



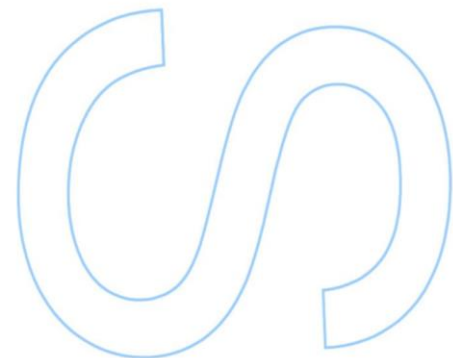
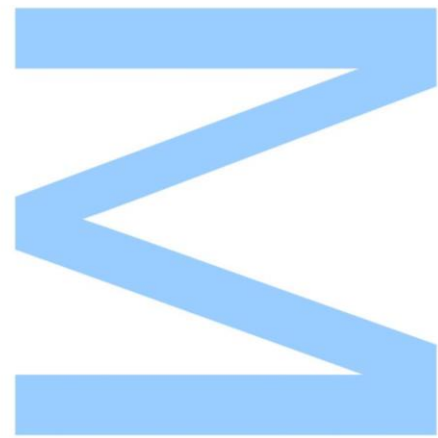
METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE À POLUIÇÃO E DEFINIÇÃO DE PERÍMETROS DE PROTEÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS EM VIQUEQUE – TIMOR-LESTE

Alice Pinto

Mestrado em Ciências e Tecnologia do Ambiente
Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento de território
2016

Orientador

António José Guerner Dias, Professor Auxiliar
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto



Todas as correções determinadas pelo júri, e só essas, foram efetuadas.

O Presidente do Júri,

Porto, ____/____/____

3

5

6

DEDICATÓRIA

Aos meus pais: Regina Pinto e Armando Pinto (falecido)

Aos meus irmãos

A minha família

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus, por minha vida, por todos os desafios e as soluções fornecidas, por todos os momentos maravilhosos e felizes que tenho na minha vida.

A minha sincera gratidão e apreciação ao meu orientador Prof. Dr. António José Guerner Dias, pela sua disponibilidade e total apoio no desenvolvimento de análise para a melhor elaboração deste trabalho.

Ao senado da Faculdade de Educação, Artes e Humanidades e à Universidade Nacional Timor Loro Sa'e, pela bolsa de estudo, oportunidade e o privilégio para frequentar este mestrado que contribui para enriquecer a minha formação académica e o melhoramento da minha formação profissional.

Ao coordenador da bolsa de estudo para os timorenses, à Pró-Reitora para os Assuntos da Cooperação, agradeço pela Vossa cooperação, assistência e acompanhamento ao longo do meu percurso académico.

Ao Sr. Joaquim Soares Fernandes, Administrador do Posto Administrativo Uato-Carbau; ao Sr. Marçal dos Santos de Carvalho, Chefe do Suco de Irabin de Baixo; ao Sr. Bernardo da Silva Neto, Chefe do Suco de Uani-Uma; à Sra. Joana da Fonseca Pinto, Chefe do Suco de Afaloicai e a todos os habitantes destes locais, que tem sido capazes de fornecer os dados essenciais exigidos para a elaboração deste trabalho.

Ao Félix Pinto, pessoal da Agricultura de Uato-Carbau, ao Marito Amaral, pessoal do Serviço de Água e Saneamento de Uato-Carbau e ao Higinio de Sousa Amaral, que tem ajudado no fornecimento das informações necessárias e as fotografias tiradas no local de estudo para completar este trabalho.

À madre superiora e vice superiora do Instituto Filhas da Caridade Canossianas do Porto e a todos às irmãs nesta comunidade, por me terem recebido a viver na vossa residência. Agradeço também pela hospitalidade, amizade e fraternidade e, acima de tudo, agradeço por apoiar a minha saúde e segurança durante a minha permanência no Porto – Portugal.

Por último, dirijo um agradecimento especial a minha família e aos meus pais, por todo o amor, carinho, dedicação e apoio incondicional para ultrapassar os obstáculos que surgem ao longo deste caminho. Em particular, ao meu falecido pai, sinto muito a sua falta. Que Deus lhe dê um lugar de descanso eterno no céu. Amo eternamente muito vocês e a vocês dedico este trabalho.

ÍNDICE

| | |
|---|-------------|
| DEDICATÓRIA | iii |
| ÍNDICE DE FIGURAS | vii |
| ÍNDICE DE TABELAS | ix |
| RESUMO..... | xii |
| ABSTRACT..... | xiii |
| CAPÍTULO I. INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1. Enquadramento geral..... | 2 |
| 1.2. Objetivo do estudo..... | 3 |
| 1.2.1. Geral | 3 |
| 1.2.2. Específico..... | 3 |
| 1.3. Estrutura do Trabalho | 3 |
| CAPÍTULO II. MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE À POLUIÇÃO E PROTEÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS..... | 5 |
| 2.1. Vulnerabilidade dos recursos hídricos subterrâneos à poluição | 6 |
| 2.2. Metodologias para Quantificação da Vulnerabilidade dos Recursos Hídricos Subterrâneos..... | 8 |
| 2.2.1. Índice DRASTIC..... | 8 |
| 2.2.2. Método SINTACS | 13 |
| 2.2.3. O Índice GOD | 14 |
| 2.2.4. Índice AVI (<i>Aquifer Vulnerability Index</i> /Índice de Vulnerabilidade do Aquífero)..... | 16 |
| 2.3. Perímetros de Proteção das Águas Subterrâneas..... | 17 |
| 2.3.1. Zonas de Proteção de Captações de Água Subterrânea..... | 18 |
| 2.3.2. Critérios dos Perímetros de Proteção de Captações dos Recursos Hídricos Subterrâneos | 21 |
| 2.3.3. Métodos de delimitação dos perímetros de proteção de captações dos recursos hídricos subterrâneos | 24 |
| CAPÍTULO III. CASO DE ESTUDO: VULNERABILIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS À POLUIÇÃO EM UATO-CARBAU, MUNICÍPIO DE VIQUEQUE, TIMOR-LESTE ... | 31 |

| | |
|---|-----------|
| 3.1. Localização geográfica e divisão administrativa do território de Timor-Leste..... | 32 |
| 3.1.1. Localização geográfica e divisão administrativa do local de estudo... 32 | |
| 3.2. Características biogeográficas | 35 |
| 3.2.1. Geologia de Timor-Leste | 35 |
| 3.2.2. Solos | 39 |
| 3.2.3. Clima..... | 40 |
| 3.2.4. Topografia | 42 |
| 3.2.5. Uso do solo | 43 |
| 3.3. Recursos hídricos subterrâneos..... | 44 |
| 3.3.1. A captação de água subterrânea em Uato-Carbau..... | 46 |
| 3.3.2. Vulnerabilidade das captações de água subterrânea | 47 |
| 3.3.3. Avaliação da vulnerabilidade dos recursos hídricos subterrâneos em Uato-Carbau | 48 |
| CAPÍTULO IV. PERÍMETROS DE PROTEÇÃO PARA APLICAR A CAPTAÇÕES DE ÁGUA SUBTERRÂNEA EM UATO-CARBAU. 62 | |
| 4.1. Enquadramento Legislativo..... | 63 |
| 4.1.1. Lei de Base do Ambiente (Decreto-Lei Nº 26/2012) | 63 |
| 4.1.2. Programa do V Governo Constitucional Legislatura 2012-2017..... | 64 |
| 4.2. Enquadramento Legislativo adaptado da Legislação Portuguesa | 65 |
| 4.3. Definição dos perímetros de proteção de captações de água subterrânea em Uato-Carbau – Timor-Leste | 68 |
| CAPÍTULO V. ANÁLISE SWOT SOBRE A IMPORTÂNCIA DE DEFINIÇÃO DOS PERÍMETROS DE PROTEÇÃO DA CAPTAÇÃO DOS AQUÍFEROS EM UATO-CARBAU – TIMOR-LESTE..... | 71 |
| CAPÍTULO VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 75 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 78 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|-----------|
| Figura 1 – Forma esquemática de representação dos sete parâmetros do índice DRASTIC | 9 |
| Figura 2 – Sequência de passos usados no método GOD para avaliação da vulnerabilidade do aquífero à contaminação | 15 |
| Figura 3 – Conceito de áreas de proteção de captação subterrânea e as restrições ao uso do solo | 18 |
| Figura 4 – Esquema das zonas de captura de água subterrânea e dos perímetros do tempo de trânsito ao redor de um poço | 19 |
| Figura 5 – Zona de captura e zona influência de um poço de produção | 20 |
| Figura 6 – Zonas de proteção de captações de águas subterrâneas | 22 |
| Figura 7 – Delimitação do perímetro de proteção utilizando o método do raio fixo calculado | 26 |
| Figura 8 – Definição do perímetro de proteção utilizado a equação de fluxo uniforme | 28 |
| Figura 9 – Tipo de zona de proteção intermédia em condições extremas de gradiente hidráulico | 28 |
| Figura 10 – Mapa de Timor-Leste | 32 |
| Figura 11 – Fotografia aérea do suco Irabin de Baixo | 33 |
| Figura 12 – Fotografia aérea do suco Uani-Uma | 34 |
| Figura 13 – Fotografia aérea do suco Afaloicai | 35 |
| Figura 14 – Tectónica do território de Timor-Leste | 36 |
| Figura 15 – Sequências de rochas existentes em Timor | 37 |
| Figura 16 – Carta geológica simplificada de Timor-Leste | 38 |
| Figura 17 – Mapa do tipo do solo do território nacional de Timor-Leste, refletindo a geologia regional de Timor-Leste | 39 |
| Figura 18 – Variação da temperatura média anual em Timor-Leste | 41 |
| Figura 19 – Temperatura média anual na região em Uato-Carbau | 41 |
| Figura 20 – Topografia de Timor-Leste | 43 |
| Figura 21 – Áreas de cultivo de arroz em Timor-Leste | 44 |
| Figura 22 – Mapa simplificado dos sistemas hidrogeológicos do território de Timor-Leste..... | 45 |
| Figura 23 – Captação de água em furo com uma bomba elétrica instalada | 46 |
| Figura 24 – Captação de água em furo com uma bomba manual instalada | 46 |
| Figura 25 – Captação de água em poço | 47 |

| | |
|---|-----------|
| Figura 26 – Poços em Irabin de Baixo, onde se observa o nível freático, relativamente próximo da superfície do terreno | 49 |
| Figura 27 – Poço em Uani-Uma onde se observa o nível freático, relativamente profundo (13m) | 49 |
| Figura 28 – Precipitação Anual do suco Irabin de Baixo, Uani-Uma e Afaloicai . | 52 |
| Figura 29 – Carta geológica do local em estudo | 53 |
| Figura 30 – Rede de perfis do suco Irabin de Baixo | 55 |
| Figura 31 – Rede de perfis do suco Uani-Uma | 55 |
| Figura 32 – Rede de perfis do suco Afaloicai | 56 |
| Figura 33 – Esquema Ilustrativo da análise SWOT | 72 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Os sete parâmetros do índice DRASTIC | 10 |
| Tabela 2 – O valor do índice e as classes de vulnerabilidade DRASTIC. | 11 |
| Tabela 3 – Peso de cada parâmetro no índice DRASTIC para pesticida | 12 |
| Tabela 4 – O índice e as classes de vulnerabilidade do DRASTIC para pesticida. | 12 |
| Tabela 5 – Classe de vulnerabilidade do índice SINTACS. | 14 |
| Tabela 6 – Peso multiplicador para o variável SINTACS..... | 14 |
| Tabela 7 – Classes de vulnerabilidade do aquífero segundo o método GOD. | 16 |
| Tabela 8 – Classes de vulnerabilidade do aquífero pelo método AVI. | 17 |
| Tabela 9 – A profundidade do nível freático medida em poços e num furo em Irabin de Baixo | 49 |
| Tabela 10 – A profundidade do nível freático medida em poços em Uani-Uma. . | 50 |
| Tabela 11 – A profundidade do nível freático medida em poços em Afaloicai | 51 |
| Tabela 12 – Valor do parâmetro "profundidade de água (D)" para os locais de estudo, de acordo com as tabelas do Índice DRASTIC | 51 |
| Tabela 13 – Valor do parâmetro "recarga (R)" para os locais de estudo, de acordo com as tabelas do Índice DRASTIC | 52 |
| Tabela 14 – Valor do parâmetro "material do aquífero (A)" para os locais de estudo de acordo com as tabelas do índice DRASTIC | 53 |
| Tabela 15 – Valor do parâmetro "tipo do solo (S)" para os locais de estudo, de acordo com as tabelas do índice DRASTIC | 54 |
| Tabela 16 – Perfis de orientação Norte-Sul (N-S) do suco Irabin de Baixo | 56 |
| Tabela 17 – Perfis de orientação Este-Oeste (E-W) do suco Irabin de Baixo | 57 |
| Tabela 18 – Perfis de orientação Norte-Sul (N-S) do suco Uani-Uma. | 57 |
| Tabela 19 – Perfis de orientação Este-Oeste (E-W) do suco Uani-Uma. | 57 |
| Tabela 20 – Perfis de orientação Norte-Sul (N-S) do suco Afaloicai. | 58 |
| Tabela 21 – Perfis de orientação Este-Oeste (E-W) do suco Afaloicai..... | 58 |
| Tabela 22 – Valor do parâmetro "topografia (T)" para os locais de estudo, de acordo com as tabelas do índice DRASTIC..... | 59 |
| Tabela 23 – Valor do parâmetro "impacto da zona não saturada (I)" para os locais de estudo, de acordo com as tabelas do índice DRASTIC.. | 59 |
| Tabela 24 – Condutividade hidráulica (K) para diferentes meios aquíferos, de acordo com bibliografia da especialidade | 60 |

| | |
|---|-----------|
| Tabela 25 – Valor do parâmetro "condutividade hidráulica (C)" para os locais de estudo, de acordo com as tabelas do índice DRASTIC. | 60 |
| Tabela 26 – O índice de Vulnerabilidade e a Classe de Vulnerabilidade à poluição do local de estudo | 61 |
| Tabela 27 – Atividades proibidas e interditas em cada uma das zonas de proteção definidas no Decreto-Lei Nº 382/99 | 66 |
| Tabela 28 – Valor fixo de r, para as diferentes zonas de proteção de água subterrânea, em concordância com o tipo do aquífero (Decreto-Lei Nº 382/99 da Legislação Portuguesa) | 67 |
| Tabela 29 – Valores de porosidade eficaz (Decreto-Lei nº 382/1999)..... | 68 |
| Tabela 30 – Definição dos perímetros de proteção dos aquíferos em Uato-Carbau | 69 |
| Tabela 31 – Análise SWOT sobre a importância de definição dos perímetros de proteção dos recursos hídricos subterrâneos em Timor-Leste | 73 |

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

| | |
|----------------|---|
| A | Tipo de material do aquífero |
| AFR | Raio Fixo Arbitrário |
| AIP-FCE | Associação Industrial Portuguesa-Ferias, Congressos e Eventos |
| AM | Métodos Analíticos |
| AVI | <i>Aquifer Vulnerability Index</i> Índice de Vulnerabilidade do Aquífero |
| C | Condutividade Hidráulica |
| CFR | Raio Fixo Calculado |
| D | Profundidade do nível freático da água subterrânea |
| DMG | Declive Médio Global |
| dMPEW | declive médio dos perfis Este – Oeste |
| dMPNS | declive médio dos perfis Norte – Sul |
| EPA | Agência de Proteção Ambiental / <i>Environmental Protection Agency</i> |
| H | Espessura saturada |
| I | Impacto da zona não saturada |
| IPG | Instituto do Petróleo e Geologia |
| IW | Índice WRASTIC |
| LNEC | Laboratório Nacional de Engenharia Civil |
| NDS | National Statistics Directorate |
| NF | Nível Freático |
| NM | Métodos Numéricos |
| ONG | Organizações não-governamentais |
| P | Precipitação Média Anual |
| R | Recarga do aquífero |
| r | raio |
| S | Tipo de solo |
| SIG | Sistema Informação Geográfica |
| T | Topografia |
| t | tempo necessário para um poluente atingir a captação |
| TT | Tempo de Trânsito |
| UNESCO | <i>United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization</i> |
| UNFPA | United Nations Population Fund |
| US-EPA | Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos |
| USSG | <i>United States Geological Survey</i> |

RESUMO

Os principais problemas, que estão na origem do declínio da qualidade da água subterrânea em Timor-Leste, estão associados a problemas oriundos de variadas fontes, das quais se destacam as mudanças climáticas e as fontes de poluição relacionadas com as atividades antrópicas. Esses problemas requerem acompanhamento e investigação sobre, em particular, a vulnerabilidade à poluição dos reservatórios de água subterrânea, exigindo a definição de estratégias de proteção, entre as quais o quadro legal sobre perímetros de proteção às captações de água subterrânea é uma das soluções mais eficientes.

Assim, o presente trabalho tem como objetivo principal contribuir para desenvolver uma metodologia de avaliação da vulnerabilidade dos recursos hídricos subterrâneos à poluição, propondo mecanismos de proteção adequados para que seja possível preservar este recurso com uma boa qualidade para consumo humano.

O trabalho foi desenvolvido, começando por um intenso estudo bibliográfico, não só de referências portuguesas mas também internacionais, ao qual se seguiu a aplicação da metodologia DRASTIC, para avaliar a vulnerabilidade dos recursos hídricos subterrâneos à poluição, a um caso de estudo na região Uato-Carbau em Timor-Leste. Os dados foram obtidos através de pesquisa bibliográfica, trabalho na WEB, com a utilização do *Google Earth* para cálculo do declive médio dos terrenos e trabalho de campo para obtenção de parâmetros essenciais das captações para os cálculos pretendidos. Os resultados do índice DRASTIC mostram quais são, para as áreas estudadas, aquelas que apresentam maior vulnerabilidade à poluição (Irabin de Baixo e Uani-Uma), consequência das suas características hidrogeológicas e, também, aquela que apresenta menor vulnerabilidade (Afaloicai), igualmente devido às suas características hidrogeológicas.

Após a determinação da vulnerabilidade, passou-se à definição dos perímetros de proteção dos aquíferos/captações, o que foi feito de acordo com a metodologia do raio fixo calculado e do raio fixo arbitrário adaptado da legislação portuguesa, concretamente do Decreto-Lei nº 382/99 de 22 de Setembro. Os resultados do raio fixo calculado indicam que o raio calculado, para a zona de proteção intermédia e para a alargada, são de valor inferior ao do raio fixo arbitrário e, assim, adaptamos o maior valor como perímetro de proteção para as captações em Uato-Carbau, Timor-Leste.

PALAVRAS-CHAVE: recursos hídricos subterrâneos, vulnerabilidade à poluição, DRASTIC, perímetros de proteção, raio fixo.

ABSTRACT

The main problems, which are at the origin of the groundwater quality decline, are associated with problems arising from various sources, including most importantly are climate change and pollution sources related to anthropogenic activities. These problems require monitoring and research on, in particular, vulnerability to pollution of groundwater reservoirs, requiring the definition of protection strategies, including the legal framework on protection perimeters to groundwater capture is one of the most efficient solutions.

The present work aims to contribute to developing the methodology for evaluation the vulnerability of groundwater resources to pollution, proposing adequate protection mechanisms in order to be able preserve this resource with a good quality for human consumption. The data was obtained through bibliographic research, work on WEB, by using *Google Earth* to calculate the average slope of the land and field work to obtain essential parameters of groundwater capture, for desired calculation. The results of the DRASTIC index show which are, for the studied areas, those that are more vulnerable to pollution (Irabin de Baixo and Uani-Uma), a consequence of their hydrogeological characteristics and also the one that has less vulnerability (Afaloicai), also due to its hydrogeological characteristics.

After determining the vulnerability, passed to the definition of protection perimeters of aquifers / groundwater capture, which was made according to the methodology of the calculated fixed radius and adapted arbitrary fixed radius of the Portuguese legislation, concretely the Decree-Law nº 382 / 99 of 22 September. The results indicate that the calculated fixed radius of the radius calculated for the intermediate buffer zone and the enlarged zone are of lower value than the arbitrary fixed radius and, thus, adapted the highest value as a protection perimeter for the groundwater capture in Uato- Carbau, Timor-Leste.

KEYWORDS: underground water resources, vulnerability to pollution, DRASTIC, protection perimeters, fixed radius.

CAPÍTULO I. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento geral

A água é um bem essencial à vida e o recurso mais precioso da Terra. Sem ela a vida não seria possível, porque todos os seres vivos precisam dela para viver. É uma substância abundante na Terra, cobrindo cerca de dois terços da superfície do planeta. Mas, de toda a água existente, apenas um ínfima fração é constituída por água doce, menos de 3%. A maior parte desta água doce não é acessível ao homem, pois encontra-se no estado sólido, formando grandes blocos de gelo na Antártida e na Gronelândia. Assim, o homem, em seu proveito, apenas usa a água superficial dos rios e lagos e a água subterrânea presente nos aquíferos (Shiklomanov *in* Gleick, 1993).

Apenas uma pequena percentagem do total de água no planeta está disponível para os seres humanos como água doce e, desta, mais de 98% é água subterrânea, valor que excede em muito o volume da água doce superficial (Fetter, 2001).

Grande parte da reserva de água doce do nosso planeta não se encontra em boas condições de potabilidade. As águas subterrâneas, na maioria das vezes provenientes de poços, geralmente são menos contaminadas por fatores biológicos e químicos do que os reservatórios superficiais, pois não ficam expostas aos diversos agentes poluentes e, ao mesmo tempo, o solo apresenta uma boa capacidade depuradora para a degradação natural dos poluentes antes destes chegarem ao local de armazenamento da água.

A água de boa qualidade desempenha um conjunto de funções primordiais para as populações Timor-Leste, principalmente para os que vivem nas áreas rurais. A sociedade tradicional timorense utiliza a água com interesse espiritual, religioso e cultural, principalmente nas fontes sagradas de água; a água também é importante como suporte dos ecossistemas, para a alimentação e fornecimento de matérias-primas; a água é, ainda, muito importante para a produção de agricultura comercial e para as indústrias e serviços, para lá do seu uso como meio gerador de energia elétrica.

A qualidade da água subterrânea em Timor-Leste pode ser diminuída, tornando-a imprópria para o consumo humano, devido a problemas de fontes variadas, nomeadamente as mudanças climáticas e as fontes de poluição relacionadas com as atividades antrópicas.

Estes problemas exigem acompanhamento e investigação sobre a vulnerabilidade de água subterrânea à poluição, a fim de verificar se ela está em bom estado para o consumo humano. Para além disso, a manutenção da qualidade da água requer a definição de estratégias de proteção, de modo a proteger os recursos hídricos subterrâneos de uma forma mais eficiente.

Em Timor-Leste, a legislação que trata da proteção, prevenção da poluição e contaminação das águas superficiais e subterrâneas é constituída pelo Decreto-Lei nº 26/2012, de 4 de Julho de 2012, é a Lei de Bases do Ambiente, do IV Governo Constitucional da República Democrática de Timor-Leste. De acordo com o Decreto-Lei referido, estão previstos a proteção, a conservação e o uso sustentável das componentes ambientais, a prevenção da poluição e a contaminação dos recursos hídricos em Timor-Leste.

No entanto, o Governo de Timor-Leste ainda não desenvolveu os mecanismos para responder a essas questões. É obrigatório e urgente desenvolver os mecanismos de proteção, prevenção da poluição e contaminação dos recursos hídricos em Timor-Leste, baseando-se nas condições locais dos recursos hídricos, nas fontes da poluição e noutras condições que devem ser tidas em conta e que, possivelmente, ainda não estão identificadas, para proteção dos recursos hídricos subterrâneos em Timor-Leste.

1.2. Objetivo do estudo

1.2.1. Geral

O presente trabalho tem por objetivo principal contribuir para desenvolver uma metodologia de avaliação da vulnerabilidade à poluição dos recursos hídricos subterrâneos, baseada nas condições locais de Timor-Leste e nas suas fontes da poluição, de modo a propor as medidas de proteção adequadas para obter água de qualidade e em quantidade que permita suprir as necessidades do consumo humano atual, afim de garantir a disponibilidade dos recursos hídricos para a geração presente e a sua sustentabilidade para as futuras gerações de Timor-Leste.

1.2.2. Específico

Como objetivo específico, pretende-se aplicar a metodologia DRASTIC, para avaliar a vulnerabilidade dos recursos hídricos subterrâneas à poluição, na região de Uato-Carbau em Timor-Leste e, se possível, definir os perímetros de proteção dos aquíferos/captações, de acordo com a metodologia do raio fixo calculado e raio fixo arbitrário, adaptado da legislação portuguesa, concretamente do Decreto-Lei nº 382/99 de 22 de Setembro.

1.3. Estrutura do Trabalho

Estruturalmente, esta dissertação está dividida em seis capítulos. Neste primeiro capítulo, apresentamos uma reflexão geral sobre os problemas analisados e seguidos pela formulação dos objetivos a serem alcançados nesta investigação.

No segundo capítulo, descrevem-se métodos de avaliação da vulnerabilidade à poluição e de proteção das águas subterrâneas. Apresentamos os conceitos da vulnerabilidade à poluição e métodos, vulgarmente usados, para quantificação da vulnerabilidade dos recursos hídricos subterrâneos. Incluímos os critérios dos perímetros de proteção dos recursos hídricos subterrâneos, bem como os métodos de proteção desse mesmo recurso. Os conceitos desenvolvidos neste capítulo servirão como base teórica para os leitores desta dissertação e para o desenvolvimento posterior deste trabalho.

No terceiro capítulo, apresentamos um caso de estudo sobre a vulnerabilidade dos recursos hídricos subterrâneos à poluição. Trata-se da região de Uato-Carbau, do Município de Viqueque em Timor-Leste e apresentam-se os resultados de investigação acerca do nível e da classe de vulnerabilidade das águas subterrâneas nesta região.

No quarto capítulo descrevemos a legislação que trata da proteção dos recursos hídricos em Timor-Leste, adaptamos os mecanismos de proteção dos recursos hídricos subterrâneos da legislação Portuguesa ao caso timorense e procuramos definir o raio dos perímetros de proteção para as captações de água subterrânea destinada ao consumo humano em Uato-Carbau.

