12.2 | -1 |
| 75 | 13 | -13.8 | -2.75 |
| 80 | 14 | -14.8 | -0.75 |
| 85 | 15 | -14.4 | 5.25 |
| 90 | 17.5 | -17.8 | |
| 95 | 13 | -16.8 | |
| 100 | 9 | -20.2 | |

# SECÇÃO 5

| LOCALIZAÇÃO | FASE | QUADRATURA |
|---|---|---|
| 0 | 13.5 | -14 |
| 5 | 16.5 | -13.6 |
| 10 | 15 | -11 |
| 15 | 20 | -15 |
| 20 | 16 | -14.5 |
| 25 | 19 | -14.8 |
| 30 | 17 | -16.5 |
| 35 | 18 | -16.6 |
| 40 | 12 | -14.5 |
| 45 | 22 | -16.2 |
| 50 | 24 | -16.5 |
| 55 | 25 | -14.2 |
| 60 | 25.5 | -16.6 |
| 65 | 20 | -13.2 |
| 70 | 24.5 | -14.4 |
| 75 | 23 | -15 |
| 80 | 28 | -11.5 |
| 85 | 28.5 | -14.5 |
| 90 | 26 | -15 |
| 95 | 26.5 | -15.2 |
| 100 | 33 | -17 |

| LOCALIZAÇÃO | FASE | QUADRATURA |
|---|---|---|
| 0 | 11 | -14 |
| 5 | 14 | -11 |
| 10 | 18 | -16 |
| 15 | 18.5 | -14.5 |
| 20 | 19 | -15 |
| 25 | 17 | -16 |
| 30 | 18.5 | -17 |
| 35 | 17.5 | -17 |
| 40 | 19 | -16 |
| 45 | 14 | -13.6 |
| 50 | 20.5 | -14 |
| 55 | 21 | -14.2 |
| 60 | 22 | -13.8 |
| 65 | 21.5 | -16.5 |
| 70 | 24 | -14 |
| 75 | 25 | -16 |
| 80 | 24.5 | -14.5 |
| 85 | 25 | -14 |
| 90 | 29 | -13.6 |
| 95 | 28.5 | -13 |
| 100 | 29 | -15 |

