



**UNIVERSIDADE DE COIMBRA**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**

**Departamento de Ciências da Terra**

**A barragem das Neves. Caracterização Geológica e  
Geotécnica da Zona Envolvente e sua Importância**

**Yoso Anatoli de Brito Luís**

**MESTRADO EM GEOCIÊNCIAS – AMBIENTE E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO**

**Orientador científico:**

Prof. Doutor António Luís Saraiva\*

\* Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

2014

## **Agradecimentos**

Em primeiro lugar gostaria de agradecer a Deus, por me dar saúde força e muita garra para não desistir e me fazer chegar aonde estou, depois aos meus pais Noé Luís e Esperança António de Brito Luís, por proporcionarem todas as condições essenciais para eu chegar neste fase da minha formação com êxitos e garantirem todo o tipo de apoio quer sejam financeiros e moral necessário para o meu equilíbrio psicológico, os meus irmãos e amigos que sempre estiveram presentes nas fases mais difíceis dando conselhos e sugestões que serviram de certa forma para nos aplicar nesta jornada científica e académica que será fundamental para o meu crescimento quer pessoal como profissional.

Ao meu orientador professor Doutor António Saraiva, pelo tempo que dedicou ao meu trabalho e pelas suas recomendações para a melhoria e qualidade do mesmo.

## Resumo

O objectivo deste trabalho foi de estudar a barragem das Neves e desenvolver estudos preliminares de caracterização geológica e geotécnica da zona envolvente e avaliar a sua importância. Através deste estudo foi possível observar evidências claras de envelhecimento da barragem com o evoluir com tempo. Destacamos também o grande papel que esta infra – estrutura assume no município da Humpata por ser a principal fonte de abastecimento de água para a irrigação das diversas fazendas agrícolas, bem como para a recarga dos aquíferos do planalto da Chela, não se esquecendo do abastecimento de água às populações

Trata-se de uma barragem de alvenaria que apresenta uma degradação significativa com inúmeras fugas de água localizadas quer no corpo da barragem, quer na fundação contribuindo para que não haja um armazenamento eficaz na albufeira e colocando em risco a sua estabilidade e segurança.

A zona de pesquisa tem como rocha predominante o quartzito com inúmeras diaclases cruzadas entre si e apresenta uma estratificação horizontal ou praticamente horizontal. A acção conjugada das diaclases e da estratificação contribui para a acentuada percolação da água que ocorre nas fundações.

## **Abstract**

The aim of this work was to study the Neves dam and geological and geotechnical characterization of the surrounding area and its importance. In this study we observed clear evidence of the evolution of aging of dam with time. We also highlight the important role that this infra - structure assumed in the Humpata district because is the main source of water supply for irrigation of several farms, as well as to recharge aquifers of the plateau of the Chela and not forgetting the supply water to the populations.

Dam presents several leaks water of located in the dam body as in the foundation. The rocks present in the area are quartzitic rocks with several joints and with a near a horizontal stratification surfaces.

.  
Work of these natures are welcome because they allow us to orient and inform the authorities about the conditions under which a dam should be built and what geological aspects should follow to avoid risks and human losses..

Agradecimentos.....	i
Resumo.....	ii
Abstract.....	iii
1.Introdução.....	1
1.1.Objectivos.....	2
1.1.1.Objectivos Gerais.....	2
1.1.2.Objectivos Específicos.....	2
2.Revisão da Literatura.....	4
2.1.As barragens de aterro. Sua importância e evolução da construção.....	4
2.2.Perfil-tipo em barragens de aterro.....	4
2.3.Materiais utilizados em barragens de aterro.....	5
2.4.Tipos de falhas mais comuns em barragens de aterros.....	6
2.5.Órgãos de segurança.....	9
2.6.Classificação de barragens.....	10
2.6.1.Tipos de barragens.....	11
2.6.2.Por estrutura.....	11
2.6.3.Por tamanho.....	11
2.7.Por utilização.....	11
2.7.1.Barragens de derivação.....	11
2.7.2.Barragens subterrâneas.....	11
2.7.3.Barragens de rejeitados.....	12
2.8.Por material.....	12
2.8.1.Barragens de aço.....	12
2.8.2.Barragens de madeira.....	12
2.8.3.Outros tipos.....	13
2.8.3.1.Ensecadeiras.....	13
2.8.3.2.Barragens naturais.....	13
2.9.Propósitos comuns para criação de uma barragem.....	14
2.9.1.Importância dos estudos de caracterização dos terrenos de fundação das Barragens.....	15
2.9.2.Os objetivos da fundação.....	16
2.9.3.Barragens de terra sobre fundações de rocha.....	16
2.9.4.Problemas quanto ao tipo de material de fundação.....	17
2.9.5.1.Impactos das barragens.....	17
2.9.5.2.Causas de rotura.....	18

2.9.5.4.Barragem de Baldwin Hills .....	20
2.9.5.5.Barragem de Teton .....	21
2.9.5.6.Barragem de Austin .....	23
3.Descrição da área em estudo .....	25
3.1.Considerações gerais .....	25
3.1.1.Fisiografia .....	26
3.1.2.Tipos de solos.....	27
3.1.3.Características Hidrográficas .....	27
3.1.4.Vegetação predominante .....	28
3.1.5.Barragem das Neves. Sua construção .....	29
3.2.Característica da barragem.....	33
3.3.Barragens da província da Huíla (aproveitamentos hidroagrícolas) .....	38
3.3.1.Barragem das Gandjelas .....	39
3.3.2. Barragem da Chimucua II .....	41
3.3.2. Municipio do Quipungo .....	41
3.3.3.Barragem do Sendi .....	43
3.3.4.Barragem do Quipungo I.....	44
3.3.5.Barragem do Quipungo II.....	45
4.Materiais e métodos.....	46
5.Resultados e discussão .....	51
6.Conclusões.....	57
7. Referências bibliográficas.....	58

## Índice de Figuras e Tabelas

Figura 2.1. Barragem de Baldwin vista de sul após a rotura ocorrida em 1963.....	21
Figura 2.2 - Rotura da barragem de Teton.....	22
Figura 2.3 - Rotura da barragem de Teton.....	22
Figura 2.4. Rotura da barragem de Austin. ....	23
Figura 2.5. Rotura da barragem de Austin. ....	23
Figura 3.1 - Mapa de Angola destacando a província da Huila. ....	26
Figura 3.2 - Solo laterítico localizado na maior parte das parcelas de terra do perímetro, Yoso luís, perímetro da Humpata 2013.....	27
Figura 3.3 - Rio das Neves afluente dos rios Tchimpunhime e Chibia, Yoso luís, Humpata 2013.....	28
Figura 3.4 - Imagem satélite da barragem da Neves área tirada pelo Google Earth. ..	30
Figura 3.5 - Panorama da barragem das Neves. ....	30
Figura 3.6 - Primeiro reservatório com a capacidade de 9000 m <sup>3</sup> (Yoso Luis, Humpata, 2013).....	31
Figura 3.7 - Segundo reservatório com a capacidade de 30000 m <sup>3</sup> (Yoso Luis, Humpata, 2013).....	31
Figura 3.8 - Esquema de distribuição de água do canal secundário aos terciários.....	32
Figura 3.9 - Pontos de localização das fazendas irrigadas pela barragem das Neves.....	32
Figura 3.10 - Culturas agrícolas produzidas no perímetro da Humpata (Yoso Luis, 2013).....	35
Figura 3.11 - Culturas agrícolas produzidas no perímetro da Humpata (Yoso Luis, 2013).....	35
Figura 3.12 - Mapa dos terrenos agrícolas no perímetro da Humpata.....	37
Figura 3.13 - Panorama frontal da barragem das Gandjelas província da Huila/Chibia.....	39
Figura 3.14 – Deterioração do corpo de barragem.....	42
Figura 3.15 – Deterioração do corpo da barragem.....	42
Figura 3.16 - Vista parcial do corpo da barragem em descargas de água.....	43
Figura 3.17 - Vista parcial do corpo da barragem em descargas de água.....	43
Figura 4.1 - Afloramentos em escavações (Yoso Luís, Humpata, 2013).....	47
Figura 4.2 – Blocos de quartzito (Yoso Luís, barragem das Neves, 2013).....	47
Figura 4.3 – Blocos de quartzito (Yoso Luís, barragem das Neves, 2013).....	47
Figura 4.4 - Rochas clásticas na albufeira da barragem das Neves.....	49
Figura 4.5 – Alteração das rochas na albufeira da barragem das Neves. ....	49

Figura 4.6 - Fendas de dissecação observadas nos terrenos da albufeira da barragem das Neves.....	50
Figura 5.1 - Fundação da barragem desprotegida devido ao processo erosivo. ....	52
Figura 5.2 - Fugas de água registadas através do corpo da barragem. ....	52
Figura 5.3 - Estratificação do material rochoso encontrado no local em estudo.....	54
Figura 5.4 - Diáclases observadas na área de pesquisa.....	54
Figura 5.5 - Marmita de gigante na margem direita da barragem.....	55
Figura 5.6- Depósitos de material rochoso devido o galgamento da água. ....	56
Figura 5.7 - Coloides de ferro observados na margem esquerda da barragem .....	56
Tabela 1.1 Criação de barragem .....	14



## 1.Introdução

A construção das primeiras barragens parece ter ocorrido na Mesopotâmia e no Médio Oriente. As barragens foram usadas para controlar os caudais, particularmente nos rios Tigre e Eufrates (Hartung et al., 1987)

A primeira barragem conhecida é a barragem de Jawa, no rio Jordão, a 100 km a nordeste da capital Amã. Esta barragem, do tipo gravidade, tinha uma altura de 9 m e 1 m de largura, e um corpo de pedra. A estrutura é datada de 3000 aC. (Hodge et al., 1992).