No quinto capítulo, aplicamos ainda uma análise SWOT para compreender a importância da proteção dos recursos hídricos subterrâneos com o objetivo de reforçar os pontos fortes, avaliar as fraquezas, identificar as oportunidades e reduzir as potenciais ameaças.

No último capítulo, expomos as conclusões obtidas nesta investigação e verificamos se os objetivos, definidos inicialmente, foram atingidos. Encerramos com algumas sugestões para futuras investigações.

CAPÍTULO II. MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE À POLUIÇÃO E PROTEÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

2.1. Vulnerabilidade dos recursos hídricos subterrâneos à poluição

Segundo Lobo Ferreira e Cabral (1991) *in* Lobo Ferreira *et al.*, 2009, o conceito de vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas foi definido, em Portugal, de acordo com as conclusões da conferência internacional sobre "*Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutants*", realizada em 1987 (Duijvenbooden and Waegeningh (Ed.), 1987), como:

"a sensibilidade da qualidade das águas subterrâneas a uma carga poluente, função apenas das características intrínsecas do aquífero".

A vulnerabilidade do aquífero à contaminação é definida como o conjunto de características intrínsecas dos estratos que separam o aquífero saturado da superfície do solo, o que determina a sua suscetibilidade a registar os efeitos adversos de uma carga contaminante colocada na superfície (Foster, 1987 *in* Foster *et al.*, 2006).

A vulnerabilidade das águas subterrâneas à poluição está intimamente ligada com o nível de eficiência dos processos de atenuação natural e constituição litológica das formações onde ocorre, ou poderá ocorrer, o fenómeno da poluição (Veríssimo, 2010).

A vulnerabilidade das águas subterrâneas é uma propriedade não medida diretamente, baseando-se na avaliação de diversos parâmetros que variam entre as regiões em função do ambiente físico que as caracteriza. Os principais parâmetros de vulnerabilidade estão associados com as configurações hidrológicas e geológicas, com as propriedades hidráulicas do sistema de águas subterrâneas, com o clima e com a topografia (UNESCO, 2015).

O conceito de vulnerabilidade do aquífero implica, essencialmente, dois conceitos próprios, os quais são: vulnerabilidade intrínseca e vulnerabilidade específica (Antonakos e Lambrakis, 2006).

A vulnerabilidade intrínseca pode ser definida como uma propriedade qualitativa relativa, considerando as características hidrogeológicas da área, mas independente do tipo e origem do contaminante (Vrba and Zaporozec, 1994 *in* Huneau *et al.*, 2013). Segundo Gogu e Dassargues (1999), é um termo usado para definir a vulnerabilidade das águas subterrâneas a contaminantes gerados por atividades humanas, tendo em conta as características geológicas, hidrológicas e hidrogeológicas inerentes a uma área, mas que é independente da natureza dos contaminantes.

Segundo Antonakos e Lambrakis (2006), a vulnerabilidade específica pode ser expressa como a probabilidade de um aquífero ser poluído por contaminantes que são

introduzidas na superfície do solo. Isto é determinado pela vulnerabilidade intrínseca do aquífero e pela carga de contaminante que é aplicada num ponto específico da bacia hidrológica, ou mesmo numa região em torno deste ponto. A carga de contaminante é determinada pela quantidade, pelas propriedades físico-químicas e pela forma como os vários contaminantes são libertados no meio ambiente.

Deve acrescentar-se que a vulnerabilidade é um conceito distinto do risco de poluição. Segundo Lobo Ferreira, *et al* (2009), o risco de poluição depende não só da vulnerabilidade mas também da existência de cargas poluentes consideráveis que consigam atingir o ambiente subterrâneo.

Em Timor-Leste, as áreas de maior risco de poluição das águas subterrâneas, são as áreas agricultadas que utilizam frequentemente fertilizantes. As áreas agricultadas são utilizadas para a produção, essencialmente, de arroz, café e milho.

Os principais Municípios produtores de arroz estão em Viqueque, Baucau, Bobonaro e Manatuto, representando cerca de 77% de produção total de arroz em Timor. Para além de arroz, existem áreas para cultivar café, principalmente nas zonas com temperatura mais baixa e morfologia mais declivosa. As principais áreas de produção de café são: Aileu, Ainaro, Bobonaro, Ermera, Liquiçá, e Manufahi, com o Município de Ermera a representar metade da produção total de café em Timor (AIP-FCE, 2013).

O conhecimento da vulnerabilidade, de um sistema aquífero à poluição, é muito importante para a utilização correta do solo em torno desse sistema aquífero. Se um aquífero apresentar um valor de vulnerabilidade a poluição muito alto, é necessário condicionar qualquer empreendimento que possa afetar esse aquífero e, em situações extremas, o aquífero pode ser considerado com um qualquer estatuto de proteção, para garantir uma melhor da qualidade da água subterrânea (LNEC, 2009).

O isolamento de uma área contaminada, para proteção dos recursos hídricos subterrâneos, manifesta particular preocupação, dada a dificuldade de eliminação dos poluentes e do elevado custo de financiamento da reabilitação daqueles recursos. Portanto, é necessário escolher as melhores técnicas e desenvolver as metodologias apropriadas, para se proceder à avaliação da vulnerabilidade à poluição do aquífero e calcular o risco de contaminação dos recursos hídricos subterrâneos, com vista à sua proteção de acordo com as decisões tomadas no âmbito do planeamento e gestão de âmbito legislativo (Ribeiro, 2005b *in* Veríssimo, 2010).

2.2. Metodologias para Quantificação da Vulnerabilidade dos Recursos Hídricos Subterrâneos

Para avaliar a vulnerabilidade à poluição de um aquífero, existem vários métodos propostos por diversos autores. Alguns desses métodos contemplam índices de vulnerabilidade formados por parâmetros hidrogeológicos, morfológicos e outras formas de parametrização das características dos aquíferos, de um modo bem definido (Lobo Ferreira, 1998).

A maioria dos métodos de avaliação da vulnerabilidade é de natureza empírica, o que permite interpretações, porém, o interesse em avaliar o nível de vulnerabilidade dos aquíferos decorre da necessidade de fornecer, às autoridades competentes, um instrumento útil à tomada de decisões em relação ao ordenamento territorial (Nascimento, 2013). Muitas vezes, a finalidade desta avaliação é a criação de uma carta temática da vulnerabilidade do local de estudo. O mapeamento da vulnerabilidade surge como uma ferramenta para avaliar a vulnerabilidade do aquífero e tem sido proposto como uma base para a proteção de zona e o planeamento do uso da terra (Huneau, *et al.*, 2013).

Apresentam-se, em seguida, as descrições de alguns métodos de avaliação da vulnerabilidade dos recursos hídricos subterrâneos, como base de referência para o desenvolvimento do método de quantificação da vulnerabilidade dos recursos hídricos subterrâneos em Timor-Leste.

2.2.1. Índice DRASTIC

Apoiado pela Agência de Proteção Ambiental (EPA) dos Estados Unidos, Aller e os coautores desenvolveram este método em 1987 (Gogu e Dessargues, 1999), denominado como índice DRASTIC, a partir dos seguintes pressupostos: a introdução do contaminante à superfície do terreno, o transporte vertical do contaminante até ao aquífero pela água de infiltração, a mobilidade do contaminante é igual à da água e a aplicação do método deve incidir numa área mínima de 0,4 km² (Lobo Ferreira, *et al.*, 2009).

Segundo Aller *et al.* (1987) o índice DRASTIC avalia os sete parâmetros ou indicadores hidrogeológicos seguintes:

D = *Depth* (profundidade do nível freático da água subterrânea);

R = *Recharge* (recarga do aquífero);

A = *Aquifer* (material do aquífero);

S = *Soil* (tipo de solo)

T = *Topography* (topografia);

I = *Impact* (impacto da zona não saturada);

C = *Hydraulic conductivity* (condutividade hidráulica).

Os sete parâmetros do índice DRASTIC podem ser esquematizados, tal como se ilustra na figura 1.

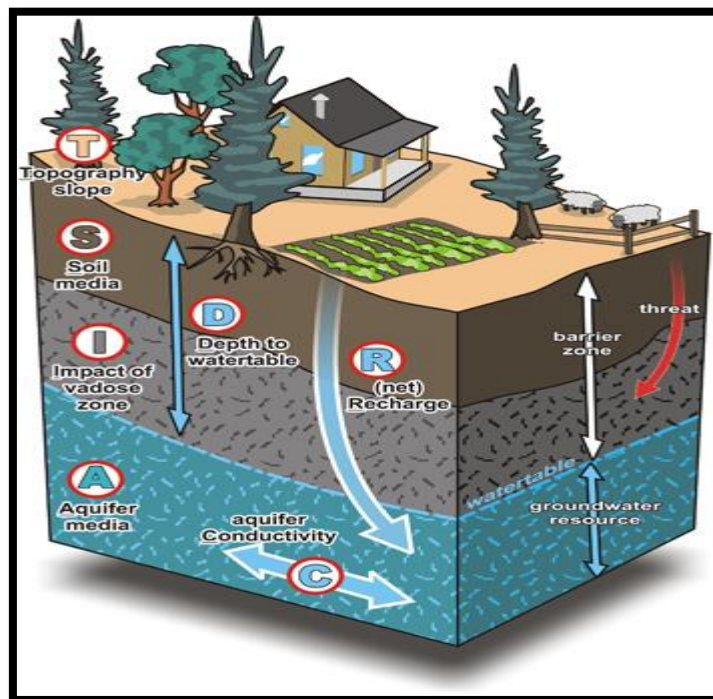


Figura 1 – Forma esquemática de representação dos sete parâmetros do índice DRASTIC

<http://frakturmedia.net/oswp/drastring/>

O índice DRASTIC é aplicado nos Estados Unidos e noutras regiões do mundo (Antonakos e Lambrakis, 2006) para a avaliação do potencial de poluição das águas subterrâneas. Cada parâmetro é classificado numa escala de 1-10, sendo atribuído um peso relativo de 5 para o parâmetro mais importante, no caso a profundidade do nível freático da água subterrânea, e 1 para o menos importante, no caso a topografia. Parâmetros com maior peso são considerados como mais importantes no condicionamento da vulnerabilidade das águas subterrâneas (Ibe, *et al.*, 1999).

O índice DRASTIC é composto pela soma dos produtos entre o peso de cada parâmetro e a classificação de cada um, obtendo-se a pontuação final numérica ou valor do índice. Quanto maior o índice DRASTIC, maior será o potencial da contaminação das águas subterrâneas (UNESCO, 2015). Segundo Lobo Ferreira, *et al.* (2009), o índice de vulnerabilidade DRASTIC obtém-se através da seguinte expressão:

$$\text{DRASTIC} = D_p \cdot D_i + R_p \cdot R_i + A_p \cdot A_i + S_p \cdot S_i + T_p \cdot T_i + I_p \cdot I_i + C_p \cdot C_i \quad (1)$$

Onde Xi é o índice atribuído ao parâmetro X e Xp é o peso respetivo.

A tabela 1 resume os parâmetros, a sua definição, o respectivo peso, o tipo de valores que o parâmetro pode apresentar e o índice para cada situação.

Tabela 1 – Os sete parâmetros do Índice DRASTIC.

| Parâmetro | Definição | Peso | Caracterização do parâmetro | Índice |
|--------------------------|---|------|---|--------|
| Profundidade de água (D) | É a distância, medida na vertical, entre a superfície e o nível freático. Funciona como uma força resistiva para a movimentação do contaminante | 5 | >30,5 (m) | 1 |
| | | | 22,9-30,5 (m) | 2 |
| | | | 15,2-22,9 (m) | 3 |
| | | | 9,1-15,2 (m) | 5 |
| | | | 4,6-9,1 (m) | 7 |
| | | | 1,5- 4,6 (m) | 9 |
| | | | <1,5 (m) | 10 |
| Recarga do aquífero (R) | É a quantidade de água por unidade de área que penetra na superfície do solo e atinge o aquífero | 4 | < 51 (mm/ano) | 1 |
| | | | 51-102 (mm/ano) | 3 |
| | | | 102-178 (mm/ano) | 6 |
| | | | 178-254 (mm/ano) | 8 |
| | | | > 254 (mm/ano) | 9 |
| Material do aquífero (A) | É a tipologia da rocha, abaixo da superfície da Terra, com capacidade para armazenar água subterrânea. O tipo de rocha pode afetar, de forma significativa, o fluxo de contaminantes nas águas subterrâneas | 3 | Xisto argiloso, argilito | 1-3 |
| | | | Rocha metamórfica/ígnea | 2-5 |
| | | | Rocha metamórfica / ígnea alterada | 3-5 |
| | | | Arenito, calcário e argilito estratificados | 5-9 |
| | | | Arenito maciço | 4-9 |
| | | | Calcário maciço | 4-9 |
| | | | Areia e cascalho | 4-9 |
| | | | Basalto | 2-10 |
| | | | Calcário carsificado | 9-10 |
| Tipo do solo (S) | É a camada de materiais, situados desde a superfície da terra e a rocha que lhes deu origem. A percolação de contaminante é altamente condicionada pelo tipo de solo presente em cada região | 2 | Argila não agregada e não expansível | 1 |
| | | | Lodo ("Muck") | 2 |
| | | | Franco argiloso | 3 |
| | | | Franco siltoso | 4 |
| | | | Franco | 5 |
| | | | Franco arenoso | 6 |
| | | | Argila agregada e/ou expansível | 7 |
| | | | Turfa | 8 |
| | | | Areia | 9 |
| | | | Balastro | 10 |
| | | | Fino ou ausente | 10 |
| Topografia (T) | Este parâmetro é determinado pelo declive | 1 | >18 (por cento do declive) | 1 |
| | | | 12-18 (por cento do declive) | 3 |

| | | | | |
|--|---|---|--|------|
| | médio da superfície da área em estudo | | 6-12 (por cento do declive) | 5 |
| | | | 2-6 (por cento do declive) | 9 |
| | | | 0-2 (por cento do declive) | 10 |
| Impacto da zona não saturada (I) | É a camada que se encontra localizada entre a superfície da água e a base do solo. O impacto deste parâmetro para a vulnerabilidade, é medido em termos da porosidade dos materiais, da sua permeabilidade e da espessura que apresenta | 5 | Camada confinante | 1 |
| | | | Argila/Silte | 2-6 |
| | | | Xisto argiloso, argilito | 2-5 |
| | | | Calcário | 2-7 |
| | | | Arenito | 4-8 |
| | | | Arenito, calcário e argila estratificados | 4-8 |
| | | | Areia e balastro com percentagem significativa de silte e argila | 4-8 |
| | | | Rocha metamórfica/ígnea | 2-8 |
| | | | Areia e cascalho | 6-9 |
| | | | Basalto | 2-10 |
| | | | Calcário carsificado | 8-10 |
| Condutividade hidráulica do aquífero (C) | É um parâmetro que traduz a velocidade a que a água se pode deslocar dentro de determinada formação geológica | 3 | <4,1 (m/d) | 1 |
| | | | 4,1-12,2 (m/d) | 2 |
| | | | 12,2-28,5 (m/d) | 4 |
| | | | 28,5-40,7 (m/d) | 6 |
| | | | 40,7-81,5 (m/d) | 8 |
| | | | > 81,5 (m/d) | 10 |

Adaptado Aller, *et al.*, (1987).

O valor do Índice DRASTIC pode variar entre 23 e 226 unidades. Os valores mais baixos correspondem a vulnerabilidade mais baixa e os valores mais altos a vulnerabilidade mais elevada. A tabela 2 apresenta a relação entre o valor quantitativo da vulnerabilidade DRASTIC e a designação qualitativa da vulnerabilidade de determinado aquífero à poluição (LNEC, 2009).

Tabela 2 – O valor do índice e as classes de vulnerabilidade DRASTIC.

| Valores | Nível de vulnerabilidade |
|-----------|--------------------------|
| ≤ 79 | Negligenciável |
| 80 a 99 | Muito baixa |
| 100 a 119 | Baixa |
| 120 a 139 | Moderada |
| 140 a 159 | Alta |
| 160 a 179 | Muito alta |
| ≥ 180 | Extrema |

Adaptação das classes de vulnerabilidade definidas pelo LNEC, (2011).

Existem duas variantes do índice DRASTIC, uma para a condição normal e outra para a condição em que se considera a especificidade da utilização de pesticidas na atividade agrícola, sendo, esta última variante, denominada como Índice DRASTIC para pesticida (Gogu e Dessargues, 1999). Na tabela 3 apresenta-se o peso de cada parâmetro para o caso do Índice DRASTIC para pesticida.

Tabela 3 – Peso de cada parâmetro no Índice DRASTIC para pesticida.

| Parâmetro | Peso dos parâmetros no Índice DRASTIC para pesticida |
|--------------------------------------|---|
| Profundidade de água | 5 |
| Recarga do aquífero | 4 |
| Material do aquífero | 3 |
| Tipo do solo | 5 |
| Topografia | 3 |
| Impacto da zona não saturada | 4 |
| Condutividade hidráulica do aquífero | 2 |

Adaptado de Paralta, *et al.*, (2002).

O índice DRASTIC para pesticida varia entre 26 e 256 pontos. Tal como no caso anterior, os valores mais baixos correspondem a vulnerabilidades mais baixas e os mais altos a vulnerabilidades mais elevadas. A tabela 4 resume a relação entre o valor quantitativo do Índice DRASTIC para pesticida e a designação qualitativa da vulnerabilidade à poluição (LNEC, 2009).

Tabela 4 – O índice e as classes de vulnerabilidade do DRASTIC para pesticida.

| Baixa | | | Intermédia | | Elevada | | Muito Elevada |
|--------------|--------|---------|-------------------|---------|----------------|---------|----------------------|
| 26-89 | 90-112 | 113-134 | 135-157 | 158-180 | 181-202 | 203-225 | 226-256 |

Adaptado das classes de vulnerabilidade definidas pelo LNEC, (2011).

O método DRASTIC foi aplicado pela primeira vez em Portugal, à escala nacional, por Lobo-Ferreira e Oliveira (1993) a que se seguiram outros trabalhos de cartografia automática da vulnerabilidade de aquíferos (Oliveira *et al.*, 1997 *in* Paralta, *et al.*, 2002).

Várias cartas dos sistemas aquíferos, dos parâmetros hidrogeológicos, de recarga do aquífero e a carta final do Índice DRASTIC, contribuíram para a

determinação da vulnerabilidade das águas subterrâneas de Portugal (Lobo Ferreira e Oliveira, 2004).

2.2.2. Método SINTACS

Este método foi proposto por Civita em 1994. De acordo com Civita *et al.* (1990) in Lobo Ferreira *et al.* (2009), este método foi desenvolvido em Itália e é uma variante do método DRASTIC denominada SINTACS, devido às características hidrogeológicas italianas, altamente diversificadas, e à necessidade de desenvolver mapas de vulnerabilidade com mais detalhe.

O acrónimo SINTACS vem dos nomes italianos dos mesmos parâmetros hidrogeológicos que são usados no DRASTIC, a saber:

- **Soggienza** (profundidade de água subterrânea);
- **Infiltrazione** (infiltração eficaz);
- **Non Saturo** (capacidade de atenuação da zona não saturada);
- **Tipologia della copertura** (solo/capacidade de atenuação do solo);
- **Acquifero** (características da zona saturada);
- **Conducibilità** (condutividade hidráulica);
- **Superficie Topografica** (declive da superfície topográfica) (Civita, 2010).

A diferença entre o Índice DRASTIC e o Índice SINTACS está na forma como são atribuídos os pesos e os índices em cada um dos parâmetros. Os pesos são atribuídos de forma mais abrangente, a fim de considerar todas as condições ambientais relacionados com os sete parâmetros utilizados no modelo. O modelo utiliza mais do que uma série de atribuições de peso, de modo a considerar o fator de uso da terra. Este modelo é mais útil para a região onde a terra é usada extensivamente tal como áreas de exploração de carvão e áreas saturadas em petróleo (Kumar *et al.*, 2015).

O método SINTACS foi apresentado em Portugal por Napolitano (1995). Esta autora refere que no método SINTACS a área em análise é decomposta em elementos finitos quadrangulares (Lobo Ferreira *et al.*, 2009). O índice de vulnerabilidade é definido em cada elemento usando a fórmula:

$$IV = \sum P_{(1-7)} * W_{(1,n)} \quad (2)$$

Onde $P_{(1-7)}$ é o valor de cada parâmetro usado e $W_{(1,n)}$ é peso da sua classe, que varia de 1 a n (Gogu e Dessargues, 1999).

O método SINTACS atribuí a cada parâmetro um índice de 1 a 10. O resultado final, quantitativo e qualitativo, resulta num índice de vulnerabilidade de acordo com o exposto na tabela 5. Estes valores são consequência do somatório do produto entre o peso de cada um dos sete parâmetros e o valor do atributo atribuído a cada um. O peso, como referido atrás, resulta das características intrínsecas à utilização da área em cada região em análise, estando apresentados na tabela 6.

Tabela 5 – Classes de vulnerabilidade do Índice SINTACS.

| | | | | | |
|--------------------|--------------|--------------|---------------------------|-------------|-------------------|
| Muito Baixa | Baixa | Média | Moderadamente Alta | Alta | Muito Alto |
| <80 | 80-105 | 105-140 | 140-186 | 186-210 | > 210 |

Adaptada de Civita e De Maio (2000) in Oliveira (2013).

Tabela 6 – Peso multiplicador para o variável SINTACS.

| Parâmetro | Normal | Rigorous | Percolação | Carste | Fissurado | Nitratos |
|-----------|--------|----------|------------|--------|-----------|----------|
| S | 5 | 5 | 4 | 2 | 3 | 5 |
| I | 4 | 5 | 4 | 5 | 3 | 5 |
| N | 5 | 4 | 4 | 1 | 3 | 4 |
| T | 3 | 5 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| A | 3 | 3 | 5 | 5 | 4 | 2 |
| C | 3 | 2 | 5 | 5 | 5 | 2 |
| S | 3 | 2 | 2 | 5 | 4 | 3 |

Adaptada de Civita (2010).

2.2.3. O Índice GOD

Este método foi desenvolvido por Foster em 1987, tem uma estrutura simples e um sistema empírico para uma avaliação rápida da vulnerabilidade dos aquíferos à poluição (Gogu e Dessargues, 1999). A avaliação baseia-se na vulnerabilidade dos três parâmetros seguintes:

- **Groundwater occurrence** (ocorrência das águas subterrâneas – em termos da tipologia do aquífero (livre, semi-confinado ou confinado));
- **Overall aquifer class** (classe global do aquífero – em termos das características litológicas do aquífero);
- **Depth to groundwater table** (Profundidade do nível freático) (Ibe *et al.*, 1999).

GOD é um acrónimo resultante das iniciais, em inglês, da primeira letra de cada parâmetro (Lobo Ferreira *et al.*, 2009). A determinação do índice de

vulnerabilidade GOD, segue uma sequência de fases concretas, tal como está esquematizado na figura 2.

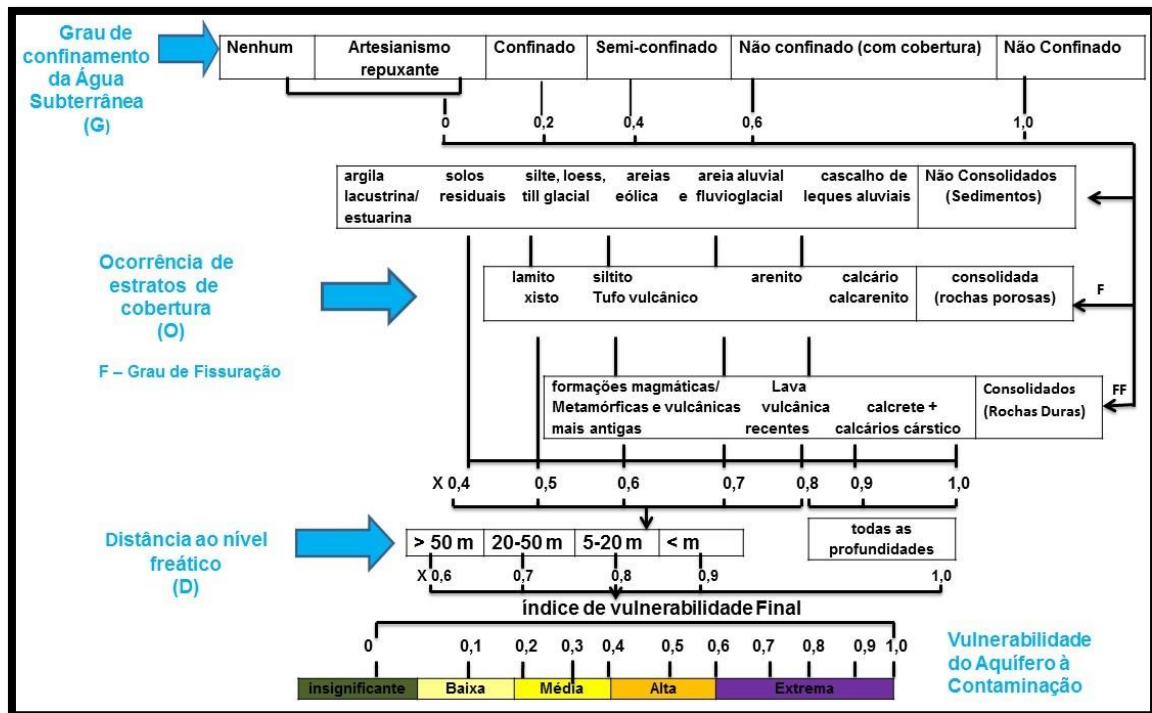


Figura 2 – Sequência de passos usados no método GOD para avaliação da vulnerabilidade do aquífero à contaminação (Foster *et al.*, 2006).

O índice de vulnerabilidade é o resultado dos valores atribuídos aos três parâmetros. Os parâmetros só podem assumir valores entre 0 e 1, sendo o resultado final, entre o produto dos três parâmetros, normalmente um valor menor do que o valor atribuído a cada um dos parâmetros (Gogu e Dessargues, 1999).