# CAPTAÇÕES DE ERMIDA








Captação C5



Captação C6

# DADOS DOS ESTUDOS DE FRACTURAÇÃO (DIACLASES)

| DIR., INC. | DIR., INC. | DIR., INC. | DIR., INC. | DIR., INC. | DIR., INC. |
|---|---|---|---|---|---|
| N 336, 76; | N 12, 24; | N 266, 90; | N 122, 43; | N 294, 69; | N 115, 90; |
| N 333, 71; | N 223, 75; | N 27, 67; | N 352, 76; | N 336, 80; | N 81, 86; |
| N 343, 71; | N 25, 35; | N 132, 49; | N 327, 88; | N 100, 87; | N 351, 87; |
| N 246, 72; | N 3, 76; | N 20, 81; | N 146, 82; | N 5, 74; | N 223, 85; |
| N 239, 62; | N 359, 67; | N 230, 78; | N 252, 71; | N 39, 90; | N 117, 20; |
| N 318, 89; | N 117, 77; | N 100, 81; | N 241, 58; | N 292, 87; | N 93, 83; |
| N 231, 84; | N 290, 75; | N 260, 85; | N 1, 77; | N 333, 60; | N 54, 83; |
| N 345, 77; | N 325, 79; | N 312, 73; | N 171, 17; | N 283, 70; | N 246, 88; |
| N 240, 78; | N 20, 76; | N 357, 89; | N 202, 85; | N 219, 87; | N 99, 81; |
| N 239, 78; | N 8, 70; | N 329, 63; | N 0, 80; | N 285, 77; | N 286, 84; |
| N 327, 79; | N 350, 87; | N 265, 73; | N 90, 18; | N 141, 50; | N 291, 75; |
| N 186, 82; | N 1, 80; | N 231, 60; | N 4, 54; | N 52, 89; | N 352, 73; |
| N 239, 90; | N 234, 88; | N 67, 90; | N 56, 90; | N 243, 67; | N 291, 71; |
| N 316, 90; | N 328, 87; | N 334, 62; | N 343, 71; | N 245, 65; | N 285, 82; |
| N 40, 83; | N 334, 72; | N 185, 53; | N 290, 89; | N 286, 84; | N 46, 90; |
| N 315, 85; | N 325, 60; | N 287, 78; | N 342, 77; | N 345, 73; | N 329, 76; |
| N 54, 89; | N 355, 76; | N 1, 75; | N 346, 82; | N 280, 76; | N 45, 90; |
| N 316, 81; | N 359, 69; | N 334, 77; | N 229, 81; | N 352, 75; | N 289, 75; |
| N 320, 79; | N 241, 72; | N 296, 71; | N 339, 71; | N 354, 72; | N 136, 20; |
| N 319, 86; | N 238, 84; | N 119, 50; | N 295, 72; | N 35, 82; | N 336, 75; |
| N 323, 85; | N 353, 60; | N 357, 80; | N 298, 64; | N 1, 73; | N 287, 71; |
| N 66, 87; | N 128, 72; | N 346, 78; | N 340, 83; | N 0, 73; | N 280, 74; |
| N 335, 75; | N 155, 29; | N 271, 71; | N 345, 86; | N 359, 74; | N 82, 87; |
| N 26, 73; | N 9, 69; | N 327, 79; | N 313, 70; | N 109, 61; | N 278, 77; |
| N 320, 78; | N 351, 83; | N 347, 71; | N 340, 80; | N 3, 68; | N 131, 45; |
| N 328, 80; | N 16, 64; | N 324, 80; | N 301, 77; | N 79, 74; | N 280, 70; |
| N 40, 84; | N 62, 85; | N 347, 75; | N 338, 77; | N 358, 80; | N 121, 39; |
| N 326, 87; | N 145, 28; | N 242, 87; | N 336, 83; | N 0, 76; | N 119, 38; |
| N 49, 78; | N 134, 64; | N 90, 30; | N 335, 72; | N 82, 77; | N 233, 87; |
| N 306, 84; | N 166, 60; | N 331, 80; | N 337, 75; | N 218, 82; | N 295, 69; |
| N 352, 74; | N 115, 90; | N 23, 74; | N 333, 77; | N 338, 77; | N 4, 61; |
| N 52, 81; | N 121, 71; | N 7, 70; | N 280, 87; | N 72, 89; | N 297, 68; |
| N 324, 83; | N 2, 68; | N 91, 89; | N 335, 77; | N 148, 13; | N 286, 84; |
| N 320, 85; | N 71, 90; | N 343, 72; | N 66, 17; | N 89, 75; | N 45, 90; |
| N 358, 73; | N 3, 68; | N 96, 59; | N 341, 74; | N 78, 85; | N 111, 89; |
| N 327, 88; | N 246, 78; | N 50, 60; | N 121, 67; | N 342, 77; | N 110, 87; |
| N 186, 73; | N 1, 68; | N 17, 73; | N 2, 80; | N 105, 88; | N 44, 89; |
| N 84, 75; | N 8, 75; | N 84, 85; | N 346, 76; | N 353, 83; | N 177, 24; |
| N 325, 80; | N 136, 41; | N 11, 77; | N 127, 60; | N 98, 87; | N 323, 81; |
| N 1, 80; | N 280, 78; | N 125, 82; | N 355, 72; | N 234, 80; | N 315, 70; |
| N 124, 76; | N 22, 70; | N 120, 83; | N 242, 61; | N 352, 90; | N 35, 85; |
| N 0, 79; | N 346, 77; | N 299, 79; | N 46, 62; | N 52, 89; | N 307, 63; |
| N 156, 86; | N 40, 81; | N 22, 66; | N 327, 81; | N 354, 74; | N 129, 23; |
| N 203, 81; | N 285, 51; | N 260, 85; | N 256, 54; | N 299, 79; | N 307, 65; |