Em engenharia, uma barragem é uma estrutura que permite a retenção da água e pode ser feita de alvenaria, betão ou materiais soltos (terra ou enrocamento). Normalmente é construída no vale de um curso de água, podendo ter um ou vários fins: abastecimento de água às populações, rega, produção de energia eléctrica, controlo de cheias, navegabilidade e actividades de lazer.

As barragens devem resistir às acções que as solicitam, sendo a pressão da água a acumulada a montante a principal, bem como as solicitações resultantes das descargas que seja, eventualmente necessário fazer através dos designados descarregadores de cheias. Em cada caso, as características dos terrenos e as funcionalidades que se pretendem que a obra tenha ditam a escolha do tipo mais adequado de barragem a construir (Hodge et al., 2000).

A barragem de Sadd-el-Kafara em Wadi Al-Garawi, no Egipto, localizada a cerca de 25 km ao sul do Cairo, foi construída em torno de 2800 ou 2600 aC com 102 m de comprimento e 87 m de largura. A estrutura teve como finalidade principal o controle de cheias. Foi provavelmente destruída na sequência de fortes precipitações durante a sua construção ou pouco depois. (Renewables, 2006)

Em meados dos finais do século 3 aC foi construído um sistema de gestão da água complexa em Dholavira, na Índia. O sistema incluiu 16 reservatórios, barragens e vários canais para permitir a recolha e o armazenamento da água. Tal representou um exemplo da capacidade dos romanos para planear e construir barragens (Arenillas et al., 2003).

Os romanos introduziram o conceito, então novo, de grandes barragens que poderiam garantir um abastecimento permanente de água para aglomerados

urbanos também durante os períodos de fraca precipitação na estação seca. O uso pioneiro da argamassa permitiu a construção de barragens muito maiores do que as construídas até então. São exemplos as barragens de Homs possivelmente a maior construída até essa data e a barragem de Harbaqa na Síria. A maior barragem romana construída foi a de Subiaco, perto de Roma; tinha uma altura recorde de 50 m. Foi destruída acidentalmente em 1305 (Donald 1996).

Os engenheiros romanos mostraram um alto grau de inventividade, introduzindo a maioria dos outros projectos básicos de barragens que eram desconhecidas até então. (Tijdschrift, 1947) Estes incluem, por exemplo, as barragens em arco. A barragem de DuJiangYan é a sobrevivente mais antiga do sistema de irrigação na China, que incluiu uma barragem que foi concluída no ano de 251 aC. A grande barragem de terra feita pelo então primeiro-ministro Sunshu Ao, inundou um vale na moderna província de Anhui, o que deu origem à criação de um enorme reservatório (Needham et al., 1986). No século 10, Al-Muqaddasi foram construídas várias barragens na Pérsia.

A capital da Holanda, Amsterdão (antigo nome Amstelredam), começou com uma barragem no rio Amstel, no final do século 12, e Rotterdam começou com uma barragem no rio Rotte, que é um afluente menor dos NieuweMaas .

## **1.1. Objectivos**

### **1.1.1.Objectivos gerais**

- Este estudo ou pesquisa tem como objectivo primordial a realização de levantamento sobre a caracterização geológica e geotécnica da barragem das Neves, bem como descrever o papel que desempenha a sua zona envolvente na comunidade local.

### **1.1.2.Objectivos específicos**

- Identificação dos afloramentos e os vários tipos de rochas nomeadamente a sua origem, composição, textura e granulometria;
- Identificar o grau de meteorização e os elementos químicos e físicos associados a esse factor;
- Verificar as condições de fundação da barragem;

- Avaliar o estado de conservação da barragem e suas características;
- Avaliar o estado de conservação da barragem ao nível do corpo e da sua fundação.

## **2. Revisão da literatura**

### **2.1. As barragens de aterro. Sua importância e evolução da construção**

As barragens de aterro são constituídas por materiais desagregados entre si nos seus paramentos e material de cariz mais rígido no seu interior (ou núcleo). Este tipo de barragens permite cobrir uma extensão longa dum curso de água onde se encontra implantada e não requer a existência de um maciço rochoso na sua fundação para o que o seu comportamento seja o adequado. Como principais características, as barragens de aterro possuem uma grande capacidade de resistência a grandes deformações sem entrar em rotura.

É um tipo de solução, em média, com menos peso por metro quadrado do que a barragens de betão (isto deve-se ao peso específico do betão ser na ordem dos  $2,4 \text{ g/cm}^3$  e os tipos de solos utilizado nestas soluções serem francamente mais leves); possuem base larga para distribuir o seu peso. Os taludes são mais suaves na sua relação H:V do que o tipo de soluções de betão (contudo deve garantir-se que o material se encontra bem compactado e bem dimensionado para que não possam ocorrer deslizamentos de material) permitindo, assim, um eficiente processo de percolação da água pelo corpo de barragem.

Em termos de planeamento, é uma alternativa que permite uma poupança no material usado, sendo que muito deste é, por norma, material originário da zona de implantação. Em termos de economia, é um tipo de solução com boa aceitação daí ser um tipo de solução popular aquando se trata de decidir a construção deste tipo de estrutura com objectivo principal de retenção de água.

Existem três tipos principais de barragens aterro: barragens de terra, barragens de enrocamento (Caldeira, 2001).

### **2.2. Perfil-tipo em barragens de aterro**

Os perfil-tipo de barragens vêm evoluindo ao longo da história da construção de barragens conforme se foram estudando e ensaiando soluções que servissem o propósito ao qual a barragem era destinada, factor este pautado também pela evolução e surgimento de novos materiais assim como das evoluções significativas no estudo de várias áreas que acabam por entroncar com o ramo de hidráulica. Como qualquer forma de evolução praticada pelo homem, os resultados surgem sempre que se ensaia uma nova solução e esta se afirma como válida para o propósito com que foi concebida. Este tipo de ensaios vêm sido levados a cabo com

maior frequência devido à perene necessidade de adaptação do homem ao meio que o circunda, sendo que os estudos relacionados com hidráulica não foram excepção. Da construção de uma barragem com poucos tipos de materiais até à complexidade que hoje se pratica percorreu-se um longo caminho de experimentação e afirmação dessas soluções.

Independentemente do perfil-tipo utilizado, este tem de verificar sempre o princípio de que a percolação é garantida, as cargas do corpo são sempre transmitidas à sua fundação e que os materiais não se desagregam, para além do propósito de retenção de água.

Um dos perfil-tipo de barragens de aterro é o das barragens em terra homogéneas, em que todo o corpo de barragem é constituído, maioritariamente, por um tipo de solo que não favorece a permeabilidade, mas que serve o propósito de percolação do mesmo. São geralmente utilizados solos com características argilosas, mas também podem ser utilizados solos mais permeáveis, casos de areias e cascalhos arenosos que são utilizados nos filtros. É um tipo de solução que utiliza todo o maciço para controlo de percolação. Caso o dimensionamento não seja o adequado, pode ocorrer a erosão interna e aparecerem caudais de água emergente na face jusante da barragem (Caldeira, 2001).

### **2.3. Materiais utilizados em barragens de aterro**

Conforme se percebeu no subcapítulo anterior, nas barragens de aterro deve ser dada especial atenção à compactação dos solos. Os taludes dos paramentos de montante e de jusante devem ser dimensionados com base nos dados correctos de modo a evitar a ocorrência de acidentes.

Uma desagregação do material pode resultar num deslizamento que, para além de poder comprometer a integridade estrutural do corpo de barragem, pode potenciar danos, tanto a nível de perdas humanas, como económicos ou ambientais.

Os enrocamentos dividem-se em dois tipos:

- Enrocamento grosseiro;
- Enrocamento fino.

O enrocamento grosseiro pode servir como interface entre o corpo de barragem e a água. Deve-se ter especial atenção a este material, uma vez que é aquele que se encontra aplicado no exterior, logo sujeito a maior desgaste por parte das

intempéries e, que ao estar mal compactado, pode deslizar causando prejuízos significativos.

O enrocamento fino é um tipo de enrocamento com uma granulometria de menor dimensão do que o grosseiro, mas que não pode ser denominado de solo fino (recorde-se que pela classificação granulométrica de solos, um solo é fino se for constituído por siltes). Podem ser usados pedaços de rocha bastante degradados na sua composição assim como areias muito grosseiras.

As areias são utilizadas sobretudo na construção dos filtros, sendo que quando se procura ter um tipo de dreno mais compacto, usam-se areias finas com esse propósito. Se o pretendido for ter um dreno que não seja tão compacto, poder-se-á utilizar areias com cascalhos que variam na sua granulometria conforme o propósito a que são sujeitas.

A argila é também utilizada na construção de barragens sendo que, devido à sua baixa permeabilidade e ao baixo custo deste tipo de material pode ser utilizada em núcleos de corpo de barragem, uma vez que apresenta um desempenho bastante satisfatório no controlo de percolação de água.

O betão utilizado como cortina impermeável será betão armado que poderá ser reforçado por uma cortina de argila apenas para colmatar eventuais defeitos que possam existir no propósito que a cortina desempenha.

As chapas metálicas e membranas plásticas são revestimentos que se encontram em fases de ensaio sendo que, devido a não serem viáveis a nível económico, se espera que possam ser aplicados no futuro conforme a evolução destes e sua aplicabilidade ao propósito de controlo de percolação no corpo da barragem.