O valor máximo do índice é 1,0, representando uma vulnerabilidade máxima. O valor mínimo é 0,016, se houver aquífero, ou mesmo zero se não houver aquífero (Lobo Ferreira *et al.*, 2009). A tabela 7 resume as classes de vulnerabilidade do aquífero pelo método GOD.

Tabela 7 - Classes de vulnerabilidade do aquífero segundo o método GOD.

| Intervalo | Classe | Característica |
|-----------|----------------|--|
| 0 - 0,1 | Insignificante | Desconsidera a camadas confinantes com fluxos verticais descendentes não significativos |
| 0,1 - 0,3 | Baixa | Vulnerável a poluidoras conservativos em longo prazo, quando continuamente e amplamente lançados |
| 0,3 - 0,5 | Média | Vulnerável a alguns poluentes, mas somente quando continuamente lançado |
| 0,5 - 0,7 | Alta | Vulnerável a muitos poluentes, exceto aqueles pouco móveis e pouco persistentes |
| 0,7 - 1,0 | Extrema | Vulnerável a muitos poluentes, com rápido impacto em muitos cenários de poluição |

Adaptada de Barboza *et al.*, 2007 *in* de Souza, 2009.

O valor de um parâmetro qualificativo complementar é adicionado ao valor numérico do índice. Este parâmetro complementar pretende considerar o grau de fissuração e a capacidade de atenuação, medindo a tendência ou a propensão para o transporte lateral do poluente na zona saturada (Lobo Ferreira *et al.*, 2009).

2.2.4. Índice AVI (*Aquifer Vulnerability Index*/Índice de Vulnerabilidade do Aquífero)

Este método foi desenvolvido por Van Stempvoort e outros no Canadá. Baseia-se nos dois parâmetros seguintes:

d – espessura de cada unidade sedimentar acima da zona superior do aquífero;

k – condutividade hidráulica estimada em cada uma das n camadas.

A resistência hidráulica (C) calcula-se de acordo com a seguinte expressão:

$$C = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{k_i} \quad (3)$$

Onde: C= Resistência hidráulica dada pelo sistema de classificação AVI;

n = números de camadas;

k = resistência hidráulica estimada em cada camada sedimentar (Gogu e Dessargues, 1999).

O valor C ou o seu logaritmo são utilizadas para definir o índice e as classes de vulnerabilidade, que são as que se apresentam na tabela 8.

Tabela 8 – Classes de vulnerabilidade do aquífero pelo método AVI.

| Classe de vulnerabilidade | Extremamente alta | Alta | Moderada | Baixa | Extremamente baixa |
|---------------------------|-------------------|-------|----------|-------|--------------------|
| Log C | <1 | 1 a 2 | 2 a 3 | 3 a 4 | > 4 |

Adaptada Ribeiro, 2001 in Paralta, *et al.*, (2002).

2.3. Perímetros de Proteção das Águas Subterrâneas

A criação de métodos para a definição de perímetros de proteção para captações de água subterrânea, foram desenvolvidos, experimentados e aplicados pela primeira vez, em países europeus, na década de 1930 e, o quadro legislativo e as regulamentações importantes que os suportam foram constituídos nos anos 1950 (Carvalho e Hirata, 2012).

Um perímetro de proteção pode ser definido como um conjunto de zonas ou áreas, criadas mediante restrições especificadas de cada zona, sobre as atividades socioeconómicas, o ordenamento e a ocupação do território na superfície de influência de uma captação de água subterrânea, com o intuito de garantir a qualidade e a quantidade de água ao utilizador. Com esta delimitação, pretende-se reduzir o risco de contaminação, ou, caso aconteça, a contaminação, procurando evitar que o contaminante chegue às captações em concentrações consideradas perigosas (Prada *et al.* 2008).

O perímetro de proteção de uma captação de água subterrânea é necessário para uma proteção completa contra os contaminantes degradáveis e não degradáveis. Para os degradáveis, considerando-se que o solo tem capacidade natural de atenuação do contaminante. Para os não degradáveis, é necessário uma diluição do fluxo principal, para diminuir a sua concentração. O mecanismo de diluição é predominantemente de advecção e dispersão, associados ao fluxo de água. Alguns contaminantes podem ser afetados por processos de degradação, adsorção e precipitação (Foster *et al.* 2006).

De modo a eliminar totalmente o risco de contaminação inaceitável de uma fonte de abastecimento, todas as atividades relacionadas com o uso potencial de contaminantes teriam de ser proibidas dentro da zona de recarga ou de captura (figura 3). Contudo, esta ação frequentemente é impraticável ou economicamente inviável, devido a pressões socioeconómicas para que se possa alcançar um bom desenvolvimento local. Assim, é necessário proceder a uma divisão da zona de proteção, para que se apliquem as restrições mais rigorosas ao uso do solo apenas nas áreas mais próximas da captação (Foster *et al.* 2006).

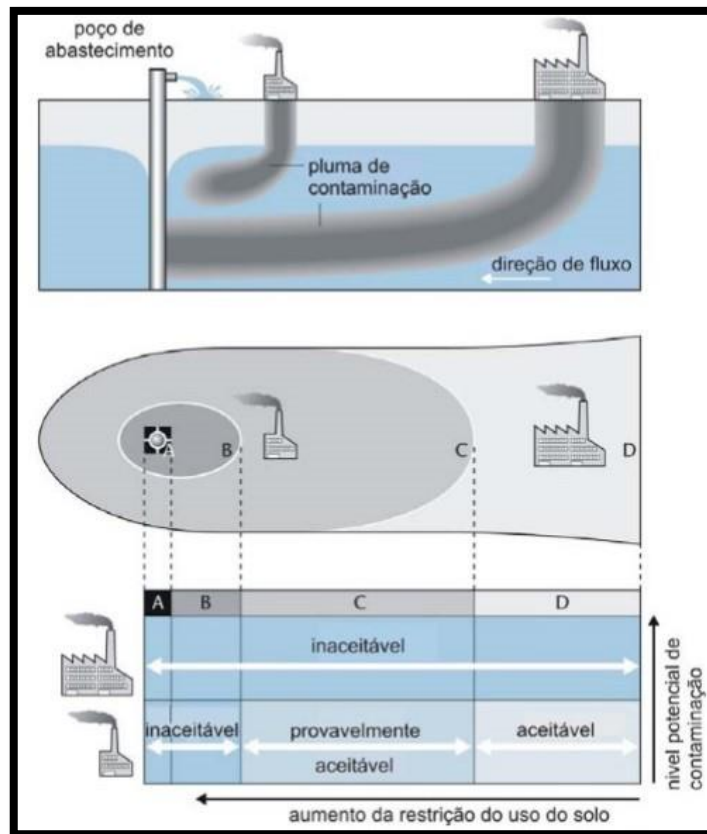


Figura 3. Conceito de áreas de proteção de captação subterrânea e as restrições ao uso do solo. Adaptada Foster *et al.* (2006).

2.3.1. Zonas de Proteção de Captações de Água Subterrânea

Na definição da zona de proteção de uma captação de água subterrânea, as três zonas mais importantes são:

- zona de captura total de aquífero ou zona alargada;
- zona de proteção microbiológica ou zona intermédia; e
- zona operacional da captação de água ou zona imediata.

A definição destas zonas e o seu raio de proteção contra os contaminantes, para um aquífero não confinado, está ilustrada na figura seguinte 4.

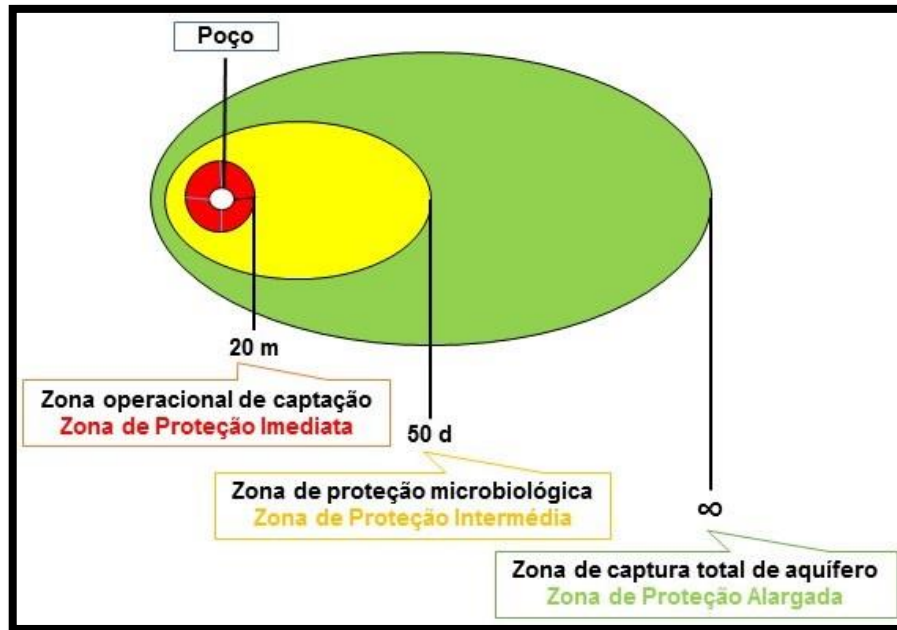


Figura 4. Esquema das zonas de captura de água subterrânea e dos perímetros do tempo de trânsito ao redor de um poço.

2.3.1.1. Zona de captura total do aquífero

A zona de proteção mais externa, que pode ser definida para um poço de abastecimento, é a sua zona de captura ou de recarga do aquífero, na qual toda a água de recarga do aquífero, é derivada de precipitação, ou de curso de água superficial, e pode ser captada na fonte de abastecimento (Oleaga *et al.*, 2009). É definida através da área que tem contribuição necessária para equilibrar a recarga do aquífero, pela geometria da trajetória de fluxo da água subterrânea ou pelo divisor de fluxo de água subterrânea, de um ponto de declive mais elevado. Esta é a zona que fornece uma vazão de exploração protegida em longo prazo (Wahnfried & Hirata, 2005). A figura 5 ilustrar a zona de captura total de um poço de produção e a sua zona influência.

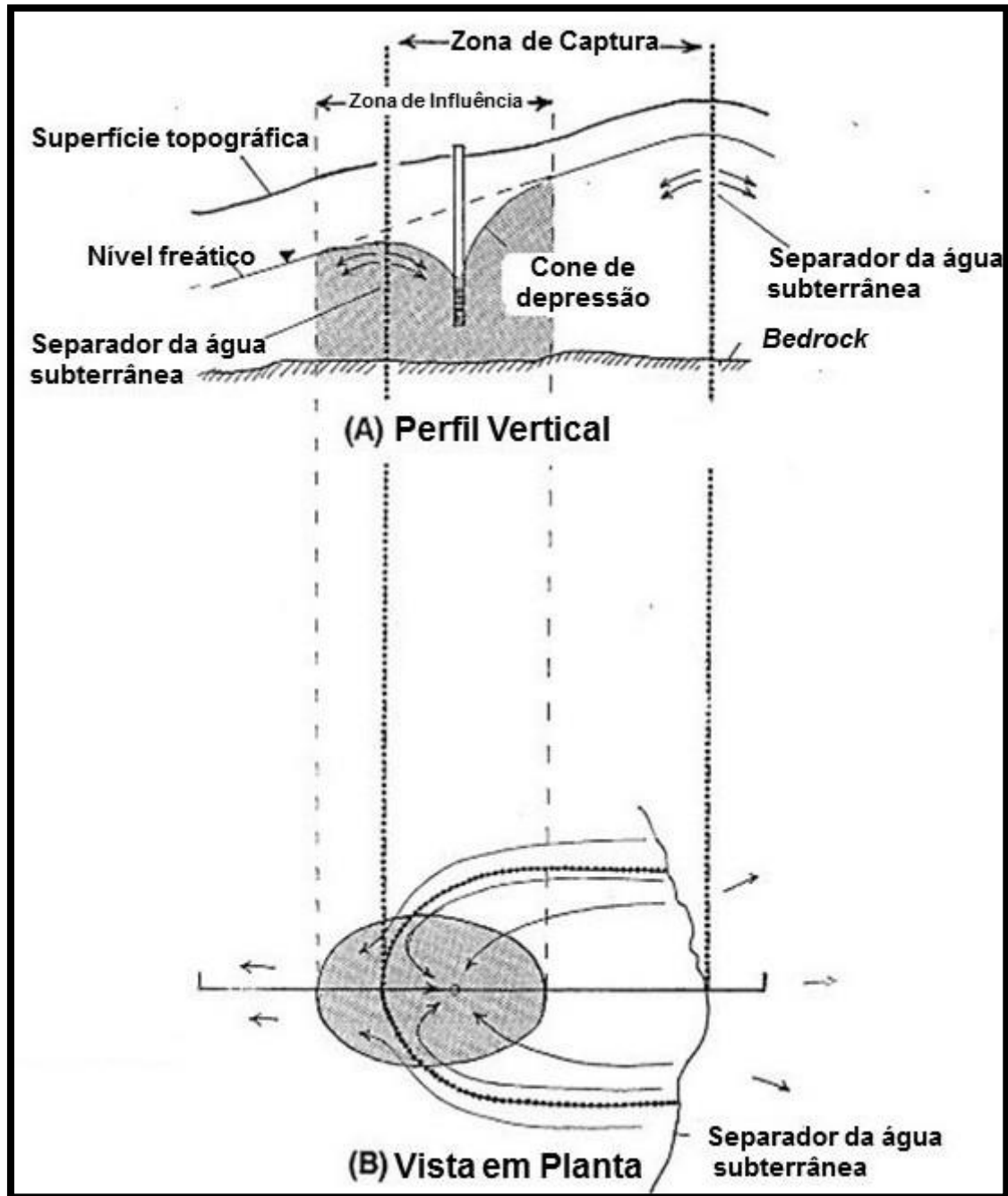


Figura 5 – Zona de captura e zona de influência de um poço de produção.
Adaptada U.S. EPA, 1994.

2.3.1.2. Zona de proteção microbiológica

A zona de proteção microbiológica da água subterrânea, é uma zona que pretende proteger uma captação contra a contaminação por bactérias, vírus e outras parasitas patogénicos. Os microrganismos patogénicos entram nos aquíferos superficiais através de fossa sépticas, drenagens, latrinas, esgotos ou cursos de água superficiais contaminados. Em geral, os poços mal construídos mostram-se mais facilmente contaminados com este tipo de contaminantes (Foster *et al.* 2006).

A área desta zona é determinada em função do tempo de trânsito horizontal médio percorrido pelos organismos patogénicos na zona saturada do aquífero (Wahnfried & Hirata, 2005). Lewis *et al.* 1982, in Foster *et al.* 2006, relataram que o tempo de separação horizontal, entre a origem da poluição patogénica que causa doenças transmitidas pela água e a fonte de abastecimento de água, era melhor percorrido pela água subterrânea em 20 dias enquanto os organismos mais resistentes são capazes de sobreviver no subsolo por 400 ou mais dias. Na base destas, a limitação de 50 dias foi assegurada como um valor razoável para delimitar a zona (figura 4), que está correspondente com a sua aplicação em vários países.

Este perímetro de proteção é provavelmente considerado como a zona mais importante de todas as zonas no que se refere à saúde pública, a sua aplicação pode ser feita de uma maneira simples e rápida e, geralmente, a sua dimensão é pequena. Esta área é classificada pela Agência de Proteção Ambiental (EPA) dos Estados Unidos como Zona 2 de proteção de água subterrânea ou zona de atenuação (Oleaga *et al.* 2009).

2.3.1.3. Zona operacional da captação

É a zona de proteção mais interna, que delimita uma pequena área na superfície à volta da fonte de abastecimento de água subterrânea. Esta área é destinada para controlar a extração de água subterrânea. Nesta zona, não são permitidas quaisquer atividades, com exceção das atividades associadas com a extração da água e, mesmo estas atividades, devem ser cuidadosamente integradas com o controlo para evitar a possibilidade de os contaminantes chegarem a fonte de água, seja diretamente, seja através de perturbações no terreno adjacente. Todas as atividades de manutenção do poço devem ter um piso de concreto para evitar a infiltração de óleos e produtos químicos usados na conservação das bombas. A instalação de cercas é uma prática comum para evitar a invasão por animais e atos de vandalismo (Foster *et al.* 2006).

A especificação do tamanho desta área é altamente dependente da natureza das formações geológicas locais, porém, é altamente recomendável uma circunferência com um raio mínimo de 20 metros (Oleaga *et al.* 2009).

2.3.2. Critérios dos Perímetros de Proteção de Captações dos Recursos Hídricos Subterrâneos

O perímetro de proteção restringe a área circundante da superfície, de uma ou mais captações de águas subterrâneas, consignadas ao abastecimento público, onde as atividades com potencial para alterar a qualidade da água subterrânea são

delimitadas, não permitidas, ou controladas de modo gradual (Lobo Ferreira *et al.*, 2009).

Com a restrição de atividades no interior dos perímetros de proteção, deseja-se diminuir o risco de poluição ou, no caso de esta acontecer, que não atinja as captações em concentrações poluentes consideradas perigosas, ou possa ser detetada pelo sistema de vigilância do aquífero a tempo de impedir a sua entrada no sistema de distribuição de água (Prada *et al.*, 2008).

Genericamente, as zonas abrangidas num perímetro de proteção de uma captação de água subterrânea são a zona de proteção imediata, a zona de proteção intermédia e a zona de proteção alargada, tal como é esquematizado na figura 6.

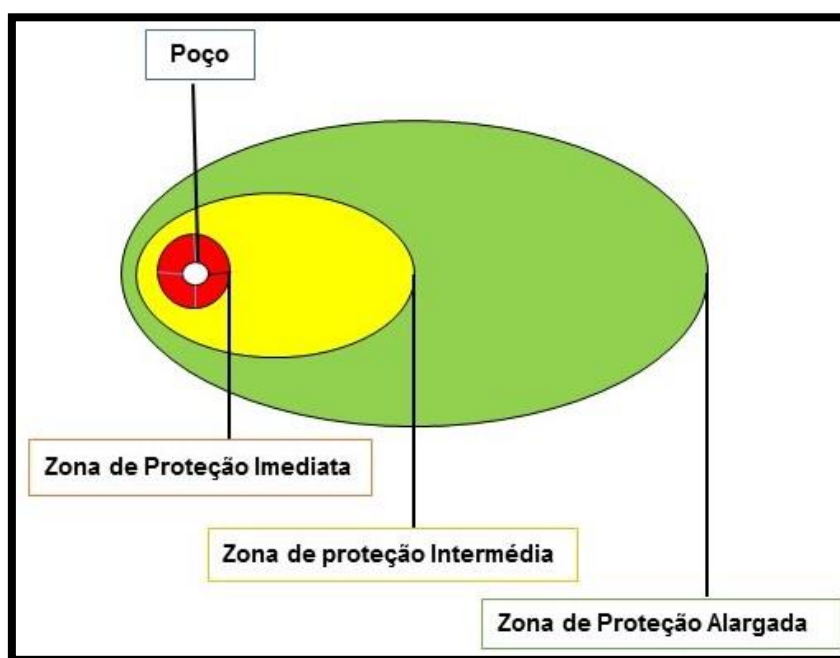


Figura 6 – Zonas de proteção de captações de águas subterrâneas.

A Zona de Proteção Imediata, ou de restrições absolutas, é a zona mais próxima da captação, onde não é permitido qualquer tipo de funcionamento e/ou estabelecimento, exceto as que se relacionam com a atividade da própria captação; na sua restrição pode ser usado um padrão temporal, nomeadamente um tempo de propagação de 24 horas (ITGE, 1991, *in* Moinante, 2003) *in* Lobo Ferreira *et al.* (2009)), ou um intervalo fixo espacial de pequeno alargamento.

A Zona de Proteção Intermédia, ou de restrições máximas, é a zona que abrange a anterior, com o papel de proteger o aquífero perante a poluição microbiológica, apoiando a sua dissolvência ou exclusão, antes de esta atingir a captação; deve admitir, apesar de ser detetada a poluição, um período de resposta

razoável para que sejam tomadas as medidas obrigatórias antes do poluente atingir a captação.

A Zona de Proteção Alargada, ou de restrições moderadas, é a zona cuja função é defender a captação da poluição de enorme perseverança, ou seja, dificultar o processo de degradação, no caso da poluição química não degradável; deve permitir, após ser detetada a poluição, um período de resposta razoável para que seja descoberta uma fonte de água opcional para consumo humano.

Os objetivos fundamentais da delimitação destes perímetros são, obrigatoriamente, a proteção da captação, mas sobretudo a preservação da qualidade da água captada. Dever-se-á acrescentar o objetivo da conservação da recarga, da hidrodinâmica aquífera e dos caudais lançados, naturais e induzidos (Azevedo *et al.*, 2010).

Para efetuar os processos de delimitação de perímetros de proteção das águas subterrâneas devem ser considerados os seguintes critérios:

- i) a distância à captação;
- ii) o rebaixamento;
- iii) o tempo de propagação;
- iv) as características hidrogeológicas; e
- v) o poder auto-depurador do terreno / a capacidade de assimilação.

2.3.2.1. Distância

A distância corresponde à delimitação de uma área definida por um círculo, em que a captação se localiza no centro. É um critério simples e rápido, mas não considera os fluxos da água subterrânea e os processos de transporte de poluentes, o que pode conduzir a uma proteção menos eficaz. Podemos considerar como sendo uma proteção de nível reduzido, sendo preferível a sua implementação à total inexistência de zonas de proteção. Normalmente é usada numa fase preparatória do estudo de delimitação dos perímetros de proteção (Lobo Ferreira *et al.*, 2009).

2.3.2.2. Rebaixamento

Este critério é definido na delimitação da zona de influência de uma captação, quando esta está sujeita a extração. Deve ter em conta as direções do fluxo subterrâneo da água para acelerar a chegada do poluente à captação. Assenta na variação no caudal de exploração (Laureano, 2012).

2.3.2.3. Tempo de propagação / Tempo de percurso

Trata-se de um critério que traduz o tempo que a água subterrânea e, eventualmente, o poluente, demoram a alcançar a captação partindo de um ponto localizado no interior da zona de contribuição, também designada por zona de recarga, de alimentação, ou de captura (zona que contribui com água para a captação) (Lobo Ferreira, *et al.*, 2009).

A Legislação Portuguesa especifica o tempo de percurso no Decreto-Lei nº 382/99, de 22 de Setembro, em 50 dias para a zona de proteção intermédia e em 3.500 dias para a zona de proteção alargada, relativamente a captações de água subterrâneas para abastecimento público.

2.3.2.4. Características hidrogeológicas

Resumem-se na definição da área geográfica que contribui com água para a captação (zona de contribuição), baseando-se nas divisórias hidrogeológicas e/ou em outras entidades físicas e hidrogeológicas que controlam o fluxo subterrâneo. A zona de contribuição da captação poderá ser utilizada como de proteção, partindo-se do princípio de que um poluente lançado nessa zona pode, eventualmente, alcançar a captação sob o gradiente hidráulico em questão (Lobo Ferreira, *et al.*, 2009).

2.3.2.5. Capacidade de assimilação

O poder auto-depurador do solo ou a sua capacidade de assimilação é muitas vezes considerado na delimitação da área a proteger, uma vez que tem em consideração a capacidade do aquífero para imobilizar ou atenuar a concentração de poluentes que atravessam a secção não saturada do aquífero, antes de alcançar a captação (Laureano, 2012). O processo de atenuação pode ocorrer através dos processos naturais, em decorrência de degradação bioquímica, reações químicas ou absorção na superfície de minerais argilosos e/ou matéria orgânica (Oleaga *et al.*, 2009).

2.3.3. Métodos de delimitação dos perímetros de proteção de captações dos recursos hídricos subterrâneos

Os programas de proteção de águas subterrâneas da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US-EPA), assim como os do Banco Mundial, reconheceram uma variedade de técnicas para determinar perímetros de proteção em zonas onde ocorram poços de abastecimento de água (WHPA), que vão desde

métodos simples até modelos muito complexos (FOSTER *et al.*, 2002, 2003; EPA, 1993 *in* Oleago *et al.*, 2009).

Sinteticamente, os processos de delimitação dos perímetros enquadram-se em três tipos seguintes:

- aplicação de métodos geométricos (atribuição de um raio);
- utilização de métodos analíticos;
- numéricos simplificados (determinação de um raio ou de um polígono) com apoio de modelação hidrogeológica conceptual e desenvolvimento de modelação hidrogeológica numérica com apoio de cartografia hidrogeológica detalhada, de ensaios hidráulicos e de caracterização hidrogeológica (Azevedo *et al.*, 2010).

Apresentam-se, em seguida, a abordagem destas metodologias, que resultam nas técnicas: método de Raio Fixo Arbitrário (AFR), Métodos Analíticos (AM) e Métodos Numéricos (NM).

2.3.3.1. Método de Raio Fixo Arbitrário (AFR)

Método simples que envolve a definição de uma área circular, com centro na captação e cujo raio é escolhido de forma, mais ou menos, arbitrária. Essa escolha deve considerar as condições hidrogeológicas locais ou basear-se nas dimensões obtidas por outros métodos relativamente a outras captações existentes na mesma região (Lobo Ferreira *et al.*, 2009).

Esse método é usado para definir a Zona 1 (zona de prevenção de acidentes ou zona operacional) para poços completos em todos os tipos de aquíferos, incluindo o tipo não confinado, semi-confinado e confinado, e condições de fluxo (fluxo difuso e/ou em condutos). A técnica de raio fixo arbitrário considera distâncias regulamentares de separação, existentes para o abastecimento de água potável, para o estabelecimento do limite da zona 1 (Oleago *et al.*, 2009).

A zona de proteção 1 é o raio de influência, do furo ou poço de abastecimento de água, que pode ser definido como a distância radial para pontos onde o nível da água (cabeça hidráulica) na camada aquífera é visivelmente afetado pela bombagem extrativa. Nenhuma fonte de contaminante, ou a atividade contaminante, deve ser praticada nesta zona, com a exceção dos motores da bomba (DWAFF, 2004).