| N 19, 12; | N 15, 73; | N 142, 86; | N 12, 86; | N 232, 78; | N 26, 79; |
| N 328, 87; | N 120, 39; | N 324, 76; | N 298, 75; | N 355, 73; | N 16, 80; |
| N 36, 82; | N 10, 73; | N 330, 78; | N 352, 65; | N 304, 79; | N 308, 66; |
| N 14, 32; | N 115, 62; | N 348, 82; | N 231, 77; | N 275, 78; | N 316, 68; |
| N 324, 88; | N 351, 82; | N 121, 55; | N 354, 76; | N 251, 82; | N 35, 83; |
| N 120, 19; | N 301, 74; | N 105, 71; | N 52, 89; | N 332, 70; | N 81, 77; |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| N 312, 61; | N 327, 83; | N 18, 70; | N 329, 79; | N 69, 60; | N 319, 89; |
| N 133, 26; | N 162, 72; | N 107, 74; | N 283, 78; | N 332, 76; | N 333, 80; |
| N 22, 76; | N 80, 79; | N 355, 80; | N 329, 90; | N 42, 81; | N 136, 29; |
| N 51, 20; | N 324, 69; | N 84, 60; | N 226, 86; | N 55, 89; | N 199, 83; |
| N 9, 67; | N 133, 29; | N 92, 60; | N 149, 88; | N 245, 85; | N 319, 90; |
| N 308, 66; | N 328, 70; | N 72, 68; | N 338, 88; | N 312, 70; | N 357, 89; |
| N 294, 65; | N 270, 84; | N 178, 57; | N 96, 72; | N 111, 89; | N 324, 87; |
| N 23, 76; | N 331, 79; | N 173, 78; | N 21, 75; | N 4, 90; | N 152, 37; |
| N 318, 61; | N 326, 71; | N 67, 69; | N 310, 81; | N 193, 87; | N 163, 82; |
| N 302, 62; | N 335, 64; | N 69, 53; | N 188, 79; | N 6, 82; | N 335, 90; |
| N 304, 57; | N 306, 78; | N 74, 63; | N 279, 75; | N 337, 82; | N 286, 76; |
| N 214, 84; | N 371, 77; | N 330, 79; | N 285, 79; | N 5, 63; | N 341, 85; |
| N 128, 42; | N 331, 90; | N 82, 51; | N 75, 89; | N 180, 78; | N 173, 57; |
| N 302, 77; | N 37, 83; | N 354, 90; | N 356, 90; | N 353, 83; | N 270, 77; |
| N 5, 73; | N 322, 73; | N 75, 70; | N 70, 60; | N 142, 74; | N 95, 85; |
| N 326, 73; | N 326, 66; | N 91, 86; | N 284, 74; | N 0, 77; | N 303, 80; |
| N 229, 86; | N 287, 87; | N 75, 47; | N 15, 86; | N 4, 71; | N 355, 80; |
| N 323, 86; | N 279, 76; | N 80, 59; | N 169, 86; | N 349, 86; | N 301, 84; |
| N 237, 86; | N 313, 77; | N 197, 67; | N 174, 82; | N 94, 57; | N 191, 48; |
| N 230, 87; | N 240, 73; | N 182, 60; | N 293, 79; | N 348, 88; | N 238, 83; |
| N 97, 74; | N 311, 74; | N 332, 90; | N 109, 13; | N 357, 73; | N 94, 85; |
| N 346, 69; | N 313, 70; | N 1, 45; | N 139, 78; | N 123, 89; | N 97, 81; |
| N 288, 77; | N 21, 71; | N 65, 65; | N 280, 77; | N 340, 86; | N 154, 82; |
| N 132, 88; | N 330, 60; | N 287, 63; | N 168, 83; | N 37, 59; | N 128, 85; |
| N 137, 89; | N 297, 73; | N 100, 82; | N 178, 69; | N 324, 90; | N 344, 87; |
| N 156, 87; | N 0, 83; | N 68, 85; | N 278, 75; | N 340, 69; | N 249, 87; |
| N 321, 90; | N 157, 70; | N 151, 86; | N 298, 74; | N 291, 63; | N 340, 88; |
| N 235, 74; | N 141, 8; | N 130, 86; | N 182, 80; | N 270, 85; | N 103, 83; |
| N 312, 84; | N 341, 59; | N 232, 84; | N 277, 70; | N 295, 65; | N 330, 90; |
| N 58, 83; | N 156, 79; | N 124, 82; | N 277, 77; | N 335, 67; | N 247, 80; |
| N 301, 81; | N 36, 85; | N 65, 80; | N 141, 78; | N 299, 59; | N 314, 87; |
| N 231, 77; | N 82, 6; | N 110, 85; | N 270, 71; | N 356, 65; | N 49, 85; |
| N 234, 81; | N 86, 75; | N 159, 90; | N 216, 79; | N 36, 62; | N 81, 83; |
| N 327, 83; | N 11, 50; | N 221, 79; | N 345, 84; | N 316, 78; | N 139, 82; |
| N 55, 90; | N 322, 68; | N 152, 86; | N 280, 70; | N 318, 80; | N 34, 88; |
| N 322, 81; | N 156, 40; | N 358, 81; | N 80, 78; | N 90, 50; | N 103, 79; |
| N 236, 82; | N 10, 69; | N 226, 81; | N 140, 78; | N 320, 83; | N 84, 85; |
| N 24, 59; | N 319, 58; | N 5, 90; | N 174, 72; | N 96, 35; | N 127, 75; |
| N 303, 59; | N 74, 83; | N 229, 85; | N 70, 80; | N 353, 70; | N 88, 75; |
| N 22, 66; | N 12, 64; | N 198, 89; | N 177, 74; | N 96, 45; | N 276, 89; |