#### **2.4. Tipos de falhas mais comuns em barragens de aterros**

Uma barragem possui, por ela própria, um factor de risco associado. Este factor de risco é variável consoante o tipo de falha que nela poderá ocorrer e conforme a ponderação de afectação que este tipo de estruturas acarreta por ela própria. O maior risco que uma falha numa barragem pode originar é a libertação da massa de água contida na albufeira para o vale a jusante, originando incalculáveis prejuízos e até em muitas situações perdas de vidas humanas.

Pode-se distinguir a natureza de acidentes em duas formas distintas de ocorrência: uma de natureza acidental e outra de natureza humana.

Os erros de natureza accidental são aqueles que não têm intervenção directa do homem, sendo que é neste grupo que se encontram os acidentes atribuídos a factores naturais como os sismos, as cheias e os factores associados à mecânica dos solos.

Os erros de natureza humana são aqueles que são atribuídos a uma intervenção directa do homem. Os erros de projecto são os factores que probabilidade de acontecer. Neste tipo de erros, contudo, não se devem menosprezar erros relativos a manutenções deficientes, gestão danosa da barragem, planos de estudo deficientes, construção desadequada ou mesmo actos associados a ordem criminosa, como por exemplo a explosão intencional de uma barragem.

No caso de barragens de aterro existem acidentes que se manifestam de forma variada que podem comprometer seriamente a estrutura de barragem.

O caso mais comum de falha neste tipo de barragens deve-se ao galgamento. Pode dar-se por cheias a montante da barragem originando o transbordo de água acima do nível de máxima cheia (NMC) podendo este factor originar a deterioração significativa do corpo de barragem enfraquecendo assim a estrutura e/ou criar uma onda de inundação que transponha o corpo de barragem causando prejuízos avultados.

Na origem deste tipo de situação podem estar factores como o dimensionamento deficiente do descarregador de cheias da barragem, o espaço atribuído a descargas encontrar-se obstruído com entulho não permitindo um escoamento razoável, um deslizamento de terras significativo com um volume de terras movimentado que obrigue à superação do NMC, por ocorrência de sismos, etc.

Outro fenómeno que deve requerer uma análise cuidadosa é o fenómeno de erosão interna. A erosão interna resulta de erosão interna do material que compõe a barragem originando a degradação das suas propriedades que, em último caso, pode levar a uma rotura do corpo de barragem. Este fenómeno manifesta-se pelo desgaste originado pela água que forma pequenos tubos ao longo do corpo de barragem, resultando no arrastamento dos finos dos solos, comprometendo assim a sua integridade estrutural.

Na origem desta anomalia podem estar factores como uma deficiente escolha de solos a aplicar, uma monitorização desadequada como a realização de ensaios periódicos ou má compactação de materiais.

Outro aspecto a ter em conta é o da degradação das condições de solo da fundação. Se este não for bem dimensionado e compactado, pode originar problemas de coesão do material do corpo de barragem, podendo resultar, por exemplo, em factores como intensificação do fenómeno de erosão interna.

As cheias e os sismos são realidades transversais a todo o tipo de barragens. Estes são factores naturais que não podem ser monitorizados, quanto muito podem ser minimizados através de dimensionamentos estruturais adequados à realidade da região de implantação da barragem em estudo. Estes são factores que podem ameaçar severamente a integridade da estrutura podendo assim originar situações catastróficas.

Os sismos podem provocar falhas de várias ordens dependendo da intensidade com que estes afectam a barragem. Apesar de se ensaiarem e dimensionarem os elementos de barragem para resistir a um sismo, a natureza destes pode originar roturas de solos comprometendo assim a fundação da barragem, originando ondas que provocam galgamento da barragem. Apesar de se ter sempre em conta os critérios de dimensionamento sismológico, este tipo de acidentes é sempre de difícil previsão devido ao carácter de variedade na sua afectação na barragem.

As cheias são também um tipo de acidente que requerem uma monitorização constante visto que é o fenómeno natural com maior apetência para ocorrer e ameaçar a barragem. Este tipo de fenómeno é controlável se não ocorrer um enchimento de albufeira anormal (cheias dos 500 e 1000 anos) desde que o dimensionamento e manutenção da barragem sejam adequados, sendo que o objectivo é reter as águas de cheia na albufeira até ao NMC.

Quanto a erros humanos, o mais usual de acontecer é o deficiente dimensionamento que, conforme visto anteriormente, pode resultar em praticamente todo o tipo de falhas conhecidas em barragens. De forma a minimizar este tipo de erro deve-se ter especial atenção ao trabalho desenvolvido no dimensionamento da barragem e rever todos os elementos até estes serem válidos.

No dimensionamento deve, sempre que possível, ter-se em conta uma folga que se traduzirá numa maior segurança para o corpo de barragem. Outros aspectos a ter em conta em termos de erro humano são as manutenções deficientes de uma barragem, má construção, má utilização, etc.



Em termos de barragens de aterro tem-se ainda que ter em atenção a situações como a percolação junto dos encontros da barragem. Apesar de parecer uma questão menor este tipo de falha pode comprometer o corpo de barragem, enfraquecendo um ponto já de si sensível e podendo posteriormente originar falhas na subsistência de materiais. (ICOLD, 2001).

## **2.5. Órgãos de segurança**

Os órgãos de segurança integrados na estrutura de uma barragem englobam o descarregador de cheias e a descarga de fundo. O descarregador de cheias é a componente através do qual os caudais afluentes à albufeira, em situações de cheia, é escoada para o canal de jusante, impedindo desta forma o galgamento da estrutura. Este órgão pode ser de vários tipos e a sua concepção deve atender principalmente ao tipo de barragem, embora seja também necessário considerar outro tipo de condicionantes, como as condições topográficas, hidráulicas e aspectos económicos. Em barragens de betão é corrente instalar-se o descarregador de cheias ao nível do coroamento, efectuando-se neste caso o escoamento sobre a estrutura, ou adoptar um sistema de descarga através de aberturas no corpo da barragem e controlado por comportas.

Em barragens de aterro é mais frequente a instalação de descarregadores em canal de encosta, constituídos por um canal lateral à barragem, controlada, ou não, por comportas e construída numa das margens do aproveitamento. Outra solução é a utilização de descargas em poço através de estruturas verticais de betão, normalmente com o topo situado ao nível do NPA, sendo a restituição da água efectuada igualmente por uma galeria lateral situada na margem, mas a uma profundidade mais elevada do que no caso anterior.

Em alguns casos esta galeria pode também ser implementada sob a barragem, dependendo das características geológicas do terreno e de condicionantes estruturais.

Uma das vantagens destes tipos de descarregador é o facto de ser possível aproveitar obras de apoio à construção, como a galeria de desvio provisório do rio e outras obras subterrâneas, integrando-as nos circuitos de descarga definitivos da barragem. Em relação à descarga de fundo, é um elemento situado em profundidade, quase ao nível da base da estrutura, materializado geralmente por uma galeria de betão equipada com comportas. Este sistema, cuja capacidade de vazão é substancialmente menor que a do descarregador de cheias, é utilizado

apenas quando é necessário proceder ao esvaziamento completo da albufeira, para realizar obras de manutenção ou de reparação do corpo principal da barragem.

## 2.6. Classificação de barragens

As barragens podem ser classificadas segundo diferentes critérios, nomeadamente quanto à forma estrutural, aos materiais utilizados, às suas dimensões, à capacidade de armazenamento e finalidade. A Comissão Internacional de Grandes Barragens (GIGB/ICOLD) classifica as barragens em dois tipos:

- Pequenas barragens;
- Grandes barragens.

Considerando apenas os critérios da sua altura e volume de água armazenado, o Regulamento de Segurança de Barragens (RSB) segue a mesma classificação da Comissão Internacional das Grandes Barragens e define as grandes barragens são aquelas que têm uma altura acima da fundação até à cota do coroamento de 15 m, aquelas que têm uma altura de 10 m mas cuja capacidade de armazenamento da albufeira é de  $1 \text{ hm}^3$ , ou aquelas que têm menos de 15 m de altura e uma albufeira com uma capacidade de armazenamento superior a 100 mil  $\text{m}^3$ .

Do conjunto das grandes barragens distinguem-se aquelas que têm uma altura superior a 150 m, que são designadas por barragens principais, mas ainda inexistentes em Portugal. Todas as demais barragens não abrangidas nos parâmetros anteriores, estão incluídas nas pequenas barragens. Em Portugal está em fase final de conclusão o escalão de montante do aproveitamento hidroeléctrico do Baixo Sabor que ficará com uma altura máxima, acima das fundações, de 123 m.

A finalidade das albufeiras, que são consequência da construção de barragens, pode incidir no abastecimento de água, na irrigação agrícola, no controle de cheias, na produção de energia eléctrica, na navegação e nas actividades recreativas.

Existem, no entanto, albufeiras que têm mais do que uma finalidade e quando tal acontece as albufeiras são designadas como sendo de fins múltiplos. A classificação de barragens depende também do tipo de materiais utilizados na construção. Actualmente os principais materiais utilizados na construção de barragens são o betão convencional, o betão compactado com cilindro (BCC), a alvenaria de pedra e materiais soltos, em que se incluem o enrocamento e os solos. (Rafael, 2011).