2.3.3.2. Métodos analíticos (AM)

Método do Raio Fixo Calculado (CFR)

Neste método, indicado para aquíferos confinados, o perímetro de proteção é determinado a partir de uma equação volumétrica, que pode utilizar o tempo de propagação do poluente até à captação ou o rebaixamento do nível piezométrico. Em conformidade ao tempo de propagação, a equação permite avaliar o raio de uma secção cilíndrica do aquífero, com centro no ponto de captação, e com capacidade de contenção do volume de água captada durante um determinado tempo de propagação. Esta duração é necessária para que o efeito de um potencial poluente seja minimizado até mostrar concentrações seguras, antes de atingir a captação (Moinante, 2004 *in* Laureano, 2012).

Este método é baseia-se numa abordagem geométrica, em que se define uma área cilíndrica ao redor do poço, cujo raio é designado por uma equação analítica de fluxo volumétrico (ver figura 7). Esse raio é calculado com base no Tempo de Trânsito (TT), preferido como limite de critério, em função das taxas diárias de bombeamento, porosidade efetiva e espessura saturada do aquífero (USEPA, 1994 *in* Carvalho e Hirata, 2012).

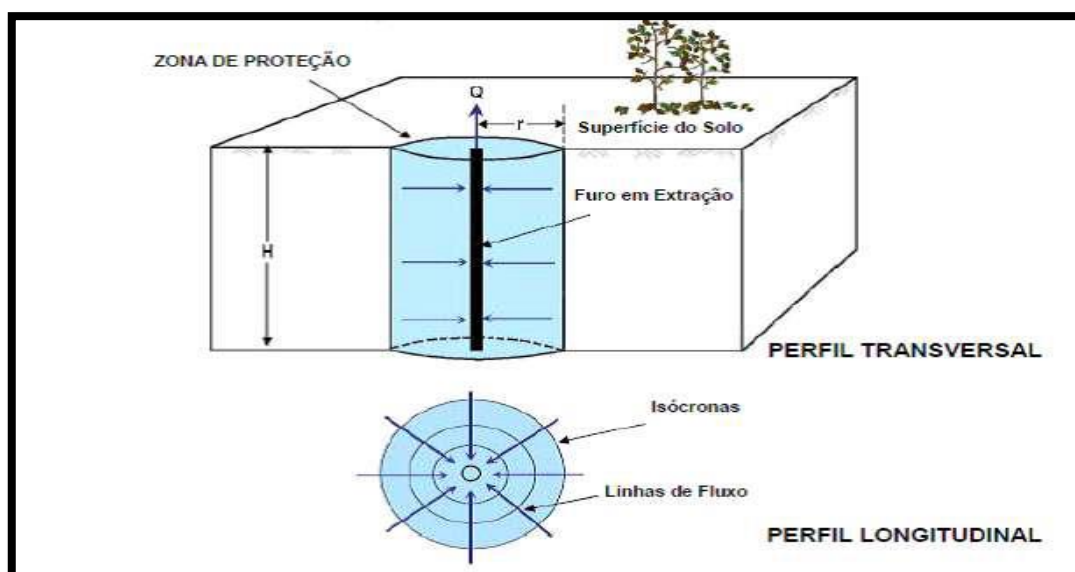


Figura 7 – Delimitação do perímetro de proteção utilizando o método do raio fixo calculado (Adaptada de EPA, 1993 *in* Moinante, 2003 *in* Laureano, 2012).

Método de Kreitler e Senger

É um método para situações de gradiente hidráulico relativamente significativo, em que o cone de rebaixamento é assimétrico, estendendo-se a maiores distâncias a montante da captação do que a jusante. Kreitler e Senger (1991 *in* EPA, 1994)

descreveram a seguinte equação do tempo de propagação, modificada a partir de Bear e Jacob (1965, *in* EPA, 1994) *in* Lobo Ferreira *et al*, (2009) que resulta em:

$$t_x = \frac{n}{K \cdot i} \left[r_x \left(\frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot K \cdot b \cdot i} \right) \ln \left\{ 1 + \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot K \cdot b \cdot i}{Q} \right) \cdot r_x \right\} \right] \quad (4)$$

Onde: r_x = distância percorrida durante t_x (m) (positiva se o ponto estiver a montante da captação e negativa se estiver a jusante);

t_x = tempo de propagação a partir do ponto x até à captação (dias);

b = espessura do aquífero (m);

i = gradiente hidráulico antes da extração (adimensional);

K = condutividade hidráulica (m/d).

A equação atrás mencionada, pode ser usada para calcular o tempo de percurso a partir de um ponto X para um poço (Lobo Ferreira *et al*, 2004) e aplicada quando há ocorrência de uma superfície piezométrica inclinada, gerando um cone de rebaixamento assimétrico (EPA, 1994 *in* Laureano, 2012) (ver figura 8).

Para a definição do perímetro de proteção, esta equação deve ser utilizada em combinação com a equação de fluxo uniforme, que permite descrever a área de contribuição da captação, ao calcular-se o ponto nulo XL (ponto de escoamento nulo, onde não há circulação de água e que consiste na fronteira do fluxo, para a captação, a jusante) e, também, a largura máxima da zona de contribuição, perpendicularmente à direção do fluxo subterrâneo (Lobo Ferreira *et al*, 2009). O cálculo de XL faz-se através da equação seguinte:

$$X_L = - \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot K \cdot b \cdot i} \text{ e } Y_L = + \frac{Q}{2 \cdot K \cdot b \cdot i} \quad (5)$$

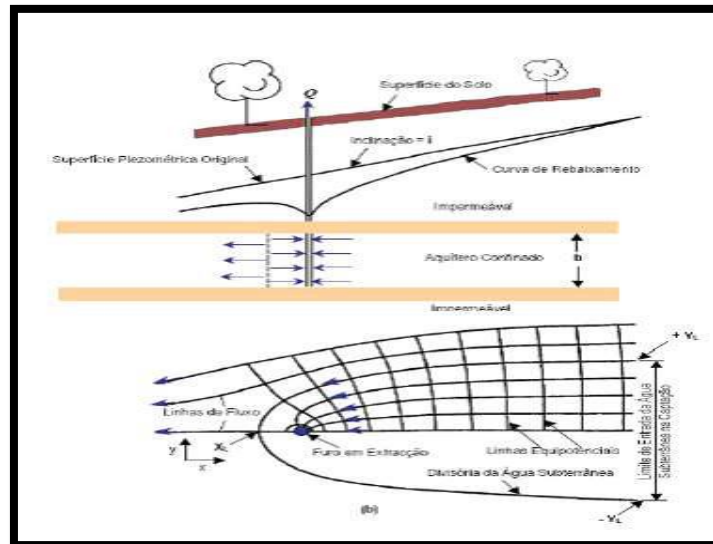


Figura 8 – Definição do perímetro de proteção utilizado a equação de fluxo uniforme (Moinante, 2003 in Laureano, 2012).

Metodo de Krijgsman e Lobo Ferreira

Este método foi desenvolvido por Krijgsman e Lobo Ferreira (2001), tendo aplicação numa condição de gradiente hidráulico inclinado, tal como é esquematizado na figura 9. A zona de proteção intermédia, para um período de deslocamento de 50 dias, terá a forma de uma elipse em que, quanto maior for o gradiente hidráulico mais excêntrica será a elipse e, pelo contrário, quanto menor for aquele gradiente hidráulico, mais a elipse se aproximará de um círculo. Como se pode verificar pela figura 9, o valor de r_p situa-se entre os valores de r_{max} e r_{min} ; quanto maior for a proporção entre r_{max} e r_{min} , menor será o valor de r_p .

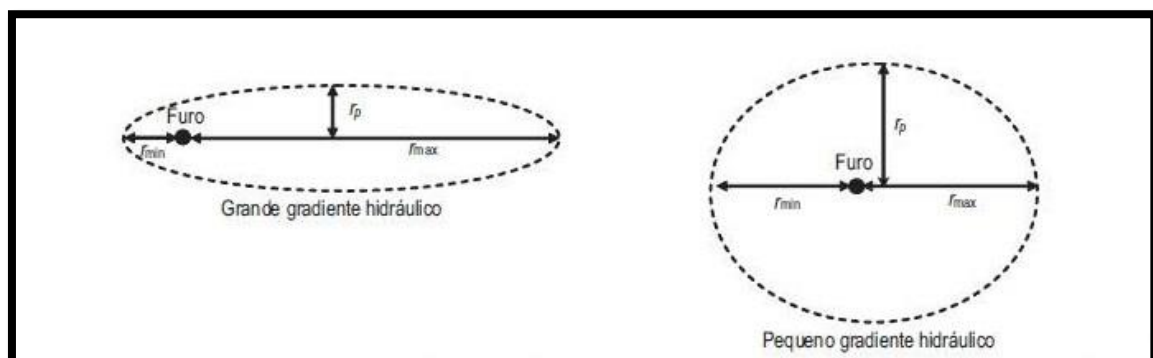


Figura 9 – Tipo de zona de proteção intermédia em condições extremas de gradiente hidráulico. Adaptada Krijgsman e Lobo Ferreira, 2001, in Moinante, 2003, in Lobo ferreira et al, 2009.

Krijgsman e Lobo Ferreira promoveram o uso de três equações, que se apresentam em seguida, para o cálculo das três dimensões da área de proteção intermédia de uma captação.

- Distância de proteção a montante da captação:

$$r_{max} = (0.00002x^5 - 0.0009x^4 + 0.015x^3 + 0.37x^2 + x)/F \quad (6)$$

Em que: $X = \sqrt{\frac{2Ft}{A}}$, $F = \frac{2\pi Kbi}{Q}$ e $A = \frac{n}{Ki}$

Onde:

K = condutividade hidráulica (m/dia);

b = espessura do aquífero (m);

i = gradiente hidráulico;

n = porosidade eficaz;

Q = caudal de extração (m³/dia); e

t = tempo de propagação (dias).

Não devem ser utilizadas combinações de parâmetros que conduzam a um valor de x superior a 18.

- Distância de proteção a jusante da captação:

$$r_{min} = (-0.042x^3 + 0.37x^2 - 1.04x)/F \quad (7)$$

Quando x for <-3,5 deve aplicar-se uma distância mínima de proteção igual a 25 m como medida de segurança, uma vez que se torna muito arriscado aplicar distâncias muito pequenas (< 25 m) e a equação não deve ser aplicado no caso de valores de n < 0,1 (10%).

- Distância de proteção na perpendicular à direção do fluxo:

$$r_p = 4 \sqrt{\frac{Q}{nb}} \quad (8)$$

Se o resultado for superior a quatro vezes o r_{min} , o erro de cálculo pode ser superior a 15% mas, uma vez que isso conduz apenas a uma sobreproteção, tal não deve ser considerado como um erro de cálculo, até porque resulta de razoável incerteza associada aos dados iniciais (Krijgsman e Lobo Ferreira, 2001 *in* Lobo Ferreira *et al.*, 2006).

2.3.3.3. Modelos numéricos (NM)

Os modelos numéricos ou matemáticos admitem representar variáveis relacionadas com as condições subterrâneas e com os aspetos hidrológicos com uma precisão razoável. Algumas formas podem usar modelos analíticos para determinar o transporte de poluentes, adaptando o modelo analítico de transporte ao modelo numérico de fluxo que envolve os processos de advecção e dispersão no interior do aquífero. Os modelos demandam um volume de dados considerável, particularmente se possuírem componentes analíticos. Se o modelo tiver de ser preciso, o número de células tem de ser grande onde houver áreas importantes (Oleago *et al.*, 2009).

No caso da determinação dos perímetros de proteção, recorre-se ao modelo numérico de transporte, que utiliza os valores de piezometria obtidos no modelo de fluxo, permitindo definir o trajeto das partículas lançadas num determinado ponto. Determinam-se então as zonas de proteção, em função do tempo de propagação. Depois de calibrado e validado, o modelo matemático constitui uma ferramenta de planeamento e gestão que permite prever eventuais alterações nos perímetros de proteção causadas por variações nas condições para os quais foram calculados (Moinante, 2003 *in* Lobo Ferreira *et al.*, 2009).

Os modelos numéricos podem ser classificados em duas categorias: modelos de fluxos de diferença finita (como o modelo MODFLOW, McDonald e Harbaugh 1988) e modelos de fluxo de elementos finitos (como o modelo FEFLOW, Diersch, 2005).

No modelo das diferenças finitas, a região é aproximada por uma malha retangular ou quadrada e os valores médios da piezometria são determinados nos pontos centrais da malha, nos modelos baseados no método de elementos finitos, as células da malha podem ser elementos triangulares que se adaptam à localização das captações. Em cada célula da malha existe um balanço de massa que está relacionada com o balanço das células vizinhas. É gerada, assim, uma equação para cada célula. Com o modelo numérico, toma-se possível resolver estas equações simultaneamente a fim de que o equilíbrio seja alcançado (Feitosa, 1997 *in* Laureano 2012).

CAPÍTULO III. CASO DE ESTUDO: VULNERABILIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS À POLUIÇÃO EM UATO-CARBAU, MUNICÍPIO DE VIQUEQUE, TIMOR-LESTE

3.1. Localização geográfica e divisão administrativa do território de Timor-Leste

Timor-Leste é a metade oriental da ilha de Timor, com uma área de cerca de 14.922 km², um comprimento máximo de 275 Km e uma largura máxima de 100 Km. As suas coordenadas geográficas encontram-se centrado no paralelo 8^{00'} e 9^{30'} de latitude Sul e no meridiano 124^{00'} e 127^{30'} de longitude Este (Asian Development Bank, 2004 *in* Wallace *et al.*, 2012). A Figura 10 mostra o mapa de Timor-Leste, incluindo os municípios e as cidades principais.



Figura 10 – Mapa de Timor-Leste

<http://www.asia-turismo.com/mapas/timor-leste.htm>

O território de Timor-Leste encontra-se dividido em treze municípios administrativos [URL 5], são eles: Bobonaro, Liquiçá, Díli, Baucau, Manatuto e Lautém na costa Norte; Cova-Lima, Ainaro, Manufahi e Viqueque na costa Sul; Ermera e Aileu, situados no interior montanhoso e Oécussi-Ambeno, enclave no território da Indonésia. A capital do país é Díli [URL 1].

Os municípios (ex-Distrito), por sua vez, são divididos em 67 postos administrativos (ex-subdistritos) e, por sua vez, estes dividem-se em dois níveis administrativos locais, como unidades de liderança tradicional denominados por sucos, que perfazem um total de 442 que, finalmente, são compostos por 2.225 aldeias (Diploma Ministerial, N^o: 199/GM/MAEOT/IX/09 de 15 de setembro de 2009).

3.1.1. Localização geográfica e divisão administrativa do local de estudo

A área de estudo, Uato-Carbau, está situada na costa Sul de Timor-Leste, sendo um posto administrativo do Município de Viqueque e está dividida em seis

sucos: Irabin de Baixo, Irabin de Cima, Uani-Uma, Afaloicai, Bahatata e Loi Ulu (NSD and UNFPA, 2011). O posto administrativo está localizado no suco Irabin de Baixo e é chamado também Uato-Carbau.

A área de pesquisa deste estudo engloba três sucos, são eles: Irabin de Baixo Uani-Uma, e Afaloicai.

Administrativamente, o Suco Irabin de Baixo é composto por sete aldeias: Beturia, Lacoloro Hoo, Macaqui, Macausa, Taradai, Taradiga e Uatodere. As suas coordenadas geográficas encontram-se centrado no paralelo $8^{\circ}42'0''$ de latitude Sul e no meridiano $126^{\circ}40'59,98''$ de longitude Este [URL 7], com uma área de 24.68 km^2 , sendo habitado por uma população de cerca 2,531 pessoas (NSD and UNFPA, 2011).



Figura 11 – Fotografia aérea do suco Irabin de Baixo

O suco Uani-Uma é constituído por cinco aldeias seguintes: Ala Oli, Boro-Bohae, Osso-Mali, Uatoliloli e Udu. As suas coordenadas geográficas encontram-se centrado no paralelo $8^{\circ}45'19''$ de latitude Sul e no meridiano $126^{\circ}41'12''$ de longitude Leste [URL 6], com uma área de 25.70 km^2 , sendo habitado por uma população de 1,325 pessoas (NSD and UNFPA, 2011).

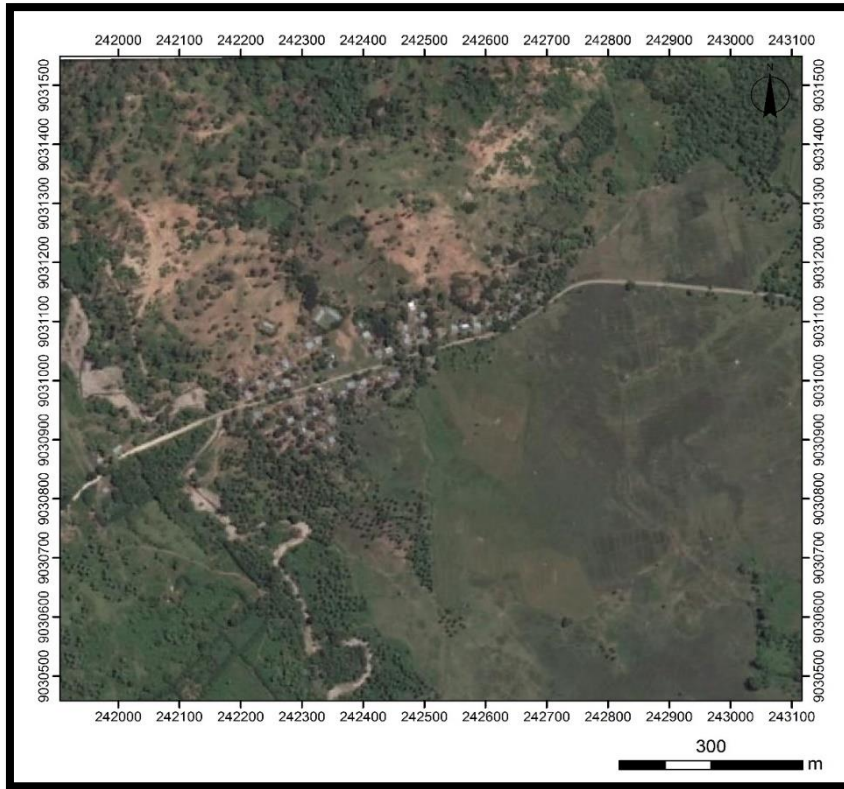


Figura 12 – Fotografia aérea do suco Uani-Uma

O suco Afaloicai é constituído por quatro aldeias: Lacuhu, Lecuala, Kaiwailita e Darlare. As suas coordenadas geográficas encontram-se centrado no paralelo $8^{\circ}41'16.1''$ de latitude Sul e no meridiano $126^{\circ}40'18.01''$ de longitude Leste [URL 8], com uma área de $39,79 \text{ km}^2$, é habitada por 2,159 pessoas (NSD and UNFPA, 2011).

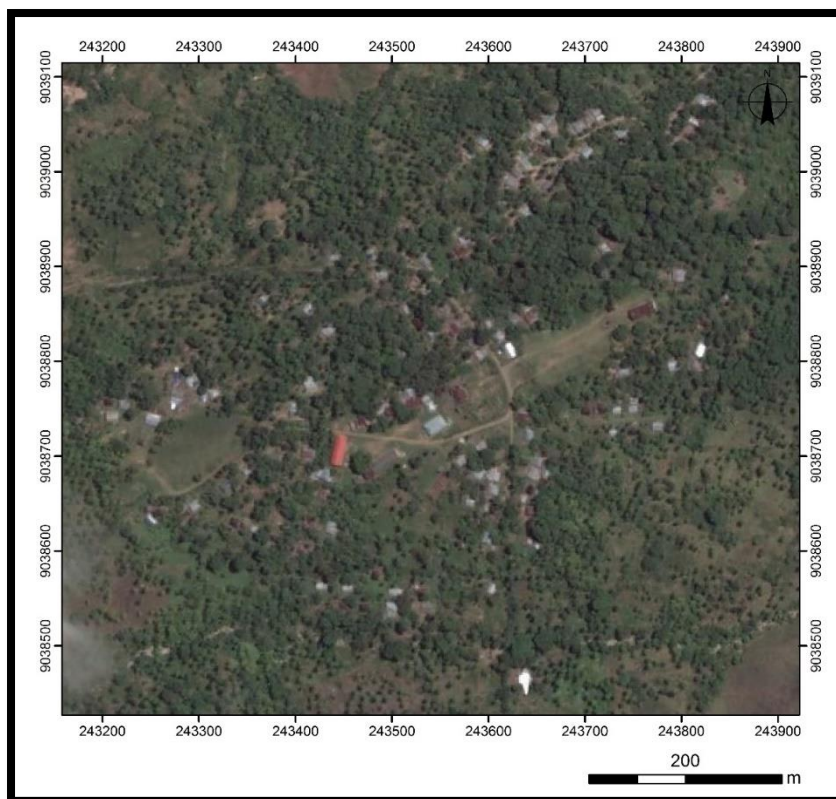


Figura 13 – Fotografia aérea do suco Afaloicai

3.2. Características biogeográficas

3.2.1. Geologia de Timor-Leste

Timor-Leste, geograficamente, encontra-se no sudeste asiático e pertence ao grupo das pequenas Sondas (Nogueira, 2012).

As Ilhas Lesser Sunda são compostas por dois arquipélagos geologicamente distintos, o do norte e o do sul. O do norte, de origem vulcânica, incluindo as ilhas de Bali, Lombok, Sumbawa, Flores e Wetar, começou a ser formado durante o Plioceno, há cerca de 15 milhões de anos, como resultado da subducção e fusão parcial da placa tectónica australiana abaixo da placa euro-asiática; à exceção de Wetar, as ilhas do Arco Interno formaram-se por vulcões que se fundiram com lava e sedimento. As ilhas do arquipélago sul, incluindo Sumba, Timor e Babar, são não-vulcânicas [URL 2], e são compostas por ilhas de origem tectónica (Nogueira, 2012).

A evolução tectónica do território de Timor-Leste enquadra-se no âmbito da evolução do arco insular, com a conseqüente colisão entre a placa Euro-Asiática da ilha do Sudeste Asiático e a borda noroeste da placa Australiana (Carvalho e Lisboa, 2003).

O material geológico de placa Euro-asiática (Banda Arco) é constituído por rochas metamórficas e magmáticas. Os materiais geológicos da margem Noroeste da

Austrália, constituído por sedimentos de idade Pérmica a Cretácico Superior, e os sedimentos armazenados pós-colisão (Miocénico Superior ao Holocénico) (IPG, 2014).

O desenvolvimento do orógeno envolve a colisão entre a margem continental e o complexo de arco, começando a elevar-se acima do nível do mar, desenvolvendo rapidamente elevações topográficas no interior do território de Timor-Leste. O processo de desenvolvimento topográfico referido, atinge 3-5 mm por ano, conforme a figura 14 (Brown *et al.* 2011).

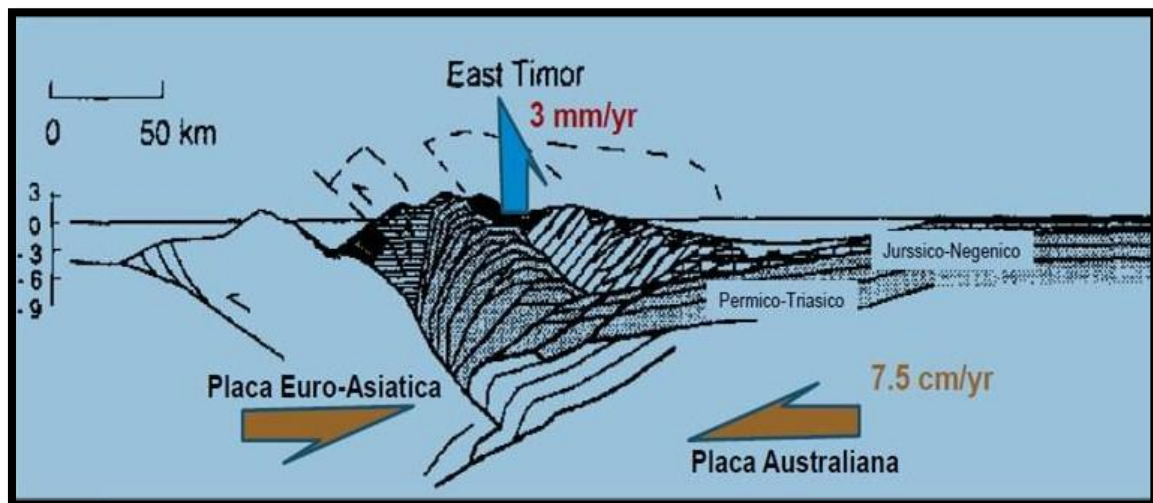


Figura 14 – Tectónica do território de Timor-Leste. Adaptada de (IPG, 2014).

A tectónica que, ultimamente, afeta o território desde o Miocénico, mostra uma geomorfologia com uma cordilheira central ao longo de Timor-Leste, com relevos acentuados e que atingem altitudes muito próximas dos 3000 metros (Carvalho & Lisboa, 2003) no Monte Ramelau.

A geologia das ilhas do arquipélago de Sonda partilham as mesmas características, processos e história das meridionais ilhas Molucas, que estão no prolongamento natural do mesmo arco insular para oriente. As do sul onde Timor-Leste se inclui, pelo contrário, apresentam uma rocha basal idêntica à da margem continental da placa australiana que não foi subductada. Estas ilhas exteriores têm menos de 4 milhões de anos e, a sua geologia à superfície, consiste em complexas rochas sedimentares e metafóricas derivadas de recifes de coral sobre embasamentos rochosos complexos [URL 2].

As rochas existentes em Timor-Leste, podem agrupar-se principalmente em 4 grupos. São eles:

- i) as rochas do complexo de Aileu, de natureza metamórfica;
- ii) a sequência de rochas com origem no continente Gondwana Australiano de origem sedimentar;
- iii) a sequência de rochas com origem no terreno de Banda de origem metamórfica e ígnea;
- iv) a sequência de rochas pós-tectónicas do grupo de Viqueque de origem sedimentar (Nogueira, 2012).

Estas sequências de rochas e a sua posição relativa no território de Timor-Leste encontra-se representada na figura 15.