| N 39, 83; | N 290, 71; | N 43, 85; | N 137, 68; | N 330, 75; | N 320, 86; |
| N 9, 64; | N 51, 79; | N 18, 90; | N 290, 90; | N 121, 47; | N 304, 63; |
| N 333, 79; | N 289, 80; | N 47, 85; | N 337, 82; | N 331, 79; | N 187, 79; |
| N 346, 73; | N 1, 61; | N 3, 81; | N 281, 88; | N 276, 85; | N 102, 90; |
| N 279, 67; | N 85, 79; | N 287, 75; | N 341, 86; | N 97, 88; | N 280, 89; |
| N 11, 83; | N 103, 52; | N 289, 76; | N 321, 77; | N 225, 82; | N 297, 87; |
| N 350, 67; | N 20, 77; | N 139, 70; | N 4, 75; | N 146, 81; | N 192, 18; |
| N 272, 62; | N 96, 52; | N 286, 74; | N 141, 82; | N 135, 30; | N 122, 84; |
| N 235, 45; | N 354, 72; | N 351, 90; | N 16, 82; | N 328, 90; | N 56, 90; |
| N 13, 83; | N 299, 83; | N 141, 90; | N 276, 69; | N 333, 75; | N 315, 81; |
| N 186, 85; | N 56, 78; | N 5, 72; | N 7, 80; | N 287, 83; | N 281, 86; |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| N 125, 86; | N 128, 84; | N 5, 64; | N 195, 89; | N 342, 86; | N 55, 77; |
| N 103, 80; | N 62, 68; | N 293, 72; | N 352, 82; | N 349, 90; | N 140, 89; |
| N 236, 78; | N 55, 20; | N 350, 56; | N 204, 83; | N 308, 76; | N 176, 76; |
| N 318, 77; | N 17, 61; | N 138, 77; | N 345, 72; | N 352, 5; | N 106, 89; |
| N 305, 88; | N 240, 84; | N 100, 90; | N 106, 84; | N 349, 83; | N 143, 88; |
| N 168, 86; | N 1, 88; | N 144, 88; | N 214, 82; | N 86, 85; | N 287, 76; |
| N 218, 63; | N 49, 90; | N 242, 82; | N 137, 80; | N 141, 84; | N 316, 86; |
| N 304, 78; | N 90, 79; | N 154, 78; | N 320, 86; | N 49, 88; | N 288, 86; |
| N 8, 87; | N 38, 70; | N 25, 58; | N 329, 80; | N 86, 83; | N 277, 87; |
| N 293, 83; | N 109, 79; | N 170, 62; | N 310, 89; | N 118, 67; | N 153, 76; |
| N 13, 76; | N 14, 74; | N 15, 54; | N 332, 78; | N 331, 90; | N 45, 11; |
| N 15, 89; | N 282, 71; | N 198, 84; | N 62, 40; | N 106, 78; | N 137, 81; |
| N 255, 81; | N 177, 86; | N 79, 70; | N 257, 61; | N 356, 87; | N 263, 76; |
| N 310, 81; | N 117, 90; | N 300, 82; | N 331, 87; | N 121, 66; | N 149, 82; |
| N 19, 57; | N 8, 89; | N 357, 84; | N 20, 10; | N 41, 80; | N 185, 86; |
| N 184, 68; | N 236, 62; | N 320, 89; | N 300, 75; | N 120, 88; | N 20, 85; |
| N 320, 71; | N 33, 64; | N 337, 78; | N 200, 82; | N 357, 90; | N 349, 78; |
| N 238, 58; | N 26, 79; | N 188, 59; | N 288, 80; | N 308, 90; | N 101, 87; |
| N 204, 86; | N 12, 79; | N 41, 30; | N 331, 80; | N 132, 87; | N 5, 90; |
| N 229, 70; | N 96, 90; | N 329, 90; | N 112, 85; | N 146, 14; | N 85, 89; |
| N 90, 71; | N 358, 78; | N 291, 58; | N 212, 13; | N 131, 79; | N 138, 73; |
| N 31, 78; | N 299, 89; | N 184, 81; | N 140, 90; | N 102, 85; | N 193, 76; |
| N 299, 70; | N 355, 85; | N 358, 90; | N 118, 76; | N 339, 88; | N 90, 80; |
| N 12, 90; | N 323, 79; | N 240, 47; | N 205, 71; | N 177, 86; | N 197, 79; |
| N 29, 82; | N 9, 81; | N 290, 60; | N 149, 72; | N 129, 64; | N 111, 90; |
| N 301, 79; | N 291, 86; | N 73, 77; | N 199, 70; | N 184, 87; | N 339, 88; |
| N 9, 67; | N 27, 82; | N 274, 80; | N 195, 76; | N 155, 68; | N 292, 89; |
| N 232, 85; | N 359, 89; | N 345, 69; | N 107, 90; | N 302, 85; | N 170, 87; |
| N 245, 80; | N 68, 77; | N 357, 90; | N 144, 89; | N 123, 82; | N 304, 85; |
| N 150, 89; | N 39, 67; | N 189, 72; | N 202, 87; | N 190, 76; | N 13, 88; |
| N 181, 79; | N 113, 83; | N 125, 67; | N 111, 86; | N 126, 62; | N 104, 17; |
| N 77, 90; | N 314, 81; | N 232, 73; | N 102, 81; | N 162, 58; | N 147, 62; |
| N 285, 76; | N 90, 75; | N 290, 81; | N 327, 81; | N 313, 59; | N 105, 75; |
| N 126, 76; | N 128, 90; | N 357, 29; | N 15, 81; | N 321, 87; | N 111, 87; |