### **2.6.1. Tipos de barragens**

As barragens podem ser formadas por acção humana, causas naturais, ou mesmo pela intervenção de animais selvagens, como os castores. As barragens são geralmente classificadas de acordo com seu tamanho (altura), finalidade, estrutura ou natureza dos materiais constituintes.

### **2.6.2. Por estrutura**

Com base na estrutura e material utilizado, as barragens são classificadas em: barragens ou diques

- ✓ Barragens de arco;
- ✓ Barragens de gravidade;
- ✓ Barragens arco-gravidade;
- ✓ Barragens de betão;
- ✓ Barragem de contrafortes;
- ✓ Barragem de BCC (betão compactado em cilindro).

### **2.6.3. Por tamanho**

As normas internacionais (incluindo Comissão Internacional de Grandes Barragens, (CIGB) definem grandes barragens como sendo as que têm uma altura acima da fundação superior a 15 metros. O Relatório da Comissão Mundial de Barragens também inclui nesta categoria as barragens que têm uma altura entre 5 e 15 m ultrapasse mais de 3 milhões de metros cúbicos. (Barragens e Desenvolvimento 2000).

## **2.7. Por utilização**

### **2.7.1. Barragens de derivação**

Uma barragem de derivação é uma estrutura concebida para desviar a totalidade ou uma parte do fluxo de um rio de seu curso natural. A água pode ser redireccionada para um canal ou túnel para irrigação e produção de energia hidroelétrica.

### **2.7.2. Barragens subterrâneas**

As barragens subterrâneas são usadas para reter as águas subterrâneas e armazenar a totalidade ou a maior parte dela abaixo da superfície para o uso prolongado em uma área localizada. Em alguns casos, também são construídas para evitar a intrusão de água salgada num aquífero de água doce. As barragens

subterrâneas são normalmente construídas em áreas onde os recursos hídricos são mínimos e precisam de ser armazenados de forma eficiente, como nos desertos e em ilhas como a Barragem Fukuzato em Okinawa, no Japão.

Elas são mais comuns no nordeste da África e nas regiões áridas do Brasil, no sudoeste dos Estados Unidos, México, Índia, Alemanha, Itália, Grécia, França e Japão. (Schnitter et al., 1987)

### **2.7.3. Barragens de rejeitados**

A barragem de rejeitados é tipicamente um aterro usado para armazenar rejeitados - que são produzidos durante a mineração de operações após a separação da fracção valiosa da fracção antieconómica de um minério. A barragem de rejeitados é construída ao longo da vida útil da exploração mineira que irá servir.

O material usado para construir a barragem pode incluir os rejeitos (dependendo do tamanho) (ICME, 2011).

Existem três modelos de rejeitos levantadas barragem, a *montante*, a jusante e central, denominada de acordo com o movimento da crista durante a elevação. O desenho específico usado depende da topografia, geologia, clima, o tipo de rejeitos e de custos.

## **2.8. Por material**

### **2.8.1. Barragens de aço**

Uma barragem de aço é um tipo de barragem brevemente experimentado em torno do início do século 20 que utiliza chapas de aço e vigas de apoio da carga como a estrutura. Pretendido como estruturas permanentes, as barragens de aço eram um experiência para determinar se a técnica de construção era menos dispendiosa do que o de alvenaria, betão ou obras de terraplanagem.

### **2.8.2. Barragens de madeira**

Foram amplamente utilizados no início da revolução industrial e em áreas de fronteira, devido à facilidade e velocidade de construção. Raramente construídas nos tempos modernos por causa da vida útil relativamente curta, as barragens de madeira devem ser mantidas constantemente húmidas, a fim de manter suas propriedades de retenção de água e limitar a deterioração degradação. Os locais

onde as barragens de madeira são mais económicas para a construção são aqueles onde a madeira é abundante, o cimento é caro ou difícil de transportar. As barragens de madeira foram muito utilizadas no oeste da América do Norte.

### **2.8.3. Outros tipos**

#### **2.8.3.1. Ensecadeiras**

A ensecadeiras são barragens construídas previamente ao início das obras de construção de uma barragem. Podem ser feitas, por exemplo, em betão, solo e desempenham o seu papel durante um intervalo de tempo relativamente curto. Em alguns casos, como por exemplo os que envolvam trabalhos de reforço de potência num aproveitamento hidroeléctrico já existente, são demolidas após terem desempenhado o seu papel. Refira que foi esta a situação que se verificou, por exemplo, nas obras de reforço de potência levadas a cabo pela EDP no Picote II.

#### **2.8.3.2. Barragens naturais**

As barragens também podem ser criadas por forças geológicas naturais. Barragens vulcânicas são formadas quando os fluxos de lava, muitas vezes basálticas, interceptam o curso de água. As erupções do campo vulcânico de Uinkaret, há cerca de 1,8 milhões-10000 anos atrás, criaram barragens de lava no rio Colorado, no norte do Arizona, nos Estados Unidos. O lago atingiu 800 quilómetros de comprimento antes do fracasso de sua barragem.

A actividade glacial também pode formar barragens naturais, como por exemplo o represamento do Clark Fork, em Montana, o que originou a formação do Lago Missoula com 7780 km<sup>2</sup> perto do final da última era glacial.

Os desastres naturais, como os terremotos e os deslizamentos de terra podem dar origem a barragens em regiões montanhosas com geologia local instável. Os exemplos históricos incluem a barragem de Usoi no Tajiquistão, que bloqueou o rio Murghab para criar o lago de Sarez. Com 560 m de altura é a barragem mais alta do mundo, incluindo as represas naturais e artificiais. Um exemplo mais recente foi a criação de do lago Attabad por um deslizamento de terra ocorrido no rio Hunza no Paquistão .

As barragens naturais apresentam muitas vezes riscos significativos para os seres humanos e infra-estruturas. Os lagos que se formam assim podem, muitas vezes, inundar áreas habitadas, enquanto uma falha catastrófica da barragem pode causar

danos ainda maiores, como por exemplo o que aconteceu com a rotura, ocorrida em 1927, da barragem Wyoming's Gros Ventre que destruiu a cidade de Kelly e provocou a morte de seis pessoas.

## 2.9. Propósitos comuns para criação de uma barragem

Alguns desses objectivos são conflitantes, pelo que o operador da barragem precisa fazer compensações dinâmicas. Por exemplo, a geração de energia eléctrica e o abastecimento de água às populações podem ser conflitantes. Caso a barragem tenha como uma das finalidades principais o controle das cheias, as regras de prudência podem ditar que em determinada época do ano o nível da água seja abaixado para aumentar a capacidade de armazenamento da água.

Tabela 1.1 - Criação de barragem

<b>Função</b>	<b>Exemplo</b>
A geração de energia	A energia hidroeléctrica é uma das principais fontes de electricidade no mundo. Para a produção de energia hidroeléctrica são necessárias barragens.
Abastecimento de água	Muitas áreas urbanas do mundo são abastecidas com água captada em albufeiras de barragens.
Estabilizar o fluxo de água / irrigação	As barragens são muitas vezes utilizadas para controlar os caudais das cheias; podem também ter fins hidroagrícolas.
Recuperação de terras	Os diques podem ser usados para impedir a entrada de água para uma área que de outra forma seria submerso, permitindo a sua recuperação para uso humano
Navegação	As barragens criam reservatórios que podem permitir a navegabilidade de um rio. Para isso, as barragens devem estar equipados com as eclusas de navegação.
Recreação e beleza aquática	As barragens criam reservatórios de água a montante que podem propiciar o desenvolvimento de actividades de lazer variadas

Para a construção de uma barragem é necessário ter em consideração:

- ✓ A permeabilidade das rochas ou solos;
- ✓ A sismicidade;
- ✓ Deslizamentos e estabilidade de taludes marginais da albufeira

- ✓ Nivel freático;
- ✓ Pico de cheia ;
- ✓ Assoreamento do reservatório;
- ✓ Localização e propriedades dos materiais constituintes;
- ✓ Impactos ambientais sobre a pesca, florestas e animais selvagens (pode ser aconselhável a necessidade da construção de uma escada de peixes);
- ✓ Impactos sobre habitações e a actividade humana;
- ✓ Compensação por terra a ser inundada, bem como a realocização das populações;
- ✓ Remoção de terrenos eventualmente contaminados.

### **2.9.1.Importância dos estudos de caracterização dos terrenos de fundação das barragens**

Para se fazer a caracterização dos terrenos de fundação de uma barragem devemos ter em atenção alguns pressupostos ligados com a identificação do local de implementação da suposta obra onde se destacam as seguintes etapas:

- a) Identificação do local por intermédio de uma fotografia, imagens e mapas de modo a obter o máximo de informação possível como:
- b) Os limites da área devem ser identificados e delineados;
- c) As áreas irrigáveis, pastagens e terrenos urbanizados deverão ser marcados para permitir a melhor localização de locais potenciais;
- d) As bacias hidrográficas são normalmente obtidas a partir de mapas, dado que se podem estender para além dos limites das fotografias disponíveis. Se a fotografia começar a ficar demasiado sobrecarregada com pormenores, os pormenores não essenciais podem ser eliminados para facilitar a interpretação;

Um bom local para a implantação de uma barragem deverá ter uma bacia hidrográfica que não seja tão grande que necessite dum descarregador muito caro, mas também que não seja tão pequena que o rendimento demasiado baixo ou errático para ser capaz de fornecer uma área económica dum sistema de regadio.

Para um adequado desenvolvimento dos estudos será necessário:

- Visitas de campo. Uma vez que os locais tenham sido identificados, podem organizar-se visitas de campo às áreas em análise para permitir a selecção

do local mais adequado. É necessário efectuar um reconhecimento superficial de todos os locais dentro da área envolvida. Os locais mais favoráveis poderão então ser decididos e os levantamentos preliminares realizados.