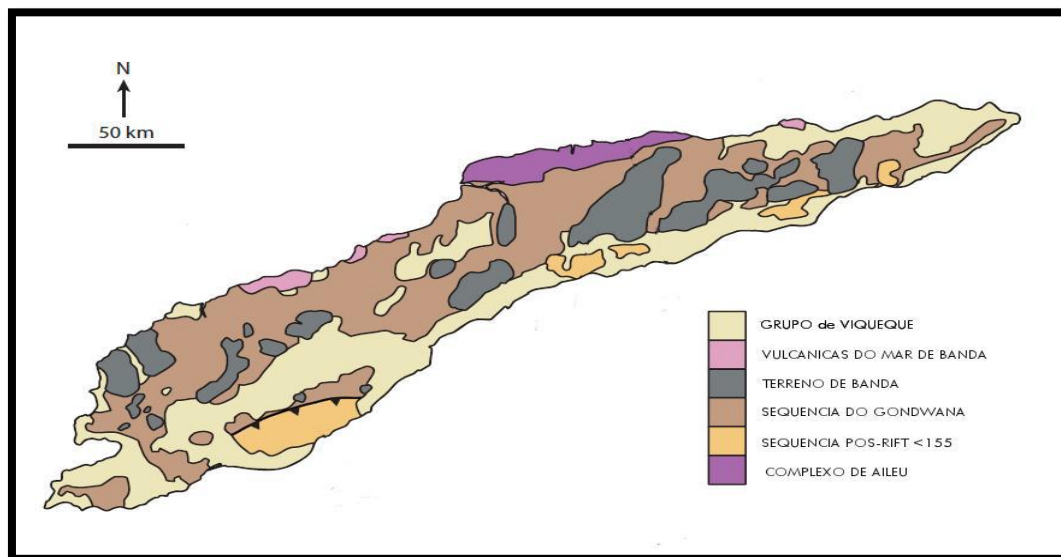


Figura 15 – Sequências de rochas existentes em Timor.
Adaptado de Audley-Charles, 2011 *in* (Nogueira, 2012).

3.2.1.1. Formações Geológicas em Uato-Carbau

No que diz respeito à geologia da área de estudo, não existe nenhuma cartografia geológica nova e atualizada. Assim, aproveitou-se a cartografia geológica de Audley Charles (1968) *in* Carvalho e Lisboa (2003), conforme a figura 16.

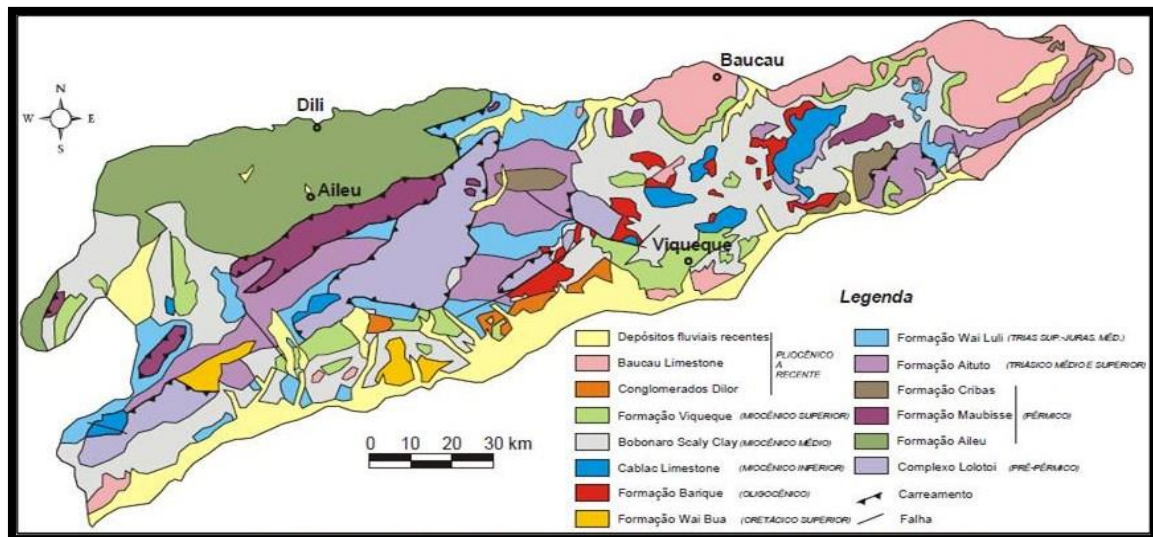


Figura 16 – Carta geológica simplificada de Timor-Leste. (Adaptada Audley Charles, 1968 in Carvalho e Lisboa, 2003).

As formações geológicas da área de estudo, Uato-Carbau, são constituídas por formações correspondentes a depósitos fluviais recentes, à Formação Cribas, à Formação Barique, à Formação do monte Cablac, e à Formação Bobonaro.

A formação Cribas pertence ao extenso sistema do Pérmico. Estratigraficamente dividiu-se em duas subséries, que são: Cribas inferior e Cribas superior. A série inferior apresenta, na base, 100 m de bancadas espessas de grés quartzíticos, sem fósseis, seguidos de 500 m de xistos argilosos, negros, ricos de nódulos calcários e com algumas intercalações de grés quartzíticos e de calcários amarelos, cinzentos ou avermelhados, estes com fauna muito abundante do Pérmico inferior (artículos de crinoides, várias espécies de amonites, ortóceras, corais, lamelibrânquios, briozoários, espongiários, trilobites e foraminíferos) (Leme, 1968).

A série superior é constituída por material argiloso, do tipo *flysch*, sendo constituída por cerca de 500 m de xistos «borra de vinho». Contém, além de muitos nódulos calcários, raras intercalações de calcários vermelhos, de aspeto semelhante aos da série inferior, mas muito menos fossilíferos, com impressões de *Pterinea* sp. e *Crinóides* (Leme, 1968).

A formação Barique pela primeira vez identificada pelo Freytag (1959) in Leme (1968), é constituída por um conglomerado de origem eruptiva, que assenta sobre o Triásico. Os elementos constituintes deste conglomerado são diorito, anfibolito e calcário cristalino. Assim como um calcário muito fossilífero com *Alveolina timorensis*, *Numulitidae* e *Discyclina*, formas comuns no Eocénico de Timor.

A formação do monte Cablac datada do Miocénico inferior, é uma das mais características do território timorense, sob a forma de altos relevos escarpados,

habitualmente conhecidos por "fatus". Ocorrem principalmente ao longo da cordilheira central, a cotas entre os 1500 m e os 2400 m, sendo constituída unicamente por calcários de natureza diversa, desde oolíticos a micríticos e brechóides (Carvalho e Lisboa, 2003).

A formação de Bobonaro é composta por um complexo argiloso. Tem grande distribuição geográfica por todo o território de Timor-Leste e apresenta-se, contudo, muito uniforme em termos litológicos: uma matriz de natureza argilosa que abrange uma enorme variedade de blocos exóticos sub-angulares e de dimensão muito variável (Carvalho e Lisboa, 2003).

3.2.2. Solos

Existem, genericamente, quatro tipos de solos distintos em Timor-Leste, refletindo a geologia regional do território. Geralmente, os solos de Timor-Leste não são muito férteis, não armazenam grandes quantidades de água e são facilmente erodidos. Uma distribuição dos solos de Timor-Leste é a que se apresenta na figura 17.

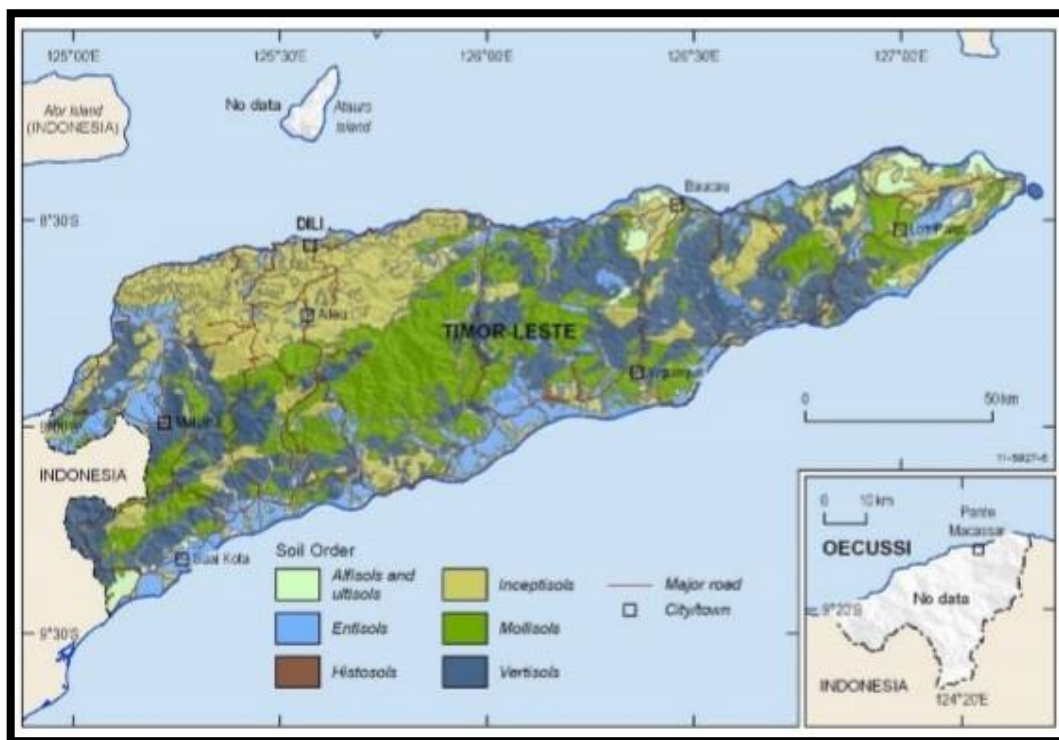


Figura 17 – Mapa do tipo do solo do território nacional de Timor-Leste, refletindo a geologia regional de Timor-Leste. Adaptada, Wallace *et al*, 2012.

Os solos na foz da ribeira Loes, ao sul de Manatuto e a Leste de Baucau, são de formações aluvionares recentes e não são adequadas para a agricultura. Os solos encontrados na região Leste, como em Maliana, Ainaro e Maubisse e em menor

escala em Baucau, Lautem e em Lospalos, são mais férteis e são adequados para a agricultura. Os solos de origem aluvial estão confinados às regiões costeiras ao redor de Díli, Suai e Manatuto e são solos mal drenados. Os solos presentes nas altas montanhas ao redor de Ermera são ricos em matéria orgânica e adaptados para a agricultura (Wallace *et al.*, 2012).

Hélder Lains e Silva *in* Figueiredo, (2004), agrupou os solos de Timor-Leste em três categorias, as quais são derivadas dos xistos metamórficos, das formações sedimentares e das rochas magmáticas.

Os primeiros caracterizam-se por uma textura arenosa ou argilosa, com percentagens diferentes de um ou outro destes componentes. São ricos em azoto e potássio e pobres em cálcio. A sua origem xistosa deve garantir-lhes suficiente riqueza em magnésio e ferro. A composição específica deste tipo do solo torna-o favorável à cultura do café nas zonas com altitudes superiores a 200 metros.

Os segundos são constituídos por derivados de calcários, margas e grés. São comuns em toda a costa sul da ilha. Finalmente, o terceiro grupo, os solos provenientes de formações magmáticas metamorfozadas são de um grande interesse agrícola, ocupando uma larga superfície no sudeste da zona dos xistos, enquanto a pequena área de solos vulcânicos (entre Baguia e Luro) está coberta por floresta primária.

3.2.3. Clima

Em termos de clima, Timor-Leste apresenta um clima tropical húmido (AIP-FCE, 2013), com temperaturas elevadas e uma amplitude térmica pouco significativa (Waldman, 2003). As temperaturas na costa Norte chegam por vezes aos trinta e cinco graus (35⁰ C), podendo até ser mais elevadas em outubro e novembro. Nas zonas de média altitude, durante o dia, a temperatura está por volta dos trinta graus (30⁰ C), descendo, por vezes, até aos vinte graus (20⁰ C) à noite. Nas montanhas a temperatura pode ser agradável durante o dia mas, no geral, é muito baixa, particularmente a temperatura noturna (AIP-FCE, 2013).

A temperatura média anual em Timor-Leste varia entre 21°C e 27°C, como se apresenta na figura 18. Em áreas com maior altitude, a temperatura é menor, como é o caso do Monte Ramelau e do monte Matebian em Baucau.

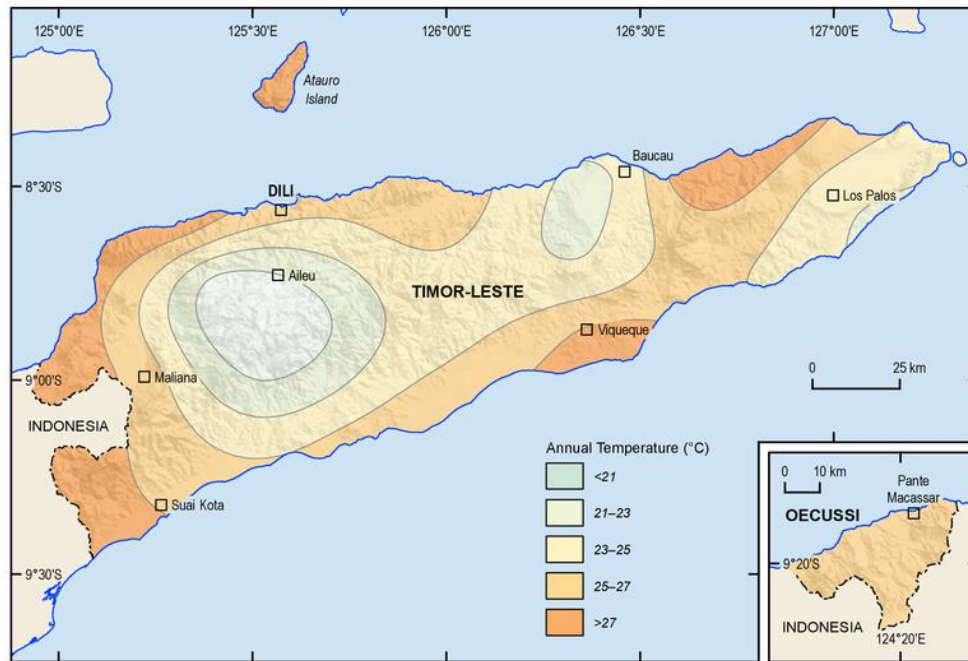


Figura 18. Variação da temperatura média anual em Timor-Leste.

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Average_annual_temperature_of_Timor-Leste.png

A temperatura média anual da área de estudo em Uato-Carbau, no suco Irabin de Baixo e Uani-Uma é de 25.9°C e no suco Afaloicai é de 23°C, conforme se pode verificar pela figura 19.

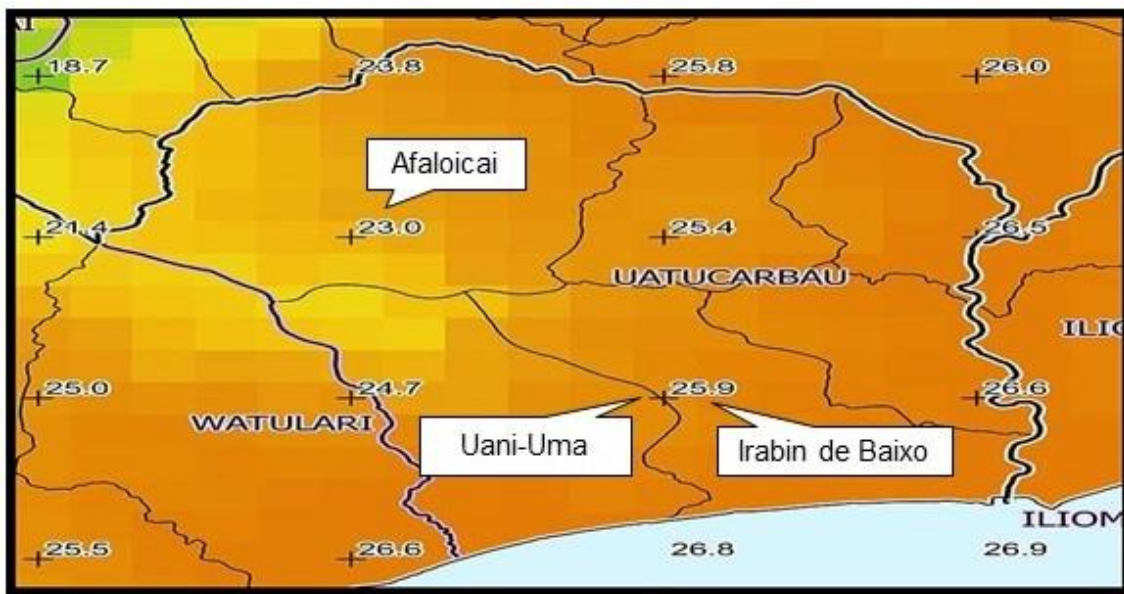


Figura 19 – Temperatura média anual na região de Uato-Carbau.

[http://www.wikiwand.com/de/Uatucarbau_\(Subdistrikt\)](http://www.wikiwand.com/de/Uatucarbau_(Subdistrikt))

Em Timor-Leste existem duas estações anuais: a época seca como consequência da monção de Sudoeste que ocorre de junho a outubro, pelas temperaturas mais amenas, baixos valores de humidade e de precipitação, e a época das chuvas, como consequência da monção de Noroeste, de novembro a maio, altura

do ano que regista precipitação mais elevada, tal como a temperatura e a humidade (AIP-FCE, 2013).

A precipitação média anual em Timor-Leste regista de cerca de 1300 mm. No Norte, a precipitação média anual é de cerca de 500-1000 mm com uma estação seca com duração mais prolongada com cerca de cinco meses. Na faixa montanhosa, a precipitação média anual excede os 2500 mm e a estação seca estende-se por não mais de quatro meses.

Na área de estudo, no Sul, a precipitação é de cerca de 1500-2000 mm, com uma estação seca com a duração mais curta e que não ultrapassa os três meses (Pederson and Arneberg, 2000).

3.2.4. Topografia

O território de Timor-Leste é caracterizado pela presença de uma cadeia montanhosa no seu interior. O pico mais alto localiza-se ao centro da metade ocidental de Timor-Leste e as altitudes diminuem em direção a Leste [URL 4].

O Monte Ramelau é a mais alta montanha de Timor-Leste e, obviamente, possui o ponto mais alto do território, com 2963 metros. Durante a época colonial portuguesa, era conhecido como o pico do Império Português. A montanha situa-se, sensivelmente, 120 km a sul da capital Díli, no posto administrativo de Hato Bulico, Município de Ainaro [URL 3]. O monte Ramelau pertence ao extenso sistema de idade pérmica (Figueiredo, 2004).

Quase todo o litoral da costa Sul forma uma extensa e larga planície. Mas é principalmente entre Betano e Viqueque que a planície atinge proporções notáveis: formam-se as faixas planas de Alas e Quirás, de Luca e de Bibiluto. Posteriormente, a planície litoral estreita bastante, mas ainda são notáveis as baixas de Suai, de Rai Mean, de Betano e de Loré. Na costa Norte de Oeste para Leste, as principais planícies são de Batugede, a da ribeira de Lóis, a de Metinaro, e a de Manatuto.

O enclave de Oécussi é também acidentado mas não apresenta as altitudes da parte ocidental do território principal do município. Destacam-se, o monte Soli com 1100 metros, a Sudeste de Pante Macassar.

A ilha de Ataúro, para a sua extensão, é muito montanhosa, especialmente na sua parte Sul, onde se destaca o pico Toro, com mais de 1000 metros de altitude. A topografia do território de Timor-Leste é mostrada na figura 20.

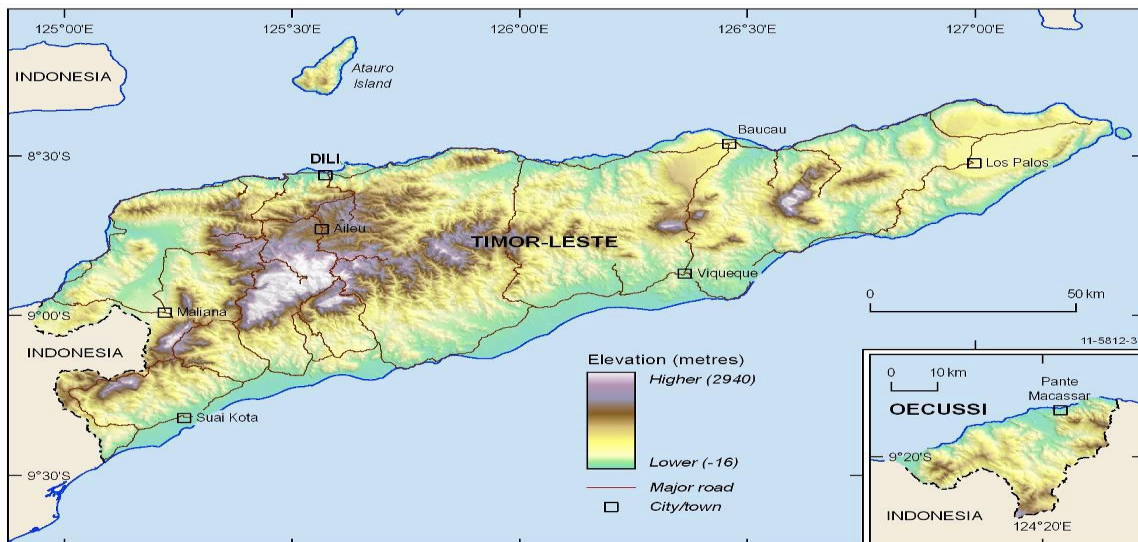


Figura 20 – Topografia de Timor-Leste.
Adaptado Wallace *et al.* (2012).

3.2.5. Uso do solo

Em Timor-Leste, as atividades de agricultura são focados na produção do milho, de arroz e do café em diferentes municípios de Timor-Leste. O milho é a fonte de alimento mais importante em Timor-Leste e o seu cultivo depende da quantidade de precipitação na estação chuvosa. O arroz é o segundo alimento mais importante e é cultivado principalmente durante a estação chuvosa, contando com irrigação natural. O café é a cultura de rendimento mais importante cultivada em Timor-Leste, sendo responsável por aproximadamente 90% das divisas do país (Wallace *et al.* 2012).

Segundo Vong *et. al*, 2006 *in* Wallace *et al.*, 2012, as áreas em Timor-Leste que são utilizadas para o cultivo de arroz situam-se em: no município Manufahi, Manatuto, Baucau, Lospalos, Bobonaro, Covalima assim como em Viqueque, com cerca de 61 a 91% de famílias a cultivar o arroz, conforme a figura 21 mostra.

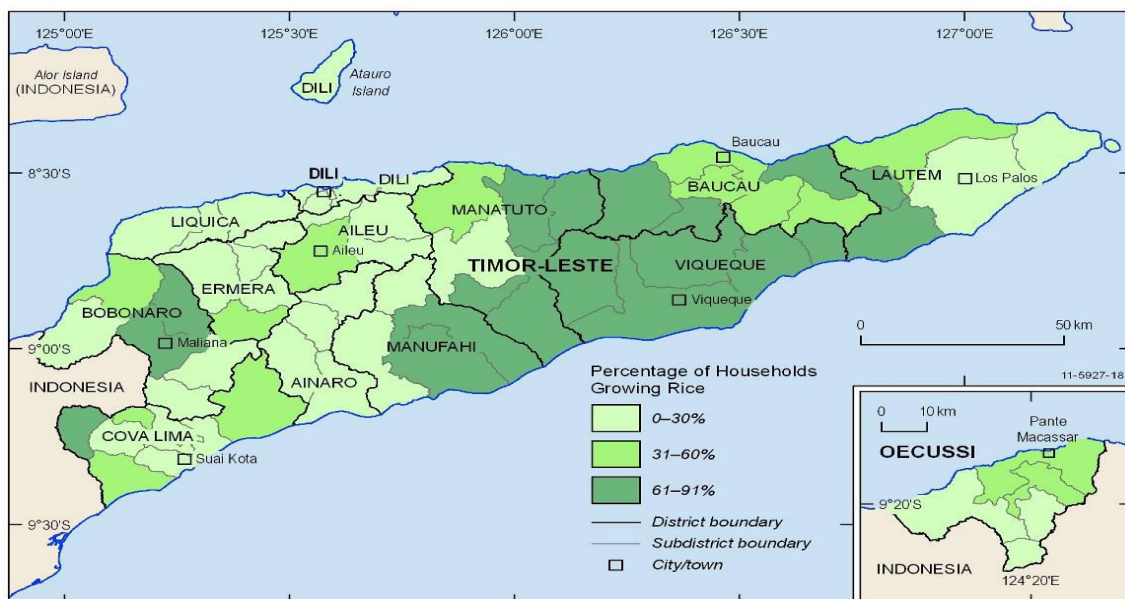


Figura 21 – Áreas de cultivo de arroz em Timor-Leste.
Adaptada Vong *et. al.*, 2006 in Wallace *et. al.*, 2012.

3.2.5.1. Uso do solo no local de estudo em Uato-Carbau

Relativamente ao uso do solo, em Uato-Carbau, ele é maioritariamente usado para o cultivo de arroz.

Existem três grandes campos de arroz no suco Irabin de Baixo, nomeadamente Baidubu, Wailaha e Hae-Oli. Estes três campos, na sua totalidade, perfazem mais de 1400 hectares de área, contudo, apenas cerca de 35% desta área está a ser utilizada para o cultivo do arroz, permanecendo a restante abandonada.

No suco Uani-Uma, o campo de arroz é designado por Como-Oli, com uma área de 400 hectares e toda esta área é usada para o cultivo de arroz.

3.3. Recursos hídricos subterrâneos

Foram identificadas três principais tipos de aquíferos no território de Timor-Leste, que são:

- i) aquíferos em rochas porosas sedimentares, com uma porosidade intergranular, associados aos vales de rios e terras baixas costeiras;
- ii) aquíferos fissurados de formações cársticas, instalados em rochas de natureza calcária;
- iii) aquíferos instalados em rochas fraturadas, de origem magmática e em rochas metamórficas com alguma componente argilosa.