| N 2, 80; | N 311, 79; | N 259, 28; | N 148, 87; | N 320, 83; | N 292, 88; |
| N 103, 83; | N 217, 78; | N 351, 90; | N 314, 80; | N 333, 82; | N 107, 87; |
| N 61, 90; | N 307, 65; | N 311, 86; | N 108, 90; | N 176, 88; | N 109, 88; |
| N 107, 83; | N 21, 76; | N 53, 80; | N 320, 76; | N 284, 77; | N 334, 78; |
| N 200, 87; | N 305, 77; | N 133, 81; | N 1, 8; | N 313, 85; | N 117, 84; |
| N 291, 83; | N 314, 80; | N 321, 89; | N 21, 74; | N 328, 81; | N 303, 82; |
| N 22, 68; | N 27, 71; | N 249, 85; | N 42, 81; | N 94, 82; | N 104, 90; |
| N 290, 89; | N 201, 41; | N 310, 82; | N 114, 86; | N 90, 78; | N 298, 89; |
| N 16, 87; | N 294, 64; | N 29, 81; | N 23, 82; | N 319, 77; | N 221, 87; |
| N 220, 77; | N 286, 77; | N 63, 79; | N 335, 84; | N 9, 90; | N 337, 87; |
| N 118, 79; | N 190, 63; | N 120, 89; | N 327, 87; | N 301, 84; | N 282, 88; |
| N 221, 85; | N 283, 80; | N 260, 66; | N 340, 75; | N 240, 85; | N 311, 72; |
| N 127, 65; | N 336, 25; | N 28, 64; | N 82, 90; | N 312, 90; | N 323, 90; |
| N 270, 62; | N 59, 70; | N 0, 61; | N 265, 89; | N 97, 89; | N 46, 81; |
| N 322, 80; | N 274, 65; | N 212, 80; | N 136, 76; | N 297, 88; | N 205, 46; |
| N 320, 77; | N 41, 55; | N 112, 87; | N 120, 85; | N 350, 90; | N 130, 72; |
| N 283, 83; | N 346, 85; | N 284, 79; | N 213, 85; | N 111, 85; | N 212, 48; |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| N 327, 82; | N 302, 90; | N 29, 90; | N 20, 27; | | |
| N 104, 85; | N 277, 69; | N 124, 85; | N 129, 62; | | |
| N 112, 90; | N 342, 74; | N 60, 73; | N 196, 71; | | |
| N 355, 82; | N 38, 86; | N 207, 49; | N 75, 72; | | |
| N 326, 85; | N 169, 89; | N 301, 90; | N 227, 84; | | |
| N 351, 76; | N 245, 80; | N 66, 88; | N 121, 78; | | |
| N 109, 77; | N 70, 60; | N 164, 79; | N 348, 85; | | |
| N 330, 76; | N 157, 86; | N 295, 80; | | | |
| N 10, 80; | N 70, 50; | N 51, 87; | | | |
| N 6, 70; | N 114, 20; | N 27, 22; | | | |
| N 101, 90; | N 153, 82; | N 257, 86; | | | |
| N 239, 83; | N 246, 88; | N 209, 89; | | | |
| N 115, 23; | N 332, 90; | N 219, 71; | | | |
| N 353, 88; | N 50, 53; | N 106, 90; | | | |
| N 342, 69; | N 140, 83; | N 310, 87; | | | |
| N 62, 81; | N 28, 58; | N 273, 74; | | | |
| N 299, 81; | N 60, 78; | N 42, 90; | | | |
| N 311, 76; | N 61, 90; | N 285, 52; | | | |
| N 347, 90; | N 104, 81; | N 124, 54; | | | |
| N 91, 71; | N 46, 83; | N 154, 36; | | | |
| N 90, 72; | N 294, 70; | N 8, 62; | | | |
| N 156, 82; | N 347, 60; | N 270, 89; | | | |
| N 166, 71; | N 198, 60; | N 7, 45; | | | |
| N 69, 78; | N 244, 79; | N 54, 46; | | | |
| N 263, 79; | N 219, 81; | N 129, 89; | | | |
| N 145, 84; | N 101, 71; | N 255, 87; | | | |
| N 342, 81; | N 116, 65; | N 324, 90; | | | |
| N 227, 77; | N 220, 78; | N 214, 89; | | | |
| N 248, 40; | N 127, 71; | N 136, 70; | | | |
| N 44, 83; | N 68, 85; | N 35, 89; | | | |
| N 327, 70; | N 116, 83; | N 104, 42; | | | |
| N 31, 90; | N 325, 90; | N 110, 88; | | | |
| N 136, 66; | N 139, 78; | N 102, 80; | | | |
| N 139, 87; | N 23, 78; | N 306, 88; | | | |
| N 325, 73; | N 107, 86; | N 241, 45; | | | |
| N 35, 84; | N 47, 90; | N 305, 82; | | | |
| N 111, 78; | N 204, 79; | N 132, 78; | | | |
| N 118, 85; | N 107, 78; | N 224, 59; | | | |
| N 344, 59; | N 123, 70; | N 333, 57; | | | |
| N 105, 90; | N 16, 57; | N 117, 85; | | | |
| N 215, 63; | N 100, 85; | N 214, 63; | | | |
| N 124, 79; | N 109, 76; | N 28, 23; | | | |
| N 173, 82; | N 202, 64; | N 312, 85; | | | |
| N 210, 59; | N 126, 82; | N 138, 68; | | | |
| N 273, 89; | N 322, 75; | N 128, 72; | | | |
| N 139, 74; | N 255, 73; | N 324, 75; | | | |
| N 213, 50; | N 88, 85; | N 219, 68; | | | |