- Levantamentos preliminares As implicações económicas da escolha de cada um dos locais podem ser determinadas a partir de um breve levantamento preliminar.
- O declive do rio deve ser avaliado de modo a estimar a extensão e o volume da albufeira.

### **2.9.2.Os objetivos das fundações**

Até mesmo em locais bem explorados, a profundidade para materiais de fundação adequados só é conhecida com certeza nos locais onde a exploração foi executada de facto. As escavações nas fundações devem ser feitas a contar também com condições inesperadas, inadequadas. Para ajudar na fase de obra, o projecto deve indicar as características a que devem obedecer os terrenos de fundação. Normalmente são especificados outros detalhes de projecto de fundação considerados importantes, como:

- Tratamentos a aplicar às fundações;
- Especificar e determinar o volume de escavação requerido e seleccionar o equipamento apropriado para a sua realização;

### **2.9.3.Barragens de terra sobre fundações de rocha**

Nalguns casos – e onde não haja risco do aterro deslizar na superfície de rocha – uma barragem de terra poderá ser mais barata do que um barragem em alvenaria ou em betão. A construção de uma tal barragem é simples e muitos dos procedimentos descritos anteriormente estão envolvidos. No entanto, há um ou dois assuntos cuja importância deverá ser sublinhada.

A rocha sobre a qual deverá ser construído o aterro terá de ser sólida em todo o seu comprimento. As discontinuidades consideradas como sendo mais importantes deverão ser identificadas, limpas e preenchidas com betão.

Alguma pesquisa será necessária para averiguar se a rocha se estende para uma profundidade suficientemente grande para servir como vala corta águas (FAO 2011).



Uma vez considerada satisfatória, a rocha deverá ser limpa de materiais resultantes de intemperismo e de materiais soltos.

#### **2.9.4. Problemas quanto ao tipo de material de fundação**

- a) Rocha fracturada. Falta de impermeabilização. A estabilidade pode ser ameaçada devido ao mau contacto entre o maciço e a fundação ;
- b) Rocha não fracturada garante maior estabilidade. Como consequência disso a fundação pode ser mais resistente;
- c) Solo granular: neste tipo de solo o terreno é mais fofo e com certa estabilidade devido à disposição das suas partículas, que permitem ter melhor estanqueidade e alta permeabilidade.

#### **2.9.5. Rotura de barragens**

#### **2.9.6. Impactos das barragens**

A rotura de uma barragem é um fenómeno que pode ser induzido por causas naturais ou provocado pela acção humana, podendo ser causado por um factor isolado ou pela combinação de mais de um. (Mascarenhas,1990).

Os danos em acidentes dessa natureza incluem:

- Prejuízos materiais directos, que abrangem a perda da própria barragem e das propriedades atingidas na área inundada a jusante, tais como residências, automóveis, edifícios comerciais, prédios, equipamentos industriais, estoque de produtos, estradas, pontes e ferrovias;
- Interrupção de actividades, que abrangem os processos de manufactura, serviços, actividades recreativas, fornecimento de água, transporte, actividades agrícolas e geração de energia;
- Operações de emergência, que abrangem as operações de busca e resgate, assistência médica no local, evacuação e custo de hospedagem temporária dos desabrigados;
- Impactos para o meio ambiente que abrangem a alteração do habitat, a destruição da fauna e flora, modificações morfológicas dos cursos de água, desmatamento e

deterioração visual; e risco de perda de vidas humanas, que recai directamente na segurança da população.

Segundo Collischonn (1997), o tipo de barragem é importante no que diz respeito às causas da rotura. Barragens de betão são mais susceptíveis a problemas na fundação ou na estrutura, vindo a ocorrer colapsos quase instantâneos. Barragens de terra são sensíveis ao galgamento, em cheias maiores que as de projecto, quando o descarregador de cheias não é suficiente e a água galga o coroamento da barragem. Nesses casos, inicia-se a erosão do talude de jusante da barragem e ocorre a conseqüente formação de uma brecha de forma regressiva.

Os problemas de infiltração e entupimento do sistema de drenagem interno da barragem também são importantes em barragens de terra, gerando brechas que se iniciam como pontos de vazamento e crescem a partir do ponto de surgimento. Barragens de gravidade de betão podem gerar brechas instantâneas, mas apenas parciais, nas quais um bloco da construção é retirado.

#### **2.9.6.1. Causas de rotura**

- **Galgamento**

O galgamento resulta da incapacidade do descarregador da barragem extravasar totalmente a cheia afluyente ao reservatório. Esse comportamento pressupõe a passagem de uma parcela do caudal afluyente sobre a barragem, em partes não projectadas para verter água, desencadeando um processo de rotura do macio da barragem. Esse problema é particularmente perigoso para barragens constituídas de material solto, como as barragens de terra.

O galgamento pode ter variadíssimas causas dentre elas destacamos as seguintes:

- Má operação do reservatório durante a cheia;
- Ocasão de uma cheia extraordinária, para a qual o descarregador seja incapaz de verter esse caudal afluyente;
- Formação de uma onda dentro do reservatório, de origem sísmica ou provocada pelo deslizamento de uma grande quantidade de terra de encostas.

Se o tempo e a intensidade do galgamento forem suficientes, inicia-se uma brecha em um ponto qualquer mais fraco na crista da barragem, e essa brecha cresce com o

tempo, por erosão, a uma velocidade que depende da natureza do material constituinte da barragem e das características do reservatório.

As barragens de betão em arco podem apresentar erosões nas suas fundações associadas ao galgamento. Nesse caso, a segurança parece residir mais na capacidade das fundações resistirem ao impacto do galgamento do que a da estrutura da própria barragem (Janson, 1983).

- **Falhas nas fundações**

O terreno ao qual a barragem é ligada pode deslizar sob o efeito das acomodações geológicas que resultam do enchimento do reservatório ou da saturação do material da fundação por infiltração. Outra ameaça é as fundações e as cheias extraordinárias que causam o galgamento, quando a água que passa sobre a barragem provoca a erosão da base da estrutura (Collischonn, 1997).

As características de deformação dos materiais constituintes das fundações da barragem são de difícil previsão e a avaliação dos efeitos da construção não muito criteriosa torna-se incerta com respeito ao deslizamento nas fundações. Em geral, fundações com resistência não satisfatória a tensões ou que apresentem ligações compostas de materiais como argila, por exemplo, são vulneráveis ao deslizamento. A utilização de materiais impermeáveis em juntas de ligação pode também contribuir no deslizamento, se a infiltração por meio desses materiais não for monitorada para controlo (Mascarenhas, 1990).

- **Erosão interna**

A erosão interna é um processo de formação de um tubo de escoamento preferencial, denominado entubamento, que pode ocorrer em barragens de terra. A falha por transporte é um fenómeno que ocorre por erosão regressiva, onde há formação de um tubo, originado do carreamento de partículas, de jusante para montante no macio de terra compactada em uma barragem.

Esse tubo tende a aumentar progressivamente seu diâmetro medida que a água percola pelo solo compactado, conduzindo ao colapso da estrutura.

Factores determinantes como o grau de compactação do solo, o adequado dimensionamento do sistema de drenagem interna do macio e a monitorização de

parâmetros geotécnicos são importantes para evitar o processo de formação de transporte em barragens de terra (Ladeira, 2007).

- **Falhas no projecto, na construção ou na operação**

Uma barragem é uma obra de engenharia que exige para a sua segurança critérios bastantes cuidadosos durante as fases de projecto, construção e operação, devido complexidade de funcionamento e risco potencial da estrutura.

Dentre as causas das falhas dessa natureza, destacam-se: projectos de descarregadores com capacidade inferior às cheias de grande magnitude, falhas de procedimentos de sondagens, utilização de materiais de má qualidade e/ou durabilidade na obra, inadequação de execução de drenagens, ancoragens, compactação, limpezas e tratamento de fundação, desobediência as regras de manutenção ou sua interpretação errónea, descontinuidades e/ou a não manutenção planejada, mal uso e/ou falta de manutenção do vertedouro, falhas na instalação e registo da instrumentação (Andriolo et al., 2008).

- **Acções de Guerra**

Durante as guerras, as barragens são locais estratégicos, pelo seu significado económico para um país, bem como pelo potencial destrutivo de uma inundação resultante de uma roptura. A formação da brecha depende da intensidade e da localização da explosão com a qual a barragem é atingida. Durante a II Guerra Mundial os países aliados desenvolveram armas especiais para implodir barragens. As implosões mais conhecidas são as das barragens de Moehne e de Eder, na Alemanha (Collischonn, 1997). A incidência de acidentes provocados por esse factor depende da região onde se situa a barragem e de questões políticas envolvidas.

### **2.9.6.2. Casos de colapso em barragens**

Dentre os diversos casos de roptura ocorridos ao longo da história, pretende-se apresentar neste item alguns casos famosos de roptura, envolvendo barragens de diferentes tipos e características.

### **2.9.6.3. Barragem de Baldwin Hills**

Segundo Jansen (1980), a barragem Baldwin Hills foi construída para o abastecimento de água á cidade de Los Angeles, no estado americano da Califórnia,

entre os anos de 1947 e 1951, e tinha 12 anos quando entrou em rotura, em 14 de Dezembro de 1963. O reservatório tinha um volume de  $0,98 \text{ hm}^3$  e era delimitado por diques de terra compactada em três de seus lados, com o quarto lado sendo fechado pelo maciço da barragem, de 71 m de altura e 198 m de comprimento.