O tipo de aquífero e o seu posicionamento relativo ao território de Timor-Leste encontra-se ilustrado na figura 22 (Wallace *et al.*, 2012).

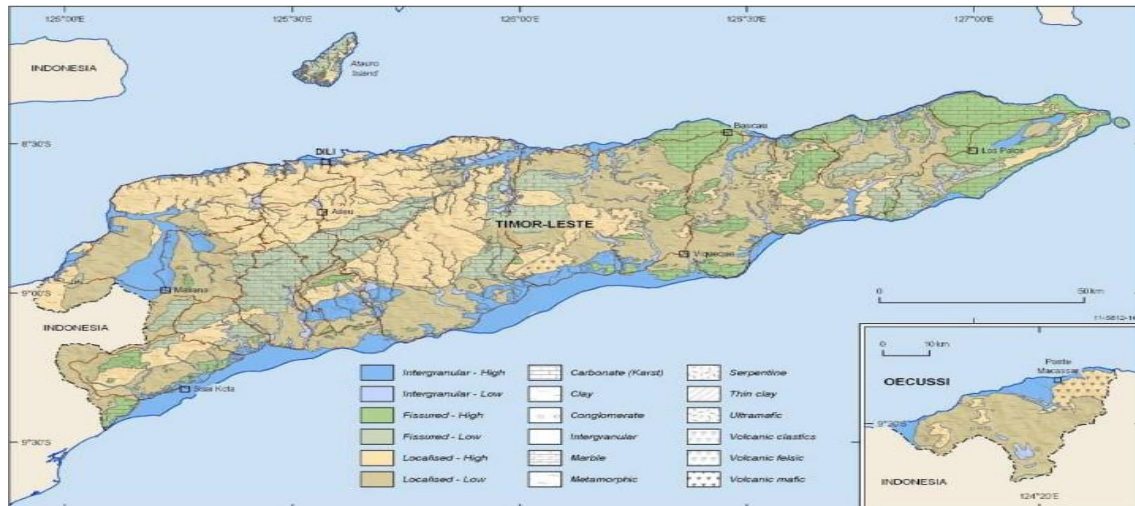


Figura 22 – Mapa simplificado dos sistemas hidrogeológicos do território de Timor-Leste. Adaptado de Wallace *et al.* (2012).

Os aquíferos sedimentares intergranulares são localizados, essencialmente, ao longo da costa de Timor-Leste, estando centrados em torno de canais fluviais, sendo suscetíveis a redução do armazenamento de água e à intrusão salina devido a mudanças na precipitação e à elevação do nível médio do mar. Como exemplos de aquíferos sedimentares intergranulares, podemos referir o aquífero de Díli e de Hera.

Os aquíferos fissurados cársicos localizam-se, principalmente, no Leste de Timor-Leste e a sua produtividade é suscetível a mudanças na precipitação. Exemplos de aquíferos fissurados cársicos, incluem o aquífero do calcário cársico de Baucau e o aquífero calcário em Lospalos.

Quanto os aquíferos fraturados, localizam-se principalmente no Oeste de Timor-Leste e, a sua produtividade também é suscetível a mudanças na precipitação. Os exemplos deste tipo do aquífero incluem as regiões de Aileu, Liquiçá, Ermera e Maliana.

A profundidade da água subterrânea em Timor-Leste é variável, dependendo do tipo de aquífero. Wallace *et al.* (2012) revela que a profundidade do nível da água, por exemplo em Aileu, é de 10 a 25 metros, indicando que a água subterrânea pode ser concentrada em níveis pouco profundos com fluxo focado em conjuntos de fraturas superficiais. Isto é consistente com o típico fluxo de água subterrânea em aquíferos fraturados que se concentram mais perto da superfície.

3.3.1. A captação de água subterrânea em Uato-Carbau

A água subterrânea para o consumo humano em Uato-Carbau é captada em furo e em poço. A captação de água em furo, normalmente com uma bomba elétrica ou manual instalada, que funciona para bombear a água para o tanque de armazenamento da água, tal como mostram as figuras 23, 24 e 25.



Figura 23 – Captação de água em furo com uma bomba elétrica instalada.
Foto: Higinio de Sousa Amaral (dia 17 de Julho de 2015).



Figura 24 – Captação de água em furo com uma bomba manual instalada.
Foto: Higinio de Sousa Amaral (dia 17 de Julho de 2015).



Figura 25 – Captação de água em poço
Foto: Higinio de Sousa Amaral (dia 13 de Julho de 2015).

3.3.2. Vulnerabilidade das captações de água subterrânea

3.3.2.1. Vulnerabilidade associada à mudança climática

Existem dois riscos da mudança climática para os aquíferos em Timor-Leste: mudanças na quantidade de precipitação e a elevação do nível do mar (Wallace *et al.*, 2012).

No primeiro, uma mudança nas condições climáticas tem o potencial de mudar a frequência e a época das chuvas, alterando assim os regimes de recarga das águas subterrâneas e alterando a disponibilidade da água subterrânea. A medida em que a disponibilidade de água subterrânea é alterada, para um sistema aquífero em particular, é dependente da natureza da mudança climática nesse local relevante e da sensibilidade dos processos de recarga para essas mudanças. As projeções de mudanças climáticas em Timor-Leste indicam que uma proporção crescente de chuva vai cair em eventos intensos durante a estação chuvosa e que haverá estações secas mais prolongadas (BOM CSIRO, 2011 *in* Wallace *et al.*, 2012). O aumento de intensidade da precipitação pode aumentar ou diminuir a recarga dependendo dos fatores locais que lhe são inerentes.

Quanto no segundo, a elevação do nível do mar alcança a mudança do equilíbrio dinâmico da interface das águas subterrâneas-água do mar e pode causar a intrusão de água salgada nos aquíferos litorais. Isso deve afetar, permanentemente, a qualidade das águas subterrâneas tornando-as impróprias para consumo. Além da intrusão no subsolo da água do mar, o aumento do nível do mar também pode resultar na inundação de superfícies das regiões costeiras de baixa altitude e aumentar a frequência e a intensidade das inundações, mesmo que temporárias, através da ocorrência de tempestades. Este facto também pode contribuir para a intrusão de água do mar nos aquíferos costeiros.

3.3.2.2. Vulnerabilidade associada à fonte de contaminação

Os problemas de contaminação dos recursos hídricos subterrâneos podem estar associados a fontes pontuais específicas. A fonte de contaminação pode ser numerosa e diversa, incluindo a disposição inadequada de resíduos, o uso e armazenamento de produtos químicos, a má instalação e manutenção de fossas sépticas, o lançamento de águas residuais doméstica em locais inapropriados, a má localização de lagoas de armazenamento de resíduos utilizados pelas indústrias, entre outras (Wallace *et al.*, 2012).

Muitos poços domésticos encontram-se em risco, não só pela forma como por vezes são construídos, mas também pelo facto de nas suas proximidades se desenvolverem um sem número de atividades antrópicas com elevado potencial de poluição como, por exemplo, poluição com detergente de lavar roupa, com as águas residuais de lavar louça, com sabonetes e outras substâncias que são utilizados pelas habitantes com regularidade. Assim, qualidade das águas subterrâneas, em termos da sua adequação para o consumo humano, fica afetada.

3.3.3. Avaliação da vulnerabilidade dos recursos hídricos subterrâneos em Uato-Carbau

Existem numerosos métodos de análise da vulnerabilidade de um sistema aquífero à poluição, desde os mais simples até os mais complexos. No presente estudo, foi escolhido o índice DRASTIC, devido a sua facilidade de aplicação, para este local de estudo em particular. O índice DRASTIC foi aplicado quer na sua versão normal quer na sua versão pesticida. Parâmetro a parâmetro, os resultados são os que se apresentam nos pontos que se seguem.

3.3.3.1. Profundidade do nível freático da água subterrânea (D)

Os dados para a definição deste parâmetro, foram obtidos através de medições, efetuadas entre os dias 10 a 18 do mês de Julho de 2015, nas captações de água dos habitantes em Irabin de Baixo, Uani-Uma e Afaloicai. Geralmente, os poços são pertença de privados, com exceção de um poço em Uacasa Lale, que é de uso público, um poço na escola pré-secundária Uato-Carbau, que é pertença da própria esta escola, bem como um poço perfurado, fornecido pelo governo para as populações do suco de Irabin de Baixo e de Uani-Uma, localizado perto do poço da escola.

Existem 24 poços em Irabin de Baixo, 18 poços em Uani-Uma e 6 poços em Afaloicai. A profundidade do nível freático, nestes locais, é bastante variável, obtendo-

se valores entre 0 e 13 metros, conforme os dados registados nas figuras 26 e 27, e nas tabelas 9, 10 e 11.



Figura 26 – Poços em Irabin de Baixo, onde se observa o nível freático, relativamente próximo da superfície do terreno. Foto: Higinio de Sousa Amaral (dia 15 de Julho de 2015).



Figura 27 – Poço em Uani-Uma onde se observa o nível freático, relativamente profundo (13m). Foto: Higinio de Sousa Amaral (dia 12 de Julho de 2015).

Tabela 9 – A profundidade do nível freático medida em poços e num furo em Irabin de Baixo.

| Aldeia | Nome do proprietário | Profundidade do nível freático (m) | Profundidade do poço (m) | Espessura saturada (m) |
|--------------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------|------------------------|
| Laculoro Hoo | Adolfo Marques | 10 | 12 | 2 |
| | Alberto Fernandes | 10 | 12 | 2 |
| | Clementino Kefi | 8 | 10 | 2 |
| | Francisco Pinto | 11 | 13 | 2 |
| | Manuel Luís | 1 | 2,5 | 1,5 |
| | Mário Nuno | 11 | 13 | 2 |
| | Onofre Henrique | 10 | 12 | 2 |
| | Sebastião Pinto | 10 | 12 | 2 |
| Macaqui | Luís da Silva | 0,42 | 1,5 | 1,08 |
| | Manuel Gaspar | 12 | 13 | 1 |
| Taradai | Armando Pinto | 6 | 8 | 2 |
| | Avelino Kefi | 6 | 8 | 2 |
| | Ensino pré-secundário Uato-Carbau | 6 | 7,5 | 1,5 |
| | Jacinto | 6 | 8 | 2 |
| | Luís | 6 | 7 | 1 |

| | | | | |
|---------------------------|---|------------------------|------|------------------------|
| | Mariano (Uato-khi) | 6 | 8 | 2 |
| | Uacasa Lale | 0 | 0,46 | 0,46 |
| | Ursula | 6 | 7 | 1 |
| | Poço perfurado na escola pré-secundária Uato-Carbau | 6 | 100 | 94 |
| Macausa | Emílio Gaspar | 10 | 12 | 2 |
| | Jaime Quintão | 4 | 6 | 2 |
| Taradiga | Lindolfo Fernandes | 11 | 13 | 2 |
| | Marçal dos Santos de Carvalho | 7 | 9 | 2 |
| | Miguel Gomes | 7 | 9 | 2 |
| Profundidade média | | 170,42/24= 7,10 | | 133,54/24= 5,56 |

Tabela 10 – A profundidade do nível freático medida em poços em Uani-Uma.

| Aldeia | Nome do proprietário | Profundidade do nível freático (m) | Profundidade do poço (m) | Espessura saturada (m) |
|---------------------------|----------------------|------------------------------------|--------------------------|------------------------|
| Osso-Mali | Lino Pereira | 4 | 6 | 2 |
| Udu | António Soares | 3 | 5 | 2 |
| | Raul Soares | 13 | 15 | 2 |
| Uatoliloli | Abílio Ferreira | 1,5 | 3,50 | 2 |
| | Agostinho da Silva | 1 | 3 | 2 |
| | Bernardo Pinto | 2 | 4 | 2 |
| | Eurico da Costa | 5 | 7 | 2 |
| | Jacinto Fernandes | 4 | 6 | 2 |
| | Jerónimo de Oliveira | 5 | 7,5 | 2,5 |
| | João Baptista | 6,5 | 8,5 | 2 |
| | Matias Faria | 1 | 3 | 2 |
| | Óscar Soares | 7 | 9 | 2 |
| | Paul Quintão | 3 | 5 | 2 |
| Ala Oli | Arnaldo Fernandes | 6 | 8 | 2 |
| | Eugénio Soares | 4 | 6 | 2 |
| | Gaspar F. Pinto | 5 | 7 | 2 |
| Boro-Bohae | Luís da Costa Amaral | 7 | 9 | 2 |
| | Luís Fernandes | 2 | 4 | 2 |
| Profundidade média | | 80/18=4,44 | | 36,5/18= 2,03 |

Tabela 11 – A profundidade do nível freático medida em poços em Afaloicai.

| Aldeia | Nome do proprietário | Profundidade do nível freático (m) | Profundidade do poço (m) | Espessura saturada (m) |
|---------------------------|----------------------|------------------------------------|--------------------------|------------------------|
| Lacuhu | Manuel Gaspar | 0,5 | 1,5 | 1 |
| | Domingos (Gondaria) | 0,5 | 1,5 | 1 |
| | José Gaspar | 0,5 | 1,5 | 1 |
| | João Gaspar | 3 | 4 | 1 |
| Daralari | Marcos (Caimaletura) | 0,5 | 1,5 | 1 |
| Kaiwailita | António Major | 5 | 6 | 1 |
| Profundidade Média | | 10/6=1,67 | | 6,0/6 = 1,0 |

Para este parâmetro, profundidade do nível freático (D), nos locais em estudo, de acordo com o método DRASTIC o valor obtido é o que se na tabela 12.

Tabela 12 – Valor do parâmetro “profundidade de água (D)” para os locais de estudo, de acordo com as tabelas do Índice DRASTIC.

| Local de estudo | Peso | Profundidade (D) | Em conformidade com DRASTIC | Valor do parâmetro |
|-----------------|------|------------------|-----------------------------|--------------------|
| Irabin de Baixo | 5 | 7,10 (m) | 4,6-9,1 (m) | 7 |
| Uani-Uma | | 4,44 (m) | 1,5-4,6 (m) | 9 |
| Afaloicai | | 1,67 (m) | 1,5-4,6 (m) | 9 |

3.3.3.2. Recarga do aquífero (R)

A recarga da água subterrânea é a percolação das águas subterrâneas por infiltração de águas superficiais num aquífero. Os aquíferos são recarregados por infiltração direta da água de chuva ou por vazamento de rios e lagos. Geralmente, a recarga é expressa como a quantidade de água que entra num aquífero ao longo de um dado período de tempo e é, normalmente, medida em milímetros por ano (Wallace *et al.* 2012).

Para obter os dados de recarga dos aquíferos neste estudo, usaram-se os dados da precipitação anual do local de estudo, conforme se representa na figura 28.

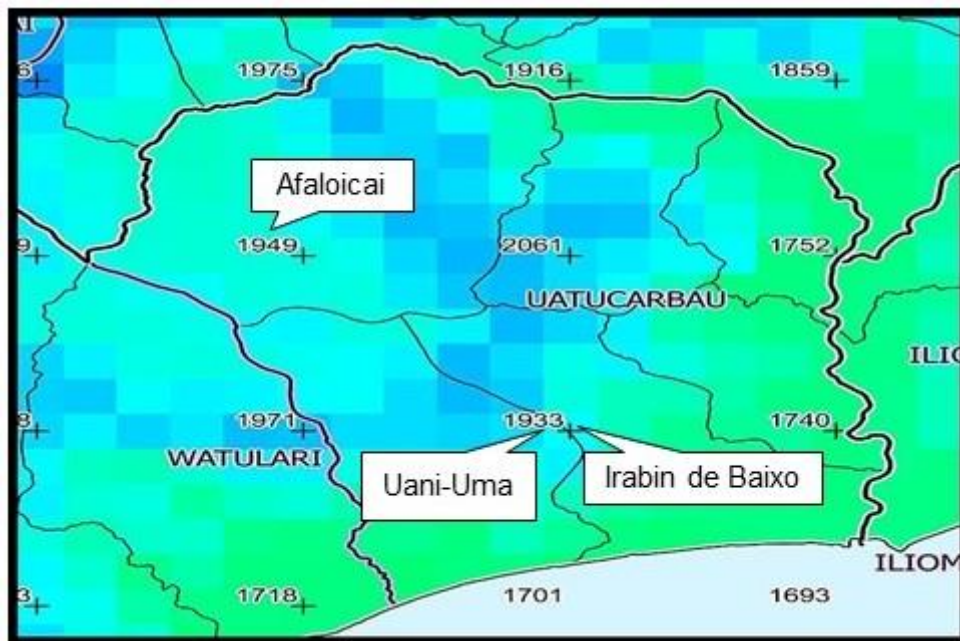


Figura 28 – Precipitação Anual do Suco Irabin de Baixo, Uani-Uma e Afaloicai.

[http://www.wikiwand.com/de/Uatucarbau_\(Subdistrikt\)](http://www.wikiwand.com/de/Uatucarbau_(Subdistrikt))

Baseada nos dados constantes na figura 28, assumimos um valor para a recarga do aquífero da ordem de 10% do valor da precipitação média anual do local de estudo, assumindo que, em média, a recarga do aquífero será de apenas 10% da precipitação. Para este parâmetro, recarga do aquífero (R), nos locais em estudo, de acordo com o método DRASTIC o valor obtido é o que se na tabela 13.

Tabela 13 – Valor do parâmetro “recarga (R)” para os locais de estudo, de acordo com as tabelas do Índice DRASTIC.

| Local de estudo | Peso | Recarga (R) | Em conformidade com DRASTIC | Valor do parâmetro |
|-----------------|------|--------------|-----------------------------|--------------------|
| Irabin de Baixo | 4 | 193,3 mm/ano | 178-254 (mm/ano) | 8 |
| Uani-Uma | | 193,3 mm/ano | 178-254 (mm/ano) | 8 |
| Afaloicai | | 194,9 mm/ano | 178-254 (mm/ano) | 8 |

3.3.3.3. Material de aquífero (A)

Os dados deste parâmetro foram obtidos através da carta geológica de Timor-Leste, adaptada de Audley Charles, 1968 *in* Carvalho e Lisboa, 2003, e é a que consta da figura 29.

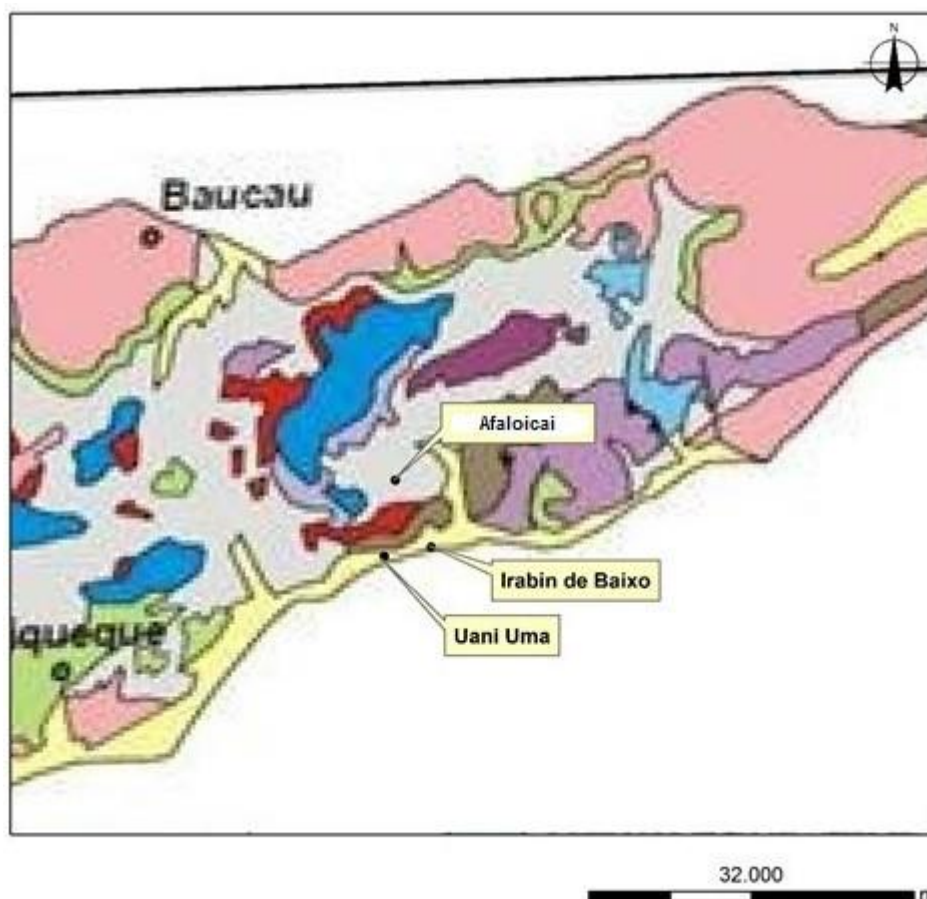


Figura 29 – Carta geológica do local em estudo. Adaptada de Audley Charles, 1968 in Carvalho e Lisboa, 2003.

O parâmetro “material do aquífero” corresponde à camada rochosa, ou de outro material natural, que tem um papel importante no armazenamento da água no aquífero. O tipo de materiais que constituem os aquíferos do local de estudo, são do tipo arenitos, em Irabin de Baixo e Uani-Uma, e materiais do complexo argiloso em Afaloicai, tal como se regista na tabela 14.

Tabela 14 – Valor do parâmetro “material do aquífero (A)” para os locais de estudo, de acordo com as tabelas do Índice DRASTIC.

| Local de estudo | Peso | Tipo do material do aquífero (A) | Em conformidade com o DRASTIC | Valor do parâmetro | Valor Típico |
|-----------------|------|----------------------------------|-------------------------------|--------------------|--------------|
| Irabin de Baixo | 3 | Arenitos | Areia e cascalho | 4-9 | 8 |
| Uani-Uma | | Arenitos | Areia e cascalho | 4-9 | 8 |
| Afaloicai | | Complexo argiloso | Xisto argiloso | 1-3 | 2 |

3.3.3.4. Tipo do solo (S)

A identificação do tipo de solo no local de estudo é baseada na carta geológica do local em estudo (ver figura 29). O tipo do solo em Irabin de Baixo é composto por solo do tipo arenoso, em Uani-Uma é constituído por solo do tipo arenoso e em Afaloicai é formado por solo do tipo franco argiloso, tal como se regista na tabela 15.

Tabela 15 – Valor do parâmetro “tipo do solo (S)” para os locais de estudo, de acordo com as tabelas do Índice DRASTIC.

| Local de estudo | Peso | Tipo do solo (S) | Em conformidade com o DRASTIC | Valor do parâmetro |
|-----------------|------|------------------|-------------------------------|--------------------|
| Irabin de Baixo | 2 | Arenoso | Areia | 9 |
| Uani-Uma | | Arenoso | Areia | 9 |
| Afaloicai | | Franco argiloso | Franco argiloso | 3 |

3.3.3.5. Topografia (T)

Para determinar a topografia do local de estudo, utilizou-se o *software Google Earth*, identificando-se a área correspondente aos três sucos em análise e, posteriormente, criou-se uma rede de perfis topográficos, ao longo dos quais foi medido o respetivo declive.

De forma a cobrir a área em questão, de forma mais ou menos equivalente, desenhou-se uma rede com sete perfis verticais (ou N-S) e três perfis horizontais (ou E-W), conforme se ilustra nas imagens 30, 31 e 32, representativas de cada um dos sucos.

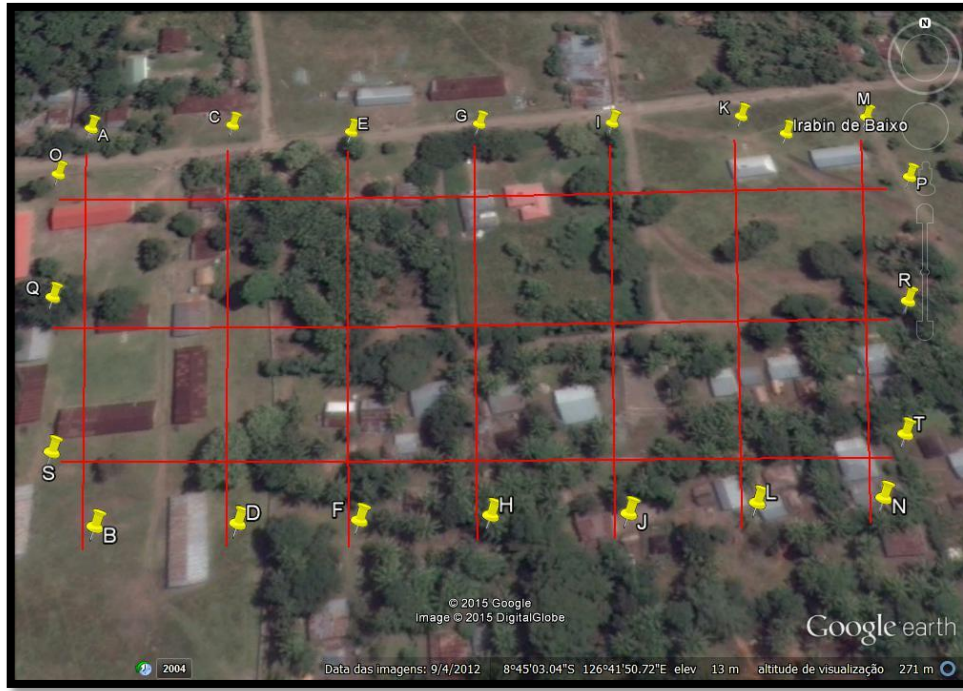


Figura 30 – Rede de perfis do suco Irabin de Baixo.



Figura 31 – Rede de perfis do suco Uani-Uma.



Figura 32 – Rede de perfis do suco Afoloicai.

Assim, para cada perfil, registou-se o seu comprimento, a cota inicial e a cota final, modo a determinar-se o valor do declive de cada perfil e, assim, chegar-se ao valor médio do declive da área. Os dados obtidos estão registados nas tabelas 16, 17, 18, 19, 20 e 21.