| Avaliação dos Recursos Hídricos Subterrâneos e definição de Perímetros de Protecção para as captações de Ermida (Vilar da Veiga) 02/08/2003 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| CAPTAÇÃO | Caudal | Temperatura | pH | Condutividade | Mineralização total |
| **C1** | | | | | |
| **C2** | 0.121 (l/s) | 17.0ºC | 5.26 | 11 (µS) | 5 (ppm) |
| **C3** | | | | | |
| **C4** | 0.224 (l/s) | 22.4ºC | 6.05 | 16 (µS) | 6 (ppm) |
| **C5** | 0.0187 (l/s) | 18.1ºC | 5.39 | 20 (µS) | 8 (ppm) |
| **C6** | 0.0571 (l/s) | 16.1ºC | 5.76 | 31 (µS) | 15 (ppm) |

| Avaliação dos Recursos Hídricos Subterrâneos e definição de Perímetros de Protecção para as captações de Ermida (Vilar da Veiga) 10/09/2003 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| CAPTAÇÃO | Caudal | Temperatura | PH | Condutividade | Mineralização total |
| **C1** | | | | | |
| **C2** | 0.128 (l/s) | 15.9º C | 5.32 | 11 (µS) | 6 (ppm) |
| **C3** | | | | | |
| **C4** | 0.294 (l/s) | 18.6º C | 5.90 | 14 (µS) | 7 (ppm) |
| **C5** | 0.0163 (l/s) | 21.2º C | 5.42 | 19 (µS) | 8 (ppm) |
| **C6** | 0.0383 (l/s) | 17.6º C | 5.89 | 32 (µS) | 17 (ppm) |