O início do processo de rotura foi repentino e ocorreu após um significativo deslocamento atribuído a problemas nas fundações, e não a sismos no local. A brecha iniciou-se pela infiltração de água pelo maciço, seguida de erosão tubular regressiva e, em quatro horas, já estava completamente desenvolvida. As consequências desastrosas dessa rotura foi minimizada porque o reservatório foi esvaziado logo que os operadores identificaram os primeiros indícios de infiltração. Cinco pessoas morreram, 41 casas foram destruídas e outras 986 danificadas

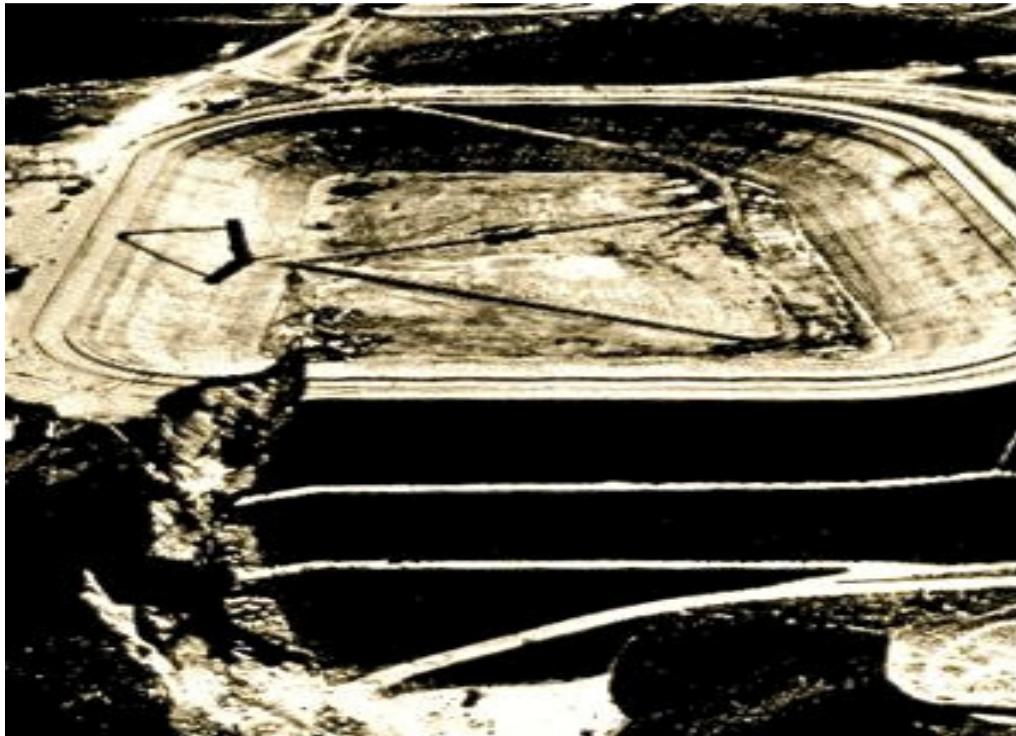


Figura 2.1 - Barragem de Baldwin Hills vista de sul após a rotura ocorrida em 1963.

#### 2.9.6.4. Barragem de Teton

A barragem de Teton, projectada pelo Bureau of Reclamation dos Estados Unidos, localizava-se no rio Teton, no estado de Idaho, nos Estados Unidos. Foi construída nos anos de 1972 a 1975 com o objectivo de irrigar  $450 \text{ km}^2$  e gerar 16 MW de electricidade.

A barragem era de terra, com uma altura máxima de 93 metros e uma capacidade total de armazenamento do reservatório de 308 hm<sup>3</sup>

Durante o primeiro enchimento do reservatório, no dia 5 de Junho de 1976, a barragem de terra entrou em rotura (figuras 2.2 e 2.3). A brecha formada na barragem de terra chegou a ter dimensões máximas de 46 metros de largura por 79 metros de altura

A falha no aterro da barragem foi-se agravando devido ao carreamento de partículas do macio de terra pelo fluxo descontrolado de jusante para montante (Singh, 1996).

O tempo de esvaziamento do reservatório foi de aproximadamente 4 horas. A ponta da cheia foi de 66.000 m<sup>3</sup>/s. A onda de cheia gerada causou a morte de 11 pessoas, deixando mais de 25.000 pessoas sem abrigo e milhões de dólares em prejuízo material (Brasil, 2005).



Figura 1.2 - Rotura da barragem de Teton.

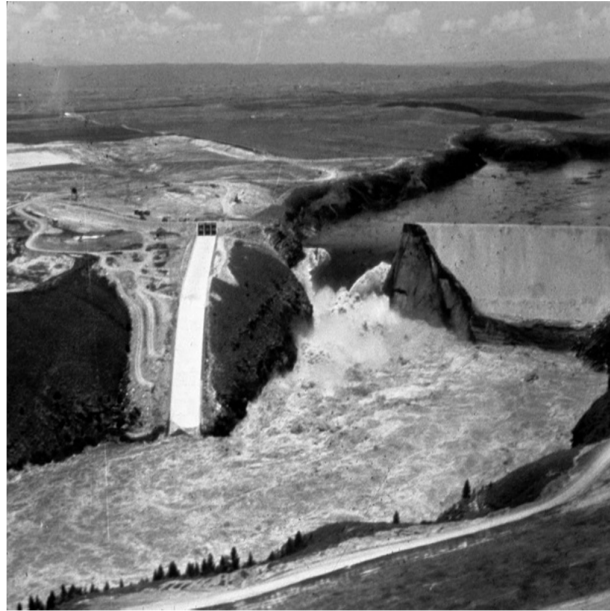


Figura 2.3 - Rotura da barragem de Teton.

#### 2.9.6.5. Barragem de Austin

A barragem Austin, também conhecida como "barragem do grande granito" foi um fracasso catastrófico, que matou dezenas de pessoas em 1900. A destruição da barragem (figuras 2.4 e 2.5) secou o lago McDonald e deixou a cidade de Austin sem energia eléctrica por varios meses (Papel us1896).



Figura 2.4 - Rotura da barragem de Austin.



Figura 2.5 - Rotura da barragem de Austin.



### **3. Descrição da área em estudo**

#### **3.1. Considerações gerais**

Angola situa-se na costa do Atlântico Sul da África Ocidental, entre a Namíbia e o Congo. Também faz fronteira com a República Democrática do Congo e a Zâmbia, a oriente. O país está dividido entre uma faixa costeira árida, que se estende desde a Namíbia até Luanda, um planalto interior húmido, uma savana seca no interior sul e sueste, e floresta tropical no norte e em Cabinda. O rio Zambeze e vários afluentes do rio Congo têm as suas nascentes em Angola. A faixa costeira é temperada pela corrente fria de Benguela, o que tem como resultado um clima semelhante ao da costa do Peru ou da Baixa Califórnia.

Existe uma estação das chuvas curta, que vai de Fevereiro a Abril. Os verões são quentes e secos e os Invernos são temperados. As terras altas do interior têm um clima suave com uma estação das chuvas de Novembro a Abril, seguida por uma estação seca, mais fria, de Maio a Outubro.

Nome oficial: República de Angola Capital: Luanda; Idioma: português (oficial); línguas regionais (principais: umbundo, quimbundo, quicongo, ovimbundo, bacongo); Localização: sudoeste Africano Área: 1.246.700 km<sup>2</sup> (13,5 vezes Portugal com uma linha de costa de 1650 Km); População: 11,19 milhões de habitantes (em 2005 segundo a OCDE), na maioria bantu, e ainda, cuissi e bosquímanes (6 vezes mais que Portugal); Cidades principais: Luanda; Huambo; Benguela; Lobito; Lubango; Clima: Equatorial e tropical

Humpata é uma vila e município da província da Huíla, em Angola.

Tem cerca de 31 mil habitantes. É limitado a Norte pelo município do Lubango, a Este pelo município da Chibia, a Sul pelo município de Virei, e a Oeste pelo município de Bibala. É constituído apenas pela comuna de Humpata.

Foi uma das primeiras zonas de colonização portuguesa e bóer nesta zona do interior de Angola, sendo o antigo concelho criado em 1883.

A Humpata enquadra-se na zona agrícola número 30 conforme a classificação em vigor.

Localiza-se no sudeste de Angola. É uma componente das terras altas da Huila (figura 3.1), a que lhe corresponde um conjunto de superfícies planálticas, de altitude

médias, estando as mais elevadas na parte meridional do território, sendo os seus integrantes os Municípios do Lubango, Chibia, Humpata e a comuna do Hoque.

A zona constitui o habitat tradicional do povo muila, importante ramo do grupo étnico Hhaneka Humbe.

Os seus pontos extremos são coincidentes com os paralelos de 14<sup>o</sup>.26´ latitude Sul e os meridianos de 13<sup>o</sup>,11´ e 14<sup>o</sup>,31´ de longitude Este. Apresenta-se com uma área com cerca de 8.000 km<sup>2</sup> correspondendo a 0,64 % do território angolano.