Tabela 16 – Perfis de orientação Norte-Sul (N-S) do suco Irabin de Baixo.

| Nº | Linha | Comprimento (m) | Cota inicial | Cota final | d (%) |
|----|--------------|-----------------|--------------|------------|------------|
| 1. | AB | 160 | 17 | 12 | 3,1 |
| 2. | CD | 160 | 15 | 11 | 2,5 |
| 3. | EF | 160 | 15 | 11 | 2,5 |
| 4. | GH | 160 | 15 | 11 | 2,5 |
| 5. | IJ | 160 | 15 | 12 | 1,9 |
| 6. | KL | 160 | 16 | 12 | 2,5 |
| 7. | MN | 160 | 15 | 12 | 1,9 |
| | Média | | | | 2,4 |

Tabela 17 – Perfis de orientação Este-Oeste (E-W) do suco Irabin de Baixo.

| Nº | Linha | Comprimento (m) | Cota inicial | Cota final | d (%) |
|----|--------------|-----------------|--------------|------------|------------|
| 1. | OP | 354 | 16 | 15 | 0,3 |
| 2. | QR | 354 | 14 | 14 | 0 |
| 3. | ST | 354 | 13 | 13 | 0 |
| | Média | | | | 0,1 |

Tabela 18 – Perfis de orientação Norte-Sul (N-S) do suco Uani-Uma.

| Nº | Linha | Comprimento (m) | Cota inicial | Cota final | d (%) |
|----|--------------|-----------------|--------------|------------|------------|
| 1. | AB | 180 | 28 | 13 | 8,3 |
| 2. | CD | 180 | 26 | 13 | 7,2 |
| 3. | EF | 180 | 24 | 12 | 6,6 |
| 4. | GH | 180 | 23 | 12 | 6,1 |
| 5. | IJ | 180 | 22 | 12 | 5,5 |
| 6. | KL | 180 | 21 | 12 | 5,0 |
| 7. | MN | 180 | 21 | 12 | 5,0 |
| | Média | | | | 6,2 |

Tabela 19 – Perfis de orientação Este-Oeste (E-W) do suco Uani-Uma.

| Nº | Linha | Comprimento (m) | Cota inicial | Cota final | d (%) |
|----|--------------|-----------------|--------------|------------|------------|
| 1. | OP | 290 | 24 | 19 | 1,7 |
| 2. | QR | 290 | 17 | 14 | 1,0 |
| 3. | ST | 290 | 15 | 12 | 1,0 |
| | Média | | | | 1,2 |

Tabela 20 – Perfis de orientação Norte-Sul (N-S) do suco Afaloicai.

| Nº | Linha | Comprimento (m) | Cota inicial | Cota final | d (%) |
|----|--------------|-----------------|--------------|------------|------------|
| 1. | AB | 160 | 468 | 465 | 1,9 |
| 2. | CD | 160 | 463 | 460 | 1,9 |
| 3. | EF | 160 | 458 | 455 | 1,9 |
| 4. | GH | 160 | 454 | 450 | 2,5 |
| 5. | IJ | 160 | 449 | 445 | 2,5 |
| 6. | KL | 160 | 445 | 441 | 2,5 |
| 7. | MN | 160 | 441 | 436 | 3,1 |
| | Média | | | | 2,3 |

Tabela 21 – Perfis de orientação Este-Oeste (E-W) do suco Afaloicai.

| Nº | Linha | Comprimento (m) | Cota inicial | Cota final | d (%) |
|----|--------------|-----------------|--------------|------------|------------|
| 1. | OP | 340 | 469 | 439 | 8,8 |
| 2. | QR | 340 | 468 | 437 | 9,1 |
| 3. | ST | 340 | 466 | 434 | 9,4 |
| | Média | | | | 9,1 |

O valor do declive, em percentagem, foi determinado sabendo a cota inicial e a cota final, assim como o comprimento do perfil. O valor obtém-se pela razão entre a diferença entre a cota inicial e final (numerador) e o comprimento do perfil (denominador), expressa na seguinte fórmula:

$$d = \frac{\text{Cota Inicial} - \text{Cota Final}}{\text{Comprimento}} \times 100 \quad (9)$$

O declive médio global (DMG) do local de estudo, foi obtido utilizando-se a seguinte expressão:

$$\text{DMG} = \frac{(\text{dMPNS} \times 7) + (\text{dMPEW} \times 3)}{10} \quad (10)$$

Na qual:

- dMPNS – declive médio dos perfis Norte – Sul;
- dMPEW – declive médio dos perfis Este – Oeste.

Assim, os resultados obtidos, em relação à topografia da área, são os que se apresentam na tabela 22.

Tabela 22 – Valor do parâmetro “topografia (T)” para os locais de estudo, de acordo com as tabelas do Índice DRASTIC.

| Local | Peso | Declive (D) % | Em conformidade com DRASTIC | Valor do parâmetro |
|-----------------|------|------------------|--------------------------------|-----------------------|
| Irabin de Baixo | 1 | 1,71 | 0-2 (por cento do declive) | 10 |
| Uani-Uma | | 4,70 | 2-6 (por cento do declive) | 9 |
| Afaloicai | | 4,34 | 2-6 (por cento do declive) | 9 |

3.3.3.6. Impacto da zona não saturada (I)

O impacto da zona não saturada refere-se à camada acima do nível freático, sob a forma de material rochoso, ou como uma camada de solo. Esta zona tem como função principal, essencialmente, contribuir para a diminuição dos efeitos adversos dos contaminantes antes destes chegarem ao meio aquífero.

A identificação desta zona baseia-se no tipo de solo e das rochas que constituem a camada acima do nível freático de um aquífero. Os tipos de solo, que constitui a zona não saturada dos aquíferos em Uato-Carbau, são, predominantemente arenoso e franco argiloso, tal como se regista na tabela 23.

Tabela 23 – Valor do parâmetro “impacto da zona não saturada (I)” para os locais de estudo, de acordo com as tabelas do Índice DRASTIC.

| Local de estudo | Peso | Tipologia do solo na zona não saturada (I) | Em conformidade com DRASTIC | Valor do parâmetro | Valor típico |
|-----------------|------|--|-----------------------------|--------------------|--------------|
| Irabin de Baixo | 5 | Materiais arenosos | Areia e cascalho | 6-9 | 8 |
| Uani-Uma | | Materiais arenosos | Areia e cascalho | 6-9 | 8 |
| Afaloicai | | Complexo argiloso | Xisto argiloso | 2-5 | 3 |

3.3.3.7. Condutividade hidráulica (C)

A condutividade hidráulica traduz-se como a velocidade com que a água consegue atravessar um determinado terreno ou formação geológica e, como tal, depende da permeabilidade e da porosidade daquele meio. Para avaliar a condutividade hidráulica, dos sistemas aquíferos existentes na nossa área de estudo, na ausência de ensaios realizados no terreno, socorremo-nos de valores daquele parâmetro, que existem publicados na bibliografia da especialidade (ver tabela 24).

Tabela 24 – Condutividade hidráulica (K) para diferentes meios aquíferos, de acordo com bibliografia da especialidade (Mineiro, 1970).

| Material | Condutividade hidráulica (cm/s) | Valor médio (cm/s) | Condutividade hidráulica (m/dia) |
|--|---------------------------------|--------------------|----------------------------------|
| Argila | $10^{-9} - 10^{-6}$ | 10^{-8} | 0,00000864 |
| Silte, sedimentos arenosos, argilosos, areia | $10^{-6} - 10^{-4}$ | 10^{-5} | 0,00864 |
| Areias siltosos, areias finas | $10^{-5} - 10^{-3}$ | 10^{-4} | 0,0864 |
| Areias bem selecionados, outwash glacial | $10^{-3} - 10^{-1}$ | 10^{-2} | 8,64 |
| Cascalho bem classificados | $10^{-2} - 1$ | 10^{-1} | 86,4 |

Assim, de acordo com a tabela anterior, foi possível determinar o valor atribuído ao parâmetro “condutividade hidráulica”, em relação a cada um dos tipos de meio presente nos aquíferos locais. O meio presente nestes aquíferos é, predominantemente, constituído por material arenoso, em dois dos locais, e por um material argiloso, no terceiro local (ver tabela 25).

Tabela 25 – Valor do parâmetro “condutividade hidráulica (C)” para os locais de estudo, de acordo com as tabelas do Índice DRASTIC.

| Local | Peso | Meio poroso | Condutividade hidráulica (m/dia) | Conformidade com o DRASTIC | Valor do parâmetro |
|-----------------|------|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------|--------------------|
| Irabin de Baixo | 3 | Predomínio de material arenoso | $8,64 \cdot 10^{-2}$ | <4,1 (m/d) | 1 |
| Uani-Uma | | Predomínio de material arenoso | $8,64 \cdot 10^{-2}$ | <4,1 (m/d) | 1 |
| Afaloicai | | Predomínio de material argiloso | $8,64 \cdot 10^{-6}$ | <4,1 (m/d) | 1 |

Finalmente, obtidos os valores para cada um dos sete parâmetros, em relação a cada um dos locais é possível, agora, obter o valor do índice de vulnerabilidade DRASTIC, tal como se representa na tabela 26.

Tabela 26 – O Índice de Vulnerabilidade e a Classe de Vulnerabilidade à poluição do local de estudo.

| Parâmetros hidrogeológicos | Peso | Local de estudo | | |
|----------------------------------|------|-----------------|------------|-----------|
| | | Irabin de Baixo | Uani-Uma | Afaloicai |
| Profundidade (D) | 5 | 7 | 9 | 9 |
| Recarga (R) | 4 | 8 | 8 | 8 |
| Material do aquífero (A) | 3 | 8 | 8 | 2 |
| Solo (S) | 2 | 9 | 9 | 3 |
| Topografia (T) | 1 | 10 | 9 | 9 |
| Impacto da zona não saturada (I) | 5 | 8 | 8 | 3 |
| Condutividade hidráulica (C) | 3 | 1 | 1 | 1 |
| Índice de vulnerabilidade | | 162 | 171 | 116 |
| Classe de vulnerabilidade | | Muito alta | Muito alta | Baixa |

A avaliação da vulnerabilidade à poluição dos aquíferos em Uato-Carbau, por meio do método DRASTIC, resultou nos seguintes valores:

- Irabin de Baixo: ID = 162, vulnerabilidade Muito alta;
- Uani-Uma: ID = 171, vulnerabilidade Muito alta;
- Afaloicai: ID = 116, vulnerabilidade Baixa.

Como se viu, o índice de vulnerabilidade à poluição dos aquíferos, está intimamente ligado com as condições hidrogeológicas do meio que os constituem. Assim, os aquíferos de maior vulnerabilidade estão localizados em Irabin de Baixo e em Uani-Uma, devido a características hidrogeológicas piores, nomeadamente o nível freático muito próximo da superfície, um solo predominantemente arenoso, tal como a zona não saturada do aquífero também composta por materiais arenosos. Estes parâmetros possuem maiores pesos na determinação do Índice DRASTIC, de modo que o valor final resulta numa classe de vulnerabilidade muito alta respetivamente.

O aquífero de menor vulnerabilidade está localizado em Afaloicai, com uma vulnerabilidade baixa, devido às suas características hidrogeológicas que são melhores do que os anteriores, nomeadamente a condutividade hidráulica apresentada pelo xisto argiloso, o material do aquífero ser constituído por materiais com forte componente argilosa e, também, pelo facto de a zona não saturada ser classificada como sendo complexo argiloso. Assim, o valor final do índice resulta numa classe de vulnerabilidade baixa.

CAPÍTULO IV. PERÍMETROS DE PROTEÇÃO PARA APLICAR A CAPTAÇÕES DE ÁGUA SUBTERRÂNEA EM UATO-CARBAU

4.1. Enquadramento Legislativo

4.1.1. Lei de Base do Ambiente (Decreto-Lei Nº 26/2012)

O direito a um ambiente limpo e saudável é um direito humano universalmente reconhecido e, assim, a Constituição da República Democrática de Timor-Leste estabelece como um dos objetivos fundamentais do Estado a proteção e a preservação dos recursos naturais.

Este Decreto-Lei tem por objetivo definir as bases da política do ambiente, os princípios orientadores para a conservação e proteção do ambiente e para preservação e uso sustentável dos recursos naturais, de forma a promover a qualidade de vida dos cidadãos.

Para efeitos de interpretação desse Decreto-Lei, são adaptadas as seguintes definições:

- *Componentes ambientais*: são os diversos elementos que integram o ambiente e cuja interação permite o seu equilíbrio, incluindo o ar, a água, o solo, o subsolo, os seres vivos, os recursos naturais renováveis e não renováveis e as condições socioeconómicas;
- *Grupos vulneráveis*: inclui mulheres, jovens, pessoas com deficiência, deslocados, minorias étnicas e religiosas e as pessoas que vivem da agricultura e pesca de subsistência;
- *Poluição*: é a introdução direta ou indireta, em resultado da ação humana, de substâncias, vibrações, luz, calor ou ruído nos componentes ambientais suscetíveis de prejudicar a saúde humana ou a qualidade do ambiente, causar deteriorações dos bens materiais, comprometer ou prejudicar o uso e fruição e outros usos legítimos do ambiente;
- *Uso sustentável*: é a utilização dos componentes ambientais de forma equilibrada e eficaz capaz de satisfazer as necessidades da geração presente sem comprometer o equilíbrio do ambiente e a possibilidade das gerações futuras satisfazerem também as suas necessidades.

Em relação a proteção, conservação e uso sustentável dos componentes ambientais, está previsto, no artigo 22º, o seguinte:

1. O Estado promove a proteção, conservação e uso sustentável dos componentes ambientais, em benefício de todos os cidadãos, através da implementação de políticas, legislação, programas, planos e projetos necessários à sua sustentabilidade e regeneração;

2. A lei define as regras de proteção, conservação e uso sustentável dos componentes ambientais, tendo em conta as suas particulares características e a sua integração no ambiente social, económico e cultural envolvente.

Em relação à proteção dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, está previsto, no artigo 24º, que o estado deve proteger, conservar e melhorar a quantidade e a qualidade das águas superficiais e subterrâneas e promover o uso sustentável dos recursos hídricos através da adoção de um plano de gestão hídrica integrada que inclua, nomeadamente:

- a) O acesso e a partilha dos recursos hídricos pelos diferentes utilizadores;
- b) A gestão das bacias hidrográficas;
- c) A regulação da abertura de poços;
- d) A regulação do uso de água para fins agrícolas, industriais e atividades mineiras;
- e) A prevenção da poluição e contaminação dos recursos hídricos;
- f) A criação de incentivos para a captação e armazenamento de águas das chuvas ou outras medidas de conservação dos recursos hídricos;
- g) A participação da comunidade local e particularmente dos grupos vulneráveis na gestão das águas.

4.1.2. Programa do V Governo Constitucional Legislatura 2012-2017

Este documento descreve os programas do V Governo Constitucional de Timor-Leste que serão alcançados no período de 2012 a 2017.

Em relação à mudança climática, o Governo reconhece que o país é vulnerável às alterações climáticas, uma vez que o clima se torna mais quente e mais seco nas estações secas, bem como cada vez mais variável. Os recursos naturais que são mais suscetíveis às alterações climáticas são a água, ou o uso da água, e o solo.

Para responder a estas questões, o Governo pretende estabelecer um Centro Nacional de Alterações Climáticas para conduzir investigações e observações a questões com elas relacionadas, de modo a assegurar a recolha de dados sobre impactos das alterações climáticas e a encorajar inovações tecnológicas em prol da adaptação e mitigação às alterações climáticas.

Em relação ao controlo da poluição, o Governo irá introduzir regulações para controlar a poluição do ar, da água e dos solos, bem como a poluição sonora. Pretende-se desenvolver recursos humanos, na área do controlo da qualidade do ambiente, criando-se um laboratório ambiental para conduzir testes e levar a cabo auditorias e ações de monitorização ambiental, bem como para avaliar a poluição de todas as atividades em todos os distritos.

Em relação à água e saneamento, a nível rural e distrital, o Governo irá apoiar a construção de latrinas comunitárias, conhecimentos técnicos especializados e supervisão para as comunidades e recrutamento de 88 facilitadores de água e saneamento, a nível de subdistrito, para os sucos, ao abrigo do Programa Rural de Abastecimento de Água e Saneamento.

O Governo irá restaurar, progressivamente, as infraestruturas de água e saneamento urbanos que foram danificadas em 1999, garantindo um abastecimento seguro da água canalizada a lares urbanos, em todos os centros de distrito, com incidência nas áreas onde a situação é crítica, nomeadamente Baucau, Manatuto, Lospalos e Suai. Isto, será conseguido através:

- a) Do desenvolvimento de um Plano Geral para Centros de Distrito, com o intuito de estudar soluções e acordar prioridades;
- b) Da reparação de furos, da reabilitação de novas fontes de água;
- c) Da construção de reservatórios e instalações de tratamento; e
- d) Da ligação das casas ao fornecimento canalizado de água.

Além disto, o Governo irá fornecer água canalizada segura a todas as escolas públicas até 2020, por via de um programa de Água para Escolas. Este programa dará prioridade ao fornecimento de água canalizada às escolas que se encontrem a mais de 500 metros de um fornecimento existente.

4.2. Enquadramento Legislativo adaptado da Legislação Portuguesa

Como facilmente se depreende, para se conseguir uma boa gestão dos recursos hídricos, particularmente no que se refere à qualidade da água, muita coisa será, ainda, necessário fazer-se. Assim, quando ainda não exista legislação timorense específica sobre a preservação dos recursos hídricos subterrâneos, procurou-se usar Legislação Portuguesa.

Assim, demos particular atenção ao Decreto-Lei N° 382/99, 22 de Setembro de Portugal, que, entre outras coisas, define os perímetros de proteção aos recursos hídricos e, no seu artigo 6º, lista as restrições que estão previstas no interior de cada uma das zonas de proteção dos recursos hídricos subterrâneos, não só em termos de servidão administrativa, mas também em termos de uso público. Estas restrições são as que se apresentam na tabela 27.

Tabela 27 – Atividades proibidas e interditas em cada uma das zonas de proteção definidas no Decreto-Lei Nº 382/99.

| ATIVIDADES QUE DEVEM SER INTERDITAS OU CONDICIONADAS | |
|---|---|
| ZONA DE PROTEÇÃO IMEDIATA | Quaisquer atividades ou instalações. |
| ZONA DE PROTEÇÃO INTERMÉDIA | Pastorícia; Usos agrícolas e pecuários; Aplicação de pesticidas móveis e persistentes na água ou que possam formar substâncias tóxicas, persistentes ou bioacumuláveis; Edificações; Estradas e caminhos de ferro; Parques de campismo; Espaços destinados a práticas desportivas; Estações de tratamento de águas residuais; Coletores de águas residuais; Fossas de esgoto; Unidades industriais; Cemitérios; Pedreiras e quaisquer escavações; Explorações minerais; Lagos e quaisquer obras ou escavações destinadas à recolha e armazenamento de água ou quaisquer substâncias suscetíveis de se infiltrarem; Depósitos de sucata. |
| ZONA DE PROTEÇÃO ALARGADA | Utilização de pesticidas móveis e persistentes na água ou que possam formar substâncias tóxicas, persistentes ou bioacumuláveis; Coletores de águas residuais; Fossas de esgoto; Lagos e quaisquer obras ou escavações destinadas à recolha e armazenamento de água ou quaisquer substâncias suscetíveis de se infiltrarem; Estações de tratamento de águas residuais; Cemitérios; Pedreiras e explorações mineiras; Infraestrutura aeronáuticas; Oficinas e estações de serviço de automóveis; Postos de abastecimento e áreas de serviço de combustíveis; Depósitos de sucata. |
| ZONA DE PROTEÇÃO CONTRA O AVANÇO DA CUNHA SALINA | A construção ou a exploração de novas captações de água subterrânea ou condicionado o seu regime de exploração. |
| ATIVIDADES QUE DEVEM SER PROIBIDAS | |
| ZONA DE PROTEÇÃO IMEDIATA | Qualquer instalação ou atividade, com exceção das que têm por finalidade a conservação, manutenção e melhor exploração da captação. Nesta zona o terreno é vedado e tem que ser mantido limpo de quaisquer resíduos, produtos ou líquidos que possam provocar infiltração de substâncias indesejáveis para a qualidade da água da captação. |
| ZONA DE PROTEÇÃO INTERMÉDIA | Infraestrutura aeronáuticas; Oficinas e estações de serviço de automóveis; Depósitos de materiais radioativos, de hidrocarbonetos e de resíduos perigosos; Postos de abastecimento e áreas de serviço de combustíveis; Transporte de hidrocarbonetos, materiais radioativos ou outras substâncias perigosas; Canalizações de produtos tóxicos; Lixeiras e aterros sanitários. |
| ZONA DE PROTEÇÃO ALARGADA | Transporte de hidrocarbonetos, de materiais radioativos e de outras substâncias perigosas; Depósitos de materiais radioativos, de hidrocarbonetos e de resíduos perigosos; Canalizações de produtos tóxicos; Refinarias e indústrias químicas; Lixeiras e aterros sanitários. |
| ZONA DE PROTEÇÃO CONTRA O AVANÇO DA CUNHA SALINA | Podem ser limitados os caudais de exploração das captações existentes. |

Em anexo ao referido diploma, é indicado o raio mínimo para as zonas de proteção definidas, dependendo a sua dimensão do tempo de trânsito que um poluente pode levar até atingir a captação. O raio da zona de proteção é calculado de acordo com a equação seguinte:

$$r_i(t) = \sqrt{\frac{Q \times t}{3,14 \times n \times H}} \quad (11)$$

Onde:

$r_i(t)$: raio do perímetro de proteção (metros)

Q: caudal de exploração (metros cúbicos/dia)

t: tempo necessário para um poluente atingir a captação (dias)

n: porosidade eficaz (percentagem), tal como se apresenta na tabela 29;

H: espessura saturada na captação (metros).

Aquele raio também é função do tipo de sistema aquífero, distinguindo-se seis tipos de aquíferos tal como é como apresentada na tabela 28.

Tabela 28 – Valor fixo de r, para as diferentes zonas de proteção de água subterrânea, em concordância com o tipo do aquífero (Decreto-Lei Nº 382/99 da Legislação Portuguesa).

| Tipo do aquífero | Imediata | Intermédia | | Alargada | |
|-------------------------|----------|-----------------------|----------|-----------------------|------------|
| | r (m) | r é maior valor entre | | r é maior valor entre | |
| Confinado poroso | 20 | 40 m | r (50 d) | 350 m | r (3500 d) |
| Livre poroso | 40 | 60 m | r (50 d) | 500 m | r (3500 d) |
| Semi-confinado | 30 | 50 m | r (50 d) | 400 m | r (3500 d) |
| Carbonatado | 60 | 280 m | r (50 d) | 2400 m | r (3500 d) |
| Fissurado | 60 | 140 m | r (50 d) | 1200 m | r (3500 d) |
| Fissurado e/ou alterado | 40 | 60 m | r (50 d) | 500 m | r (3500 d) |

Para a zona de proteção imediata, o valor de r é fixo. Para as zonas de proteção intermédia e alargada, r deverá ser o maior valor entre o valor pré-estabelecido e um valor obtido pela aplicação do método do raio fixo calculado, pela aplicação da fórmula referida atrás, ou outro método considerado mais adequado (nº 3 do artigo 3º), utilizando um determinado tempo de propagação para um poluente, de modo a calcular a distância percorrida nesse período: 50 dias no caso da zona de proteção intermédia e 3500 dias no caso da zona de proteção alargada (Decreto-Lei 382/99).

Tabela 29 – Valores de porosidade eficaz (Decreto-Lei nº 382/1999).

| Material | | Porosidade eficaz (%) | Observação |
|--------------------------------------|-------------------------|-----------------------|------------|
| Tipo | Descrição | Média | |
| Rochas sedimentares não consolidadas | Aluviões | 15 | (e) |
| | Dunas | 20 | - |
| | Cascalheiras | 25 | - |
| | Areias | 25 | - |
| | Depósitos glaciares | 15 | - |
| | Lodos | 10 | (e) |
| | Argilas não compactadas | 2 | (e) |
| | Solos de cobertura | 10 | (e) |

(e) A porosidade eficaz varia muito segundo as circunstâncias e o tempo.

4.3. Definição dos perímetros de proteção de captações de água subterrânea em Uato-Carbau – Timor-Leste

Existem várias técnicas para delimitar os perímetros de proteção de um poço, ou de um furo, para abastecimento de água. No presente trabalho, utilizamos o método do Raio Fixo Calculado (RFC), adaptado da legislação portuguesa, concretamente do Decreto-Lei Nº 382/99, de 22 Setembro.

Na aplicação deste método, o raio para a zona de proteção imediata está fixado no quadro legislativo em cima mencionado, sendo necessário determinar os raios para as zonas de proteção intermédia e alargada, de acordo com o tipo de sistema aquífero específico de cada uma das áreas em estudo.

Para os três locais de estudo, foram definidos dois tipos de aquífero: um com predomínio de materiais argilosos, dando origem a um sistema de aquífero do tipo semi-confinado (Afaloicai) e, outro com predomínio de materiais arenosos, dando origem a um sistema de aquífero do tipo livre (Irabin de Baixo e Uani-Uma). Podemos, ainda, admitir que uma captação normal, em Timor-Leste, poderá produzir até 1 l/s ou 86.400 l/d ou 86,4 m³/d, pelo que, na ausência de ensaios de caudal, vamos considerar estes valores como aceitáveis para a produtividade da captação.

O raio do perímetro de proteção imediata está fixado na tabela 28, sendo de 30 m para os aquíferos do tipo semi-confinado em Afaloicai, e de 40 m para os aquíferos do tipo livre poroso em Irabin de Baixo e em Uani-Uma e, uma vez que a topografia das áreas é relativamente plana, assumindo que o poluente pode vir de qualquer direção da superfície do terreno, a definição da zona de proteção imediata, mais não é do que uma circunferência centrada na captação.

Assim, esta diferença entre os valores dos dois raios do perímetro de proteção da zona imediata é simplesmente função do tipo de material que constitui o aquífero. O raio do perímetro de proteção imediata de uma captação num aquífero do tipo livre poroso é maior do que o mesmo raio num aquífero do tipo semi-confinado pois, como facilmente se compreenderá, a velocidade de propagação de um hipotético poluente será mais rápida no meio constituinte do aquífero livre poroso.