| Avaliação dos Recursos Hídricos Subterrâneos e definição de Perímetros de Protecção para as captações de Ermida (Vilar da Veiga) 15/10/2003 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| CAPTAÇÃO | Caudal | Temperatura | PH | Condutividade | Mineralização total |
| **C1** | | | | | |
| **C2** | 0.412 (l/s) | 13.1º C | 5.49 | 11 (µS) | 6 (ppm) |
| **C3** | | | | | |
| **C4** | 0.389 (l/s) | 14.4º C | 5.71 | 15 (µS) | 7 (ppm) |
| **C5** | 0.0188 (l/s) | 14.9º C | 5.51 | 19 (µS) | 10 (ppm) |
| **C6** | 0.0975 (l/s) | 15.5º C | 5.91 | 30 (µS) | 14 (ppm) |

| Avaliação dos Recursos Hídricos Subterrâneos e definição de Perímetros de Protecção para as captações de Ermida (Vilar da Veiga) 26/11/2003 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| CAPTAÇÃO | Caudal | Temperatura | PH | Condutividade | Mineralização total |
| **C1** | | | | | |
| **C2** | 0.782 (l/s) | 11.9º C | 5.37 | 10 (µS) | 5 (ppm) |
| **C3** | | | | | |
| **C4** | 0.124 (l/s) | 11.7º C | 5.73 | 13 (µS) | 7 (ppm) |
| **C5** | 0.0383 (l/s) | 12.7º C | 5.84 | 24 (µS) | 11 (ppm) |
| **C6** | 0.385 (l/s) | 13.2º C | 6.21 | 35 (µS) | 16 (ppm) |

| Avaliação dos Recursos Hídricos Subterrâneos e definição de Perímetros de Protecção para as captações de Ermida (Vilar da Veiga) 30/12/2003 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| CAPTAÇÃO | Caudal | Temperatura | PH | Condutividade | Mineralização total |
| **C1** | | | | | |
| **C2** | 1.26 (l/s) | 11.9° C | 5.94 | 11 (µS) | 5 (ppm) |
| **C3** | | | | | |
| **C4** | 0.214 (l/s) | 14.0° C | 6.13 | 13 (µS) | 6 (ppm) |
| **C5** | 0.0398 (l/s) | 14.3° C | 6.19 | 16 (µS) | 7 (ppm) |
| **C6** | 0.275 (l/s) | 14.5° C | 5.91 | 34 (µS) | 12 (ppm) |

| Avaliação dos Recursos Hídricos Subterrâneos e definição de Perímetros de Protecção para as captações de Ermida (Vilar da Veiga) 25/01/2004 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| CAPTAÇÃO | Caudal | Temperatura | PH | Condutividade | Mineralização total |
| **C1** | | | | | |
| **C2** | 0.745 (l/s) | 11.1º C | 5.75 | 10 (µS) | 4 (ppm) |
| **C3** | | | | | |
| **C4** | 0.114 (l/s) | 12.0º C | 6.83 | 13 (µS) | 6 (ppm) |
| **C5** | 0.0399 (l/s) | 13.7º C | 6.70 | 20 (µS) | 10 (ppm) |
| **C6** | 0.237 (l/s) | 13.5º C | 6.18 | 37 (µS) | 15 (ppm) |

| Avaliação dos Recursos Hídricos Subterrâneos e definição de Perímetros de Protecção para as captações de Ermida (Vilar da Veiga) 19/02/2004 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| CAPTAÇÃO | Caudal | Temperatura | PH | Condutividade | Mineralização total |
| **C1** | | | | | |
| **C2** | 0.220 (l/s) | 10.7º C | 6.51 | 28 (µS) | 12 (ppm) |
| **C3** | | | | | |
| **C4** | 0.106 (l/s) | 11.7º C | 6.97 | 14 (µS) | 8 (ppm) |
| **C5** | 0.0307 (l/s) | 13.8º C | 6.74 | 32 (µS) | 25 (ppm) |
| **C6** | 0.156 (l/s) | 13.2º C | 6.02 | 42 (µS) | 18 (ppm) |