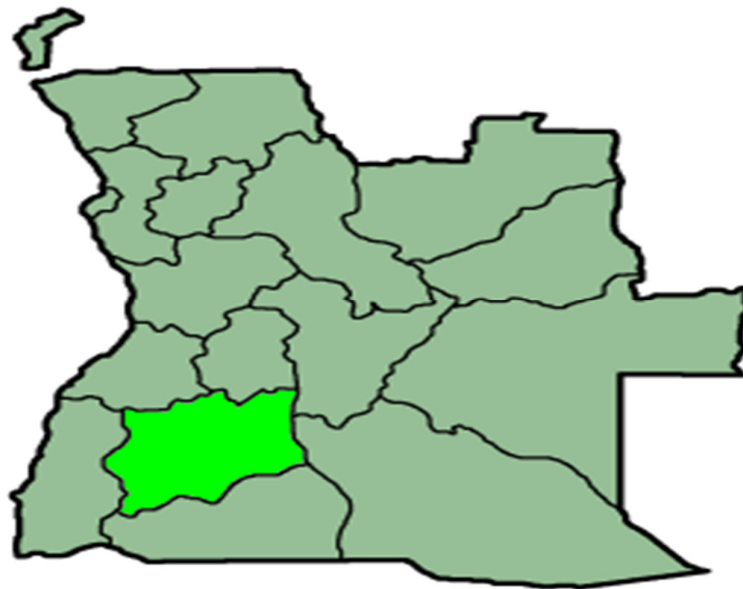


Figura 3.1 - Mapa de Angola destacando a província da Huila.

### 3.1.1. Fisiografia

Distinguem-se duas unidades principais. A mais importante localizada a nível inferior ocupando a maior parte da área, está bem definida, cujas cotas apresentam uma altitude com cerca de 1800 m no Lubango e 1400 m nos limites a leste e sudoeste.

A outra grande unidade geomorfológica no planalto da Humpata, corresponde às mais elevadas aplanções do sudoeste de Angola. Nela se distinguem duas subunidades:

- A da Humpata com 2000 m no topo e a do Bimbe com cotas que atingem 2300 metros.

Entre o planalto da Humpata para a pequena superfície do Bimbe, existe um alteroso degrau com desníveis da ordem do 100- 300 m, que faz com que este conjunto de escarpas e aplanções tomem um aspecto maciço, e daí a designação regional da serra da chela.

### 3.1.2. Tipos de solos

Os solos oxipsamicos pardacentos, barros negros, solos ferraliticos, solos delgados com laterite (figura 3.2) próximos da superfície, solos pouco evoluídos, litossolos, terrenos rochosos e fersialiticos.

Os solos ferraliticos ocupam cerca de 3/4, da área da mesma zona, tendo este tipo de solo uma ocorrência na superfície planáltica da Humpata.



Figura 3.2 - Solo laterítico localizado na maior parte das parcelas de terra do perímetro (Yoso Luís, perímetro da Humpata, 2013).

### 3.1.3. Características Hidrográficas

As terras altas da Huila são dominadas, na maior parte da sua área, por duas bacias fundamentais, a do Calongo, sensivelmente na metade N-NE e a do Caculuvar na parte restante, ambos pertencentes a bacia do Cunene. A faixa limítrofe Nordeste corresponde as cabeceiras das bacias de Coporolo e rio Quê.

Por quase toda a parte das terras altas da Huila, as superfícies são cortadas por linhas de água que definem vales largos e pouco profundos chamadas de ``mulolas``, a maior parte das quais só transporta água no tempo chuvoso.

A bacia do Caculuar, não só pelo curso principal, mas também pelos seus afluentes que nascem no planalto da Humpata (Tchimpumpunhime – figura 3.3 - e Chibia) e a bacia do Lubango (rios Capitão, Mucanca e Mapunda) tiveram influencia marcante na ocupação preferencial agrícola de tipo empresarial.



Figura 3.3 - Rio das Neves afluente dos rios Tchimpumpunhime e Chibia (Yoso Luís, Humpata, 2013).

#### **3.1.4. Vegetação predominante**

A floresta ou “mata de panda”, com carácter de dominância total na metade N-NE, aí bem relacionada com os solos ferralíticos muito espessos e tipos climáticos húmido e sub - húmido, vai gradualmente cedendo lugar a formações mais secas com fáceis de mato cerrado, de difícil penetração. Numa extensa faixa intermédia, em que o eixo central corresponde sensivelmente ao paralelo da cidade do Lubango - Olivença a Nova, bem como no planalto da Humpata, os casos de interpenetração de ambos os tipos de vegetação são bastante frequentes, conferindo a paisagem aspecto típico de mosaico.

#### **Florestas abertas (Brachystegia, julbernardia)**

Assinala-se no planalto da Humpata, ocupando as áreas aplanadas de solos ferralíticos bastante espessos, vindo a constituir aí o limite sudoeste da sua representação em Angola.

### 3.1.5. Barragem das Neves. Sua construção

A construção da barragem das Neves resultou de uma necessidade sentida pela população da Humpata e reconhecida pelos técnicos de forma a melhorar e ampliar a rega nesta área que vai até à Chibia.

Em 1967, mercê de visão e interesse acertados, o excelentíssimo secretário provincial de fomento determinou a sua construção por intermédio de uma equipa especial de engenharia da junta provincial de povoamento que foi incumbida de proceder a estudos do aproveitamento da água armazenada par fins de rega, em benefício da população agrícola radicada na Humpata.

A obra da barragem das Neves teve o seu inicio no ano de 1967 e terminou 14 meses depois. Tinha, então, a denominação de Capitão Sousa Dias. Foi erguida com a finalidade de aproveitar a água armazenada para beneficio da população que habitava essa zona da Humpata e que tinha como principal actividade a prática da agricultura.

A barragem das Neves (figuras 3.4 e 3.5) situa-se a 23 km da cidade do Lubango, na província da Huila e a 8 km do município sede, Humpata, serve para o abastecimento de água à rede hidroagrícola da Humpata, com uma latitude de 14°57'58,02'' S e longitude de 13°22'32,18'' E .

A barragem das Neves é uma estrutura que não sofre qualquer tipo de manutenção há mais de 15 anos e por isso o seu estado de degradação é elevado. Prova disto são os sinais claros de envelhecimento que a mesma apresenta e como consequência da má conservação e baixa qualidade da empreitada, a mesma tem uma fractura com mais de 2 metros de comprimento, que vem aumentando com o passar dos anos, colocando em risco a vida das populações que vivem a jusante e não só bem como poderá provocar inundação de várias áreas do município.

A água proveniente da albufeira da barragem das Neves é conduzida por um canal adutor principal com 11,234 km de extensão, sendo 3065 metros correspondentes ao troço de montante, 3103 metros ao troço mediano e 5066 metros ao troço de jusante.

O troço de montante parte do dique de derivação situado no rio das Neves no qual é lançada água da barragem por um descarregador de fundo provido de comporta.

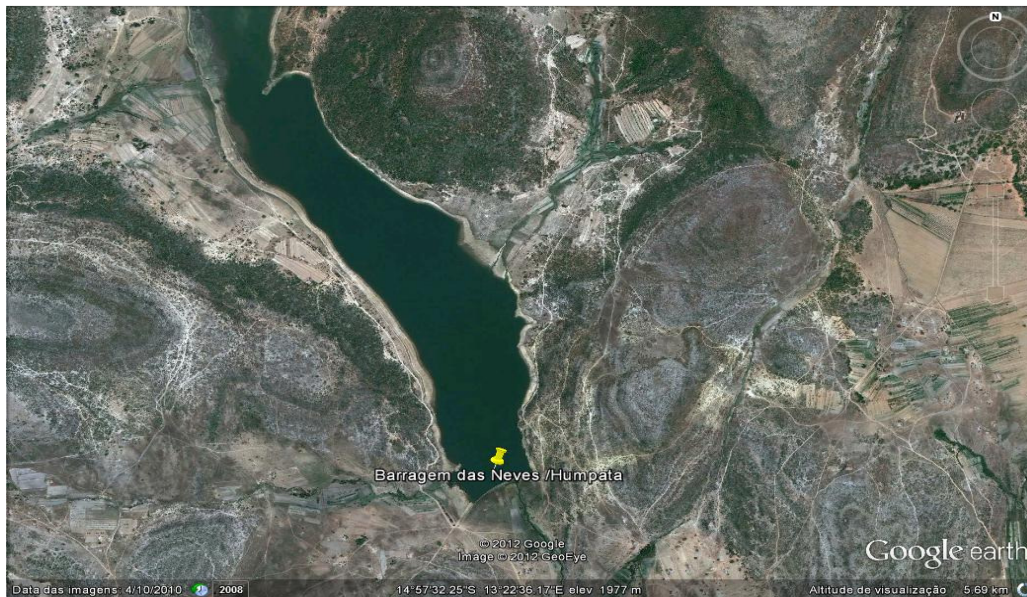


Figura 3.4 - Imagem satélite da barragem da Neves área tirada pelo Google Earth.



Figura 3.5 - Panorama da Barragem das Neves.

Do esquema geral da rede fazem ainda parte três reservatórios, o primeiro (figura 3.6) situado perto da sede do município com uma capacidade de  $9000 \text{ m}^3$  e onde tem início o troço mediano, ao qual se segue o troço de jusante que termina no segundo reservatório com uma capacidade de  $30\,000 \text{ m}^3$ .

Do segundo reservatório (figura 3.7) parte a rede de distribuição da água para os mais de 800 ha destinados à fruticultura.

Esta rede compõe um canal primário (C.A.P) revestido com um comprimento de 1183 metros. Do segundo reservatório parte o canal secundário nº 1 – (C. S. Nº 1)



Figura 3.6 - Primeiro reservatório com a capacidade de 9000 m<sup>3</sup> (Yoso Luis, Humpata, 2013).