Por sua vez, o raio do perímetro de proteção intermédio e alargado, pode ser calculado através da fórmula patente na equação 11. Os resultados são os que se apresentam na tabela 30. Estes resultados baseiam-se nos seguintes pressupostos:

- caudal (Q), fixo e da ordem de 1l/s ou seja 86,4 m³/d;
- porosidade eficaz (n) da ordem de 2% em argilas e de 20% em arenitos (valores com algum ajuste às características locais), de acordo com a bibliografia da especialidade e de acordo com o Decreto-Lei nº 382/1999;
- altura saturada da captação (H), correspondendo à média da diferença entre a cota do nível freático e a cota da profundidade da captação;
- tempo (d), é o número de dias que resulta do tempo necessário para um poluente percorrer o raio fixo, seja do perímetro intermédio ou alargado, num meio com determinado coeficiente de permeabilidade, de acordo com o proposto do Decreto-Lei Nº 382/1999.

Tabela 30 – Definição dos perímetros de proteção dos aquíferos em Uato-Carbau.

| | Zona de proteção | Irabin de Baixo | Uani-Uma | Afaloicai |
|----------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------|------------------|
| Q (m ³ /d) | | 86,4 | 86,4 | 86,4 |
| t (d) | Intermédia | 50 | 50 | 50 |
| | Alargada | 3.500 | 3.500 | 3.500 |
| n (%) | | 20 | 20 | 2 |
| H (m) | | 5,56 | 2,03 | 1,0 |
| Aquífero | | Livre poroso | Livre poroso | Semi-confinado |
| Raio fixo (m) (*) | Imediata | 40 | 40 | 30 |
| | Intermédia | 60 | 60 | 50 |
| | Alargada | 500 | 500 | 400 |
| Raio calculado (m) (**) | Intermédia | 3,51 | 5,82 | 26,23 |
| | Alargada | 29,43 | 48,70 | 219,44 |

(*) de acordo com o Decreto-Lei Nº 382/1999;

(**) de acordo com a equação 11.

Assim, em face dos resultados apresentados na tabela anterior, podemos dizer que:

- i) O raio calculado, quer para o perímetro de proteção intermédio, quer para o alargado, é de valor inferior ao raio fixo proposto para estes perímetros no Decreto-Lei 382/1999;
- ii) Deste modo, deve ser adotado o valor de raio fixo arbitrário tal como se encontra no já referido Decreto-Lei, pelo que teremos:
 - a. em Irabin de Baixo um perímetro de proteção intermédia com um raio de 60m e de proteção alargada com um raio de 500m;
 - b. em Uani-Uma um perímetro de proteção intermédia com um raio de 60m e de proteção alargada com um raio de 500m;
 - c. em Afaloicai um perímetro de proteção intermédia com um raio de 50m e de proteção alargada com um raio de 400m.

Obviamente que estes números deverão ser alvo de análise e discussão a nível local, em particular por causa das restrições que possam vir a ser impostas ao uso da superfície do terreno na envolvente das captações que se pretendam vir a proteger.

CAPÍTULO V. ANÁLISE SWOT SOBRE A IMPORTÂNCIA DE DEFINIÇÃO DOS PERÍMETROS DE PROTEÇÃO DA CAPTAÇÃO DOS AQUÍFEROS EM UATO-CARBAU – TIMOR-LESTE

A palavra SWOT é um acrónimo originado das palavras inglesas: *Strengths*, *Weaknesses*, *Opportunities* e *Threats*. As variáveis consideradas na análise SWOT são, então: os pontos fortes, os pontos fracos, as oportunidades e as ameaças, tal como se ilustra na figura 33.

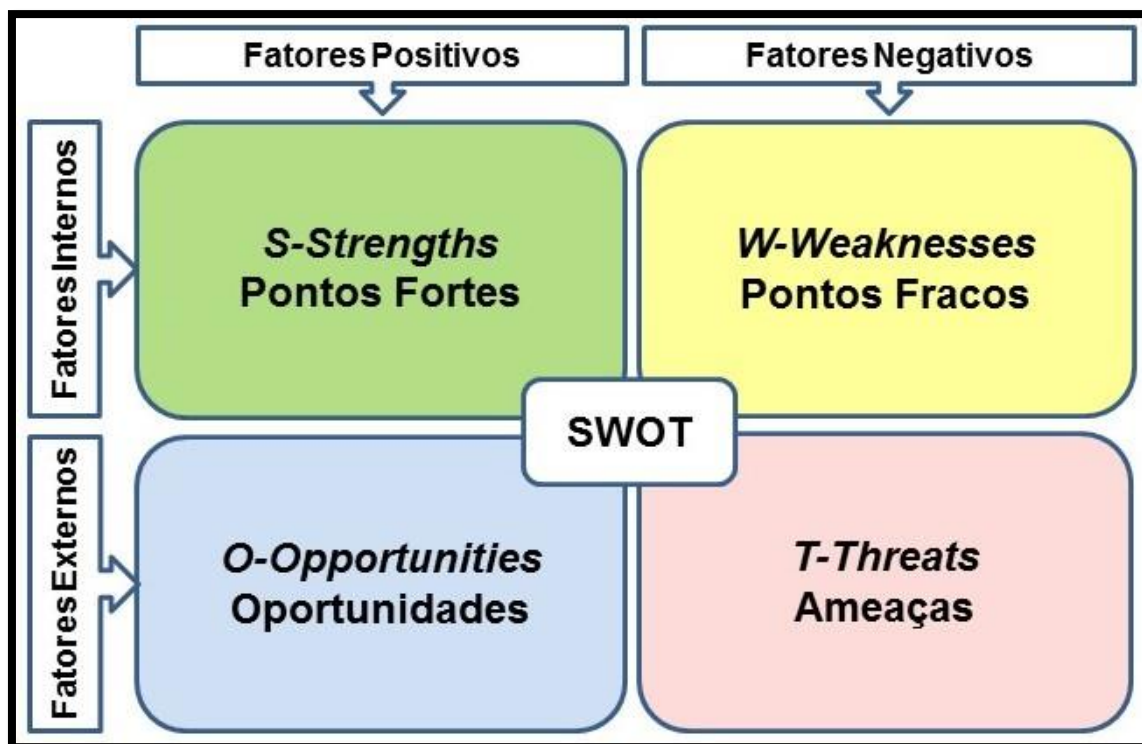


Figura 33 – Esquema ilustrativo da análise SWOT.

Os pontos fortes e pontos fracos são decorrentes de variáveis internas e controláveis pelo órgão ou programa. As oportunidades e as ameaças são decorrentes de variáveis externas. As oportunidades podem propiciar condições favoráveis, desde que a organização tenha interesse e condições para usufruí-las. As ameaças podem criar condições desfavoráveis, devendo a organização planejar como minimizá-las ou evitá-las (Portaria-TCU Nº 252, 2003).

Nesta análise, pretende-se identificar os pontos fortes, os pontos fracos, as oportunidades e as ameaças em relação à importância da definição dos perímetros de proteção das águas subterrâneas em Uato-Carbau, Timor-Leste. Assim, esta análise permitiu considerarmos as premissas que se apresentam na tabela 31.

Tabela 31 – Análise SWOT sobre a importância de definição dos perímetros de proteção dos recursos hídricos subterrâneos em Timor-Leste

| Fatores positivos | Fatores Negativos |
|--|---|
| S-Strengths Pontos Fortes | W-Weaknesses Pontos Fracos |
| <ul style="list-style-type: none"> • Existência de Lei de Base do Ambiente que trata da proteção, conservação e gestão dos recursos hídricos subterrâneos com objetivo de melhorar a sua quantidade e qualidade; • Existência de recursos hídricos subterrâneos adequados para atender às crescentes necessidades das populações; • Existência de recursos humanos de nível intermédio, responsáveis pela distribuição de água para o consumo humano; | <ul style="list-style-type: none"> • Falta de um quadro legal que regule a criação de perímetros de proteção para as captações de água subterrânea; • Desconhecimento, das comunidades locais, sobre a necessidade de proteção dos recursos hídricos subterrâneos; • Falta da informação científica atualizada sobre a vulnerabilidade dos recursos hídricos subterrâneos à poluição; • Insuficiente pessoal qualificado na área dos recursos hídricos, para a monitorização da qualidade dos recursos hídricos subterrâneos; • Insuficiente pessoal qualificado de nível superior na área do ambiente, não só para a educação ambiental, mas também para a sensibilização das pessoas sobre a importância da proteção dos recursos hídricos subterrâneos; |
| O-Opportunities Oportunidades | T-Threats Ameaças |
| <ul style="list-style-type: none"> • Contribuir para a melhoria da condição saúde pública; • Criação de legislação própria relativa aos perímetros de proteção para captações de água subterrânea; • Possibilidades de desenvolver | <ul style="list-style-type: none"> • Vulnerabilidade dos recursos hídricos subterrâneos às mudanças climáticas e às fontes de poluição difusa que ocorrem no território timorense; • Limitações das infraestruturas |

| | |
|---|---|
| <p>campanhas de sensibilização sobre a importância da proteção dos recursos hídricos subterrâneos;</p> <ul style="list-style-type: none">• Existência de recursos financeiros suficientes para melhorar o quadro legal da proteção dos recursos hídricos, nomeadamente com a criação de perímetros de proteção das captações de águas subterrâneas;• Existência de recursos financeiros para melhorar a qualidade dos recursos humanos na área dos recursos hídricos, em relação à sua gestão e tratamento | <p>locais, no que a equipamentos e materiais diz respeito, limitando a investigação e outros trabalhos ambientais;</p> <ul style="list-style-type: none">• Limitações das infraestruturas locais, no que a equipamentos e materiais diz respeito, para controlarem eficazmente as principais fontes de poluição das águas subterrâneas. |
|---|---|

CAPÍTULO VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pelo atrás exposto, é necessário definir uma estratégia de proteção dos aquíferos, recomendando-se ao governo local, municipal e nacional, em colaboração com organizações não-governamentais (ONG), a criação de um programa de sensibilização das populações sobre a importância da proteção dos aquíferos à poluição. Além disso, deve-se realçar que é também importante criar um programa de educação ambiental, para sensibilizar as gerações mais jovens, para a preservação dos recursos hídricos subterrâneos, garantindo a disponibilidade deste recurso para uso da geração presente e a sua sustentabilidade para as futuras gerações de Timor-Leste.

Os dados obtidos nesta investigação, podem servir como base para a tomada de decisões ao nível dos governos local, municipal e nacional, principalmente no planeamento, gestão do uso e ocupação da terra, em particular na envolvente de captações. É necessária uma disposição para controlar todas as atividades na área de recarga dos aquíferos e na área da captação, através do estabelecimento da zona de proteção, facto que seria muito mais vantajoso, quando comparando com o custo de remediação de um aquífero poluído. Vale salientar-se, que uma estratégia de proteção mais adequada que procurou a investigar no presente trabalho é a definição dos perímetros de proteção da captação de água subterrânea para fins ao consumo humano em Uato-Carbau.

Os objetivos estabelecidos para o desenvolvimento deste trabalho foram atingidos através da aplicação da metodologia DRASTIC, para avaliação da vulnerabilidade à poluição de captações de água subterrânea destinada ao consumo humano na região Uato-Carbau em Timor-Leste. Admite-se que esta metodologia poderá ser aplicada no futuro, noutras regiões de Timor-Leste, baseada nas condições hidrogeológicas de cada região.

A água subterrânea em Timor-Leste é vulnerável à mudança climática e outras fontes de poluição, nomeadamente as fontes de poluição antrópicas. Por conseguinte, deve-se procurar a elaboração, em futuras investigações e através de adaptações da metodologia DRASTIC com aplicação de um Sistema de Informação Geográfica (SIG), de mapas de vulnerabilidade dos aquíferos, determinando-se os pontos e os locais mais vulneráveis, quer à escala local, quer nacional.

Pode-se salientar que, na região Uato-Carbau – Timor-Leste, o local que apresenta maior vulnerabilidade à poluição está localizado em Irabin de Baixo e em Uani-Uma, com uma classe de vulnerabilidade muito alta respetivamente, devido ao predomínio de solo constituído por material arenoso, uma topografia plana e a pouca profundidade do nível freático do aquífero.

Uma estratégia adequada, para a proteção dos aquíferos à poluição, é a definição dos perímetros de proteção de cada captação de água subterrânea, através de aplicação de uma metodologia como, por exemplo, a do raio fixo calculado, adaptada da Legislação Portuguesa.

A definição dos perímetros de proteção dos recursos hídricos subterrâneas é importante para que seja possível a preservação, a longo prazo, da qualidade dos recursos hídricos, a fim de contribuir para a melhoria das condições de saúde das populações nesta região, que é abastecida com água de origem subterrânea, resultando na melhoria da qualidade de vida dos timorenses.

Em relação à estratégia de proteção das captações de água subterrânea, uma necessidade mais importante e urgente, dirigida ao governo Timor-Leste, é a disposição e o estabelecimento de um quadro legal em matéria de perímetros de proteção das captações de água subterrânea, para uma proteção mais eficiente deste recurso natural.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIP-FCE. (2013). *Ficha técnica: estudo de mercado sobre Timor-Leste*. Promotor: Associação Industrial Portuguesa-Ferias, Congressos e Eventos. Coordenação Técnica: Rui Miguel Santos (com a colaboração de Susana Sarmento).
- Aller, L., Bennett, T., Lehr, J. H., Petty, R. J. And Hackett, G. (1987). *DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings*. Unites States Environmental Protection Agency. EPA/600/2-87/035.
- Antonikos, A. K., Lambrakis, N. J. (2006). *Development and testing of three hybrid methods for the assessment of aquifer vulnerability to nitrates, based on the drastic model, an exemple from NE Korinthia, Greece*. Journal of Hydrology (2007) 333, 288-304. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2006.08.014
- Azevedo, J. M., Oliveira, A. R., Pereira, P. C. (2010). *Uso de critérios e estruturais na proteção água subterrânea e de captações associadas-Exemplos dos municípios de Arganil e de Penela*. VIII Congresso Nacional de Geologia. Volume 14-nº 3. Revista Eletrónica de ciências da Terra Geosciências On-line Journal. Disponível em: <http://e-terra.geopor.pt> ISSN 1645-0388.
- Boletim do Tribunal de Contas da União, Portaria-TCU Nº 252, De 1º de Dezembro de 2003. Aprova a Nova Versão da Técnica de Auditoria, "*Análise SWOT e Verificação de Risco*". Ano XXXVI, Nº 17. Disponível em: <http://www.tcu.gov.br>
- Brown, D., Ryan, P. D., Afonso, J. C., Boutelier, D., Burg, J. P., Calvert, A., Cook, F., DeBari, S., Dewey, J. F., Gerya, T. V., Harris, R., Herrington, R., Konstantinovskaya, E., Reston, T. and Zagorevski, A. (2011). *Arc-Continent Collision: The Making of an Orogen*. Frontiers in Earth Sciences, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, DOI 10.1007/978-3-540-88558-0_17.
- Carvalho, A. M. de, Hirata, R. (2012). *Avaliação de métodos para a proteção dos poços de abastecimento público do Estado de São Paulo*. Revista do Instituto de Geociências – USP, Geol. USP. Sér. Ciente., São Paulo, v. 12, n. 1, p. 53-70, Abril 2012. DOI:10.5327/Z1519-874X2012000100005.
- Carvalho, J. & Lisboa, V. (2003). *Breve panorâmica sobre os recursos geológicos não metálicos de Timor-Leste*. Ciências da Terra (UNL), Lisboa, nº esp. V, CD-ROM, pp. F13-F16.
- Civita, M. V. (2010). *The Combined Approach When Assessing and Mapping Groundwater Vulnerability to Contamination*. J. Water Resource and Protection, 2010, 2, 14-28. doi: 10.4236/jwarp.2010.21003. Disponível em: <http://www.scirp.org/journal/jwarp>

- Diário da República, Decreto-Lei n.º 382/99, *Perímetros de Proteção de Captações de Água Subterrânea*, I Série-A, N.º 222 – 22-9-1999. Disponível em: <http://dre.tretas.org/dre/105920/>
- Diersch, H. –J.G. (2005). *FEFLOW Finite Element Subsurface Flow and Transport Simulation System*. Reference Manual. WASY GmbH, Institute for Water Resources Planning and Systems Research. Berlin, Germany.
- Diploma Ministerial, N.º: 199/GM/MAEOT/IX/09 de 15 de setembro de 2009 Que fixa o número de Sucos e Aldeias em Território Nacional.
- DWAF, 2004. *Guidelines on protecting groundwater from contamination*. Toolkit for water services: number 3.4. Department of Water Affairs and Forestry, Directorate: information Programmes, Republic of South Africa.
- Fetter, C. W. (2001). *Applied Hydrogeology*. Fourth Edition. Prentice hall, United States. ISBN: 0 – 13 – 088239 – 9.
- Figueiredo, F. A. (2004). *Timor. A Presença Portuguesa (1769-1945)*. Dissertação de Doutoramento em História. Faculdade de Letras, Universidade do Porto.
- Foster, S., Hirata, R., Gomes, D., D'Elia, M., Paris, M. (2006). *Proteção da Qualidade da Água Subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais*. Banco Mundial, Washington D.C.
- Gogu, R. C., Dessargues, A. (1999). *Current trends and future challenges in groundwater vulnerability assessment using overlay and index methods*. Environmental Geology 39 (6) April 2000.
- Huneau, F., Jaunat, J., Kavouri, K., Plagnes, V., Rey, F., Dörfliker, N. (2013). *Intrinsic vulnerability mapping for small mountainous karst aquifers, implementation of the new PaPRIKa method to Western Pyrenees (France)*. Engineering Geology 161 (2013) 81-93. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enggeo.2013.03.028>
- Ibe, K. M., Nwankwor, G. I., Onyekuru, S. O., (1999). *Assessment of ground water vulnerability and its application to the development of protection strategy for the water supply aquifer in owerri, southeastern Nigeria*. Environmental Monitoring and Assessment 67: 323-360, 2001. Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands.
- Instituto do Petróleo e Geologia – Instituto Público (IPG), Ministério do Petróleo e Recursos Minerais (MPRM), República de Timor-Leste, 2014. *Geologia e recursos minerais de Timor-Leste*. República Democrática de Timor-Leste – RDTL.
- Jornal da República de Timor-Leste, Decreto-Lei N.º 26/2012, *Lei Base do Ambiente*, Série 1, N.º 24. Disponível em http://www.jornal.gov.tl/public/docs/2012/serie_1/serie1_no24.pdf.

- Kumar, P., Bansod, B. K. S., Debnath, S. K., Thakur, P. K., Ghanshyam C. (2015). *Index-based groundwater vulnerability mapping models using hydrogeological settings: A critical evaluation*. Environmental Impact Assessment Review 51 (2015) 38-49. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eiar.2015.02.001>
- Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2009. *Metodologias para um melhor planeamento e gestão do uso do solo agrícola atendendo à vulnerabilidade dos aquíferos à poluição difusa*. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, Departamento de Hidráulica e Ambiente, Núcleo de Águas Subterrâneas. Proc. 0607/14/15799, Lisboa.
- Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2011. *Caracterização da Vulnerabilidade à Poluição dos Sistemas Aquíferos da Região Hidrográfica do Centro*. Departamento de Hidráulica E Ambiente, Núcleo de Águas Subterrâneas. Relatório 287/2011-NAS. Relatório realizado para a Administração de Região Hidrográfica do Centro, IP.
- Laureano, Z. M. C. P. S. (2012). *Metodologia para delimitar perímetros de proteção de captações de água subterrânea: aplicação ao aquífero Mio-Pliocénico do Tejo*. Dissertação de Mestrado em Engenharia e Gestão da água. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- Leme, J. C. De A. (1968). *Breve ensaio sobre a geologia da província de Timor*. Do livro: *Junta de Investigação do Ultramar. Curso de Geologia do Ultramar*. Realizado na Faculdade de Ciências de Lisboa, em 1964, com o patrocínio da Fundação C. Gulbenkian. Volume I. Lisboa, pp: 105-163.
- Lobo Ferreira, J. P. C. (1998). *Vulnerabilidade à Poluição de Águas Subterrâneas: Fundamentos e Conceitos para uma melhor Gestão e Proteção dos Aquíferos de Portugal*. Disponível em: <http://www.aprh.pt/congressoagua98/files/com/023.pdf>
- Lobo Ferreira, J. P., Krijgsman, B., Feseker, T. (2004). *Models for wellhead protection in regional unconfined aquifers and stratified aquifers*. Geofísica Internacional, Vol. 43, Num. 4, pp. 651-659.
- Lobo Ferreira, J. P., Leitão, T. E., Oliveira, M. M., Rocha J. S., Barbosa, A. E. (2009). *Protecção das Origens Superficiais e Subterrâneas nos Sistemas de Abastecimento de Água*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Instituto Regulador de Águas e Resíduos.
- Lobo Ferreira, J. P., Oliveira, M. M. (2004). *Groundwater Vulnerability Assessment in Portugal*. Geofísica Internacional (2004), Vol. 43, Num. 4, pp. 541-550.
- Lobo Ferreira, J. P., Oliveira, M. M., Diamantino, C., Novo, M. E., Moinante, M. J., Yuanyuan, M. (2006). *Organigramas para seleção de métodos para zonamento e*

- proteção de recursos hídricos subterrâneos e de superfície*. Associação Portuguesa dos recursos hídricos.
- McDonald, M. G., Harbaugh, A. W. (1988). *A Modular Three-Dimensional Finite-Difference Ground-Water Flow Model*. *Techniques of Water-Resources Investigations of the United States Geological Survey*, Washington.
- Mineiro, A. J. C. (1970). *Curso de Mecânica dos Solos e Fundações*. Sebenta Universitária, Porto.
- Nascimento, L. M. do (2013). *Mapeamento da Vulnerabilidade do Aquífero à Contaminação no Município de Boa Vista do Cadeado/RS*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Santa Maria, RS, Brasil.
- National Statistics Directorate (NSD) and United Nations Population Fund (UNFPA). (2011). *Population and Housing Census of Timor-Leste, 2010*.
- Nogueira, P. M. M. P. (2012). *Catálogo de rochas de Timor-Leste*. Ficha técnica.
- Oleago, A., Pacheco, F., Feller, M. (2009). *Determinação de Perímetros de Proteção de Poços e Vulnerabilidade e Risco de Contaminação de Aquíferos*. Série "Manuais e Documentos Técnicos do Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani".
- Oliveira, D. da C. (2013). *Modelos de Avaliação da Vulnerabilidade de Aquíferos*. Monografia do Curso de Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador.
- Paralta, E. A., Frances, A. P., Sarmiento, P. A. (2002). *Caracterização Hidrogeológica e Avaliação da Vulnerabilidade à Poluição Agrícola do Aquífero Mio-Pliocénico da Região de Canhestros (Alentejo)*, 6º congresso da água e Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos (APRH), Porto. Disponível em: http://www.aprh.pt/congressoagua2002/pdf/r_56.pdf
- Pederson, J. and Arneberg, M. (2000). *Social and Economic conditions in East Timor*. Fafo Institute of Applied Social Science, Oslo, Norway.
- Prada, S., Mendonça, J., Silva, M. O., Gaspar, A., Figueira, C., Pontes, A. (2008). *Definição dos perímetros de Proteção das Galerias de Captação do Maciço do Paul da Serra, Ilha da Madeira*.
- Presidência do Conselho de Ministros da República Democrática de Timor-Leste, 2012. *Programa do V Governo Constitucional, Legislatura 2012-2017*.
- Shiklomanov, I. A. Chapter 2. World Fresh Water Resources. In Gleick, P. H. 1993. *Water in Crisis*. Pacific Institute for Studies in Development, Environment, and Security Stockholm Environment Institute, Oxford University Press, Oxford.
- Souza, N. A. de (2009). *Vulnerabilidade à Poluição das Águas Subterrâneas – um Estudo do Aquífero Bauru na Zona Urbana de Araguari, MG*. Dissertação de

- Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- U.S. EPA – United State Environmental Protection Agency (1994). *Wellhead Protection Area Delineation Guidance*. Ohio Environmental Protection Agency, Ohio.
- UNESCO, (2015). *The Global Map of Groundwater Vulnerability to Floods and Droughts, Explanatory Notes*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, France.
- Veríssimo, A. C. F. (2010). *Hidroquímica, Vulnerabilidade e Proteção do Aquífero de Torres Vedras*. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa. Dissertação de Mestrado em Engenharia Geológica e de Minas. Disponível em: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395142224271/disserta%C3%A7%C3%A3o.pdf>
- Wahnfried, I., Hirata, R. (2005). *Perímetros de proteção de poços: uma importante ferramenta para a sustentabilidade de mananciais públicos*. XIV Encontro Nacional de Perfuradores de Poços, II Simpósio de hidrogeologia do Sudeste.
- Waldman, M. (2003). *Geografia do Timor-Leste*.
- Wallace, L., Sundaram, B., Brodie, R. S., Marshall, S., Dawson, S., Joycock, J., Stewart, G., and Furness, L. (2012). *Vulnerability assessment of climate change impacts on groundwater resources in Timor-Leste*. Australian Government, Geoscience Australia, Department of Climate and Energy Efficiency, AusAID. Record 2012/55, GeoCat 73844.

WEBGRAFIA

- [1] <http://timor-leste.gov.tl/?p=91>
- [2] <http://timormegatours.sapo.tl/timor-leste>. Acesso no dia 1 de julho de 2015
- [3] <http://onovoselvagem.blogspot.pt/2012/10/monte-ramelau.html>. Acesso no dia 27 de junho de 2015.
- [4] <http://Pluraeditores.tl>. Acesso no dia 25 de junho de 2015.
- [5] <http://www.sapo.pt/noticias/sucos-timorenses-devem-estar-no-centro-da-554049a696dcf25650badca7>.
- [6] <http://www.maplandia.com/east-timor/uaniuma-8-45-19-s-126-41-12-e/>
- [7] <http://id.geoview.info/uatocarbau,1622867>
- [8] <http://tl.geoview.info/Afaloicai>