| Avaliação dos Recursos Hídricos Subterrâneos e definição de Perímetros de Protecção para as captações de Ermida (Vilar da Veiga) 17/03/2004 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| CAPTAÇÃO | Caudal | Temperatura | PH | Condutividade | Mineralização total |
| **C1** | | | | | |
| **C2** | 0.316 (l/s) | 13.2º C | 6.61 | 12 (µS) | 7 (ppm) |
| **C3** | | | | | |
| **C4** | 0.145 (l/s) | 14.2º C | 6.93 | 11 (µS) | 6 (ppm) |
| **C5** | 0.0285 (l/s) | 15.2º C | 6.13 | 17 (µS) | 9 (ppm) |
| **C6** | 0.0946 (l/s) | 14.0º C | 7.07 | 18 (µS) | 11 (ppm) |

| Avaliação dos Recursos Hídricos Subterrâneos e definição de Perímetros de Protecção para as captações de Ermida (Vilar da Veiga) 24/04/2004 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| CAPTAÇÃO | Caudal | Temperatura | PH | Condutividade | Mineralização total |
| **C1** | | | | | |
| **C2** | 0.273 (l/s) | 12.1° C | 5.65 | 17 (µS) | 7 (ppm) |
| **C3** | | | | | |
| **C4** | 0.182 (l/s) | 14.1° C | 6.49 | 108 (µS) | 57 (ppm) |
| **C5** | 0.0364 (l/s) | 15.9° C | 5.59 | 352 (µS) | 119 (ppm) |
| **C6** | 0.119 (l/s) | 15.2° C | 5.89 | 154 (µS) | 86 (ppm) |

| Avaliação dos Recursos Hídricos Subterrâneos e definição de Perímetros de Protecção para as captações de Ermida (Vilar da Veiga) 30/05/2004 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| CAPTAÇÃO | Caudal | Temperatura | pH | Condutividade | Mineralização Total |
| **C1** | | | | | |
| **C2** | 0.195 (l/s) | 16.2º C | 5.54 | 22 (µS) | 13 (ppm) |
| **C3** | | | | | |
| **C4** | 0.108 (l/s) | 18.8º C | 6.00 | 27 (µS) | 19 (ppm) |
| **C5** | 0.0295 (l/s) | 17.8º C | 5.63 | 52 (µS) | 25 (ppm) |
| **C6** | 0.0431 (l/s) | 15.9º C | 5.82 | 78 (µS) | 47 (ppm) |

| Avaliação dos Recursos Hídricos Subterrâneos e definição de Perímetros de Protecção para as captações de Ermida (Vilar da Veiga) | | | | | 16/06/2004 |
|---|---|---|---|---|---|
| CAPTAÇÃO | Caudal | Temperatura | pH | Condutividade | Mineralização Total |
| **C1** | | | | | |
| **C2** | 0.132 (l/s) | 15.9º C | 5.66 | 23 (µS) | 13 (ppm) |
| **C3** | | | | | |
| **C4** | 0.0852 (l/s) | 18.3º C | 6.17 | 29 (µS) | 15 (ppm) |
| **C5** | 0.0272 (l/s) | 17.6º C | 5.66 | 43 (µS) | 20 (ppm) |
| **C6** | 0.118 (l/s) | 16.2º C | 5.98 | 358 (µS) | 186 (ppm) |

| Avaliação dos Recursos Hídricos Subterrâneos e definição de Perímetros de Protecção para as captações de Ermida (Vilar da Veiga) 14/07/2004 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| CAPTAÇÃO | Caudal | Temperatura | pH | Condutividade | Mineralização Total |
| **C1** | | | | | |
| **C2** | 0.107 (l/s) | 16.5º C | 5.54 | 23 (µS) | 12 (ppm) |
| **C3** | | | | | |
| **C4** | 0.0501 (l/s) | 19.4º C | 6.09 | 27 (µS) | 16 (ppm) |
| **C5** | 0.0233 (l/s) | 19.3º C | 5.61 | 26 (µS) | 13 (ppm) |
| **C6** | 0.0984 (l/s) | 18.9º C | 6.20 | 213 (µS) | 96 (ppm) |