Figura 3.7 - Segundo reservatório com a capacidade de 30000 m<sup>3</sup> (Yoso Luis, Humpata, 2013).

revestido em alvenaria de pedra cimentada com um comprimento de 5527 metros e que abastece o terceiro reservatório com a capacidade 6 000 m<sup>3</sup>.

Do canal primário partem os canais secundários nº 2 – com um comprimento de 3686 metros, que reforça o abastecimento do canal secundário nº 1-, o canal secundário nº 3 com 4656 metros que abastece o terceiro reservatório e o canal secundário nº4 de 4820 metros que reforça na sua parte jusante e início da área terciária do perímetro o canal secundário nº 1, sendo que estes três últimos não se encontram revestidos originando assim enormes perdas de água.

A extensão total da rede de canais adutores e distribuidores é da ordem dos 38105 metros.

Do canal secundário nº 1 (figura 3.8) partem oito canais terciários não revestidos, sendo:

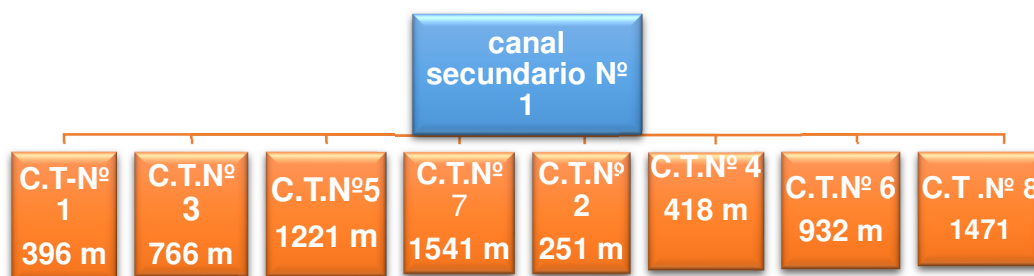


Figura 3.8 - Esquema de distribuição de água do canal secundário aos terciários.

Há várias fazendas que têm os seus terrenos irrigados com as águas provenientes da barragem das Neves (figura 3.9).

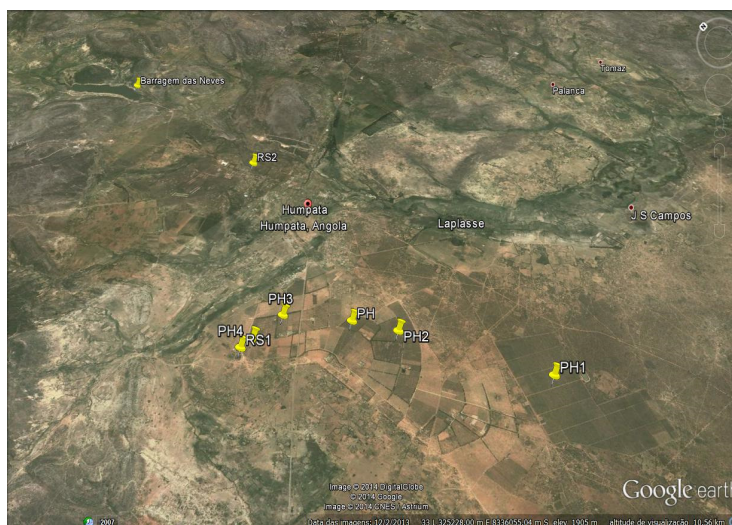


Figura 3.9 - Pontos de localização das fazendas irrigadas pela barragem das Neves.



### 3.2. Característica da barragem

Localização:	Humpata
Província:	Huíla
Local:	Neves
Bacia hidrográfica:	Neves
Rio:	Tchimpumpunhime
Utilização:	Rega

#### Características hidrológicas

Área da bacia hidrográfica:	122 km <sup>2</sup>
Precipitação média anual:	1100-900 mm

#### Características da barragem:

<b>Tipo:</b>	Alvenaria
<b>Altura acima da fundação:</b>	13,80 m
Altura acima do terreno natural:	15,45 m
Cota do coroamento:	1,40 m
Comprimento do coroamento:	447,16 m
Volume de aterro:	7000000 m <sup>3</sup>
Descarga de fundo	
Tipo:	Comporta
Secção da conduta :	0,50 m

#### Dados gerais:

Promotor :	Governo Provincial da Huila
Construtor :	Mota-Engil
Ano de conclusão :	1968
Reabilitação:	1992

#### Características da albufeira

Área inundada ao nível de pleno armazenamento (NPA):	1400 ha
Capacidade total:	7000 x 10m <sup>3</sup>

Capacidade útil:	6400x 10 m <sup>3</sup>
<b>Descarregador de cheias:</b>	
Localização: Sobre a barragem	
Tipo de controlo:	Descarga livre
Tipo de descarregador :	descarregadores com vários orifícios

### 3.2.1.Importancia da barragem

A agricultura em Angola é quase toda ela praticada em sequeiro, com exclusão de uma área não superior 40000 hectares que é feita em regadio permanente. Esta situação pode ser contornada se forem aproveitados os volumes de águas superficiais e subterrâneo de que o país dispõe.

Uma aposta na irrigação com certeza que será importante para a revolução agrícola nacional pelas implicações e exigências técnicas da cultura irrigada, pelo impacto económico da cultura irrigada, pela necessidade da rentabilização máxima dos investimentos com a consequente necessidade de adaptação de tecnologia a jusante, pelo incremento na oferta de produtos e a pressão que este exercerá no mercado reclamando infra-estruturas de armazenamento, construção de novos mercados, investimentos no sector da agro-indústria de transformação, na geração de produtos com qualidade de exportação, na melhoria da rede viária para evacuação das produções entre outros. O incremento da participação do sector da agricultura passa indiscutivelmente pela componente irrigação.

A área abrangida pelo aproveitamento hidroagrícola e que constitui uma zona de povoamento agrário de livre iniciativa, fica situada na área do concelho da Humpata a 5 km para sudoeste. Abrange uma área superior a 1000 ha, dos quais 864,14 ha se encontram já parcelados e distribuídos do seguinte modo:

- 47 lotes com a área total de 117,5 ha que foram distribuídos aos autóctones e pequenos agricultores com parcelas de até 2,5 ha;
- 34 lotes com área total de 170 ha que foram distribuídos pelos médios agricultores com uma área de 5 ha;
- 32 lotes com área total de 1239 ha que foram distribuídos pelos grandes agricultores com uma área superior a 10 ha.

Após a sua reabilitação permitiu instalar mais de 70 agricultores que se dedicam principalmente ha produção de pêra, maçã, citrinos, tubérculos e hortícolas.

Os paradigmas da produção agro-pecuária (figuras 3.10 e 3.11), florestal e do ambiente, têm requerido de ano para ano o incremento qualitativo e quantitativo na forma de actuação de modo a elevar os níveis de produção e de produtividade para se fazer face à demanda da segurança alimentar prevalecente, para se elevar os “stocks” de reserva, para incrementar o excedente no mercado interno para comercialização, seguindo-se da exportação, tendo como base os produtos melhor cotados e mais procurados.



Figura 3.10 - Culturas agrícolas produzidas no perímetro da Humpata (Yoso Luis, 2013).



Figura 3.11 - Culturas agrícolas produzidas no perímetro da Humpata (Yoso Luis, 2013).

### 3.2.2. Impactos socioeconómicos

A Humpata é uma vila e município da província da Huíla, com cerca de 31 mil habitantes, tendo como principal actividade das populações a agricultura familiar.

O desenvolvimento do município está inteiramente ligado à barragem das Neves por ser a principal fonte de abastecimento de água, quer para os aquíferos (águas subterrâneas), possibilitando que o governo ou administração local construa captações de água para a distribuição do precioso líquido aos munícipes da sede municipal e chafarizes em locais ou povoações mais afastadas.

Devido aos anos consecutivos de baixas precipitações registadas em quase todo o país, o município da Humpata também foi afectado de tal maneira que este acontecimento fez com que atingíssemos o nível mínimo de exploração da barragem trazendo com isso uma série de constrangimentos ligados à preservação do peixe na albufeira, à falta de águas em muitas nascentes. O nível dinâmico dos lençóis freáticos tiveram alguma quebra fazendo com que alguns furos ficassem sem água. A população ficou quase que privada de água para o consumo, etc., etc..

Sendo a agricultura a principal fonte de renda das famílias camponesas nesta parcela do país, a abundância e diversidade dos produtos agrícolas locais tornam os preços acessíveis, dando destaque ao consagrado “slogan” “preços de Igreja”. Os preços extremamente baixos facilitam o escoamento da maior parte da produção.

Na fase de colheita, frutas como a pêra, laranja, tangerina ou goiaba são comercializados a preços não superiores a 500 kwanzas por serem produtos que aparecem em grandes quantidades nas zonas de comercialização; a maçã, o morango e pêssego têm preços relativamente altos, chegando a atingir os 2000 kwanzas pois são produtos escassos no mercado onde os produtores os encargos de produção são mais altos relativamente as demais.

O desenvolvimento da agricultura na Humpata (figura 3.12) está directamente ligado à barragem das Neves, cujo canal pode irrigar aproximadamente 1400 hectares com uma estrutura de irrigação que está a necessitar de obras de reabilitação e que fornece água a várias fazendas.

O tempo da colheita das frutas e das hortaliças movimenta milhares de camponeses, provenientes de várias localidades dando assim maior destaque ao comércio

informal gerando oportunidades de negócio a muitas mulheres e adolescentes garantindo assim as suas fontes de rendas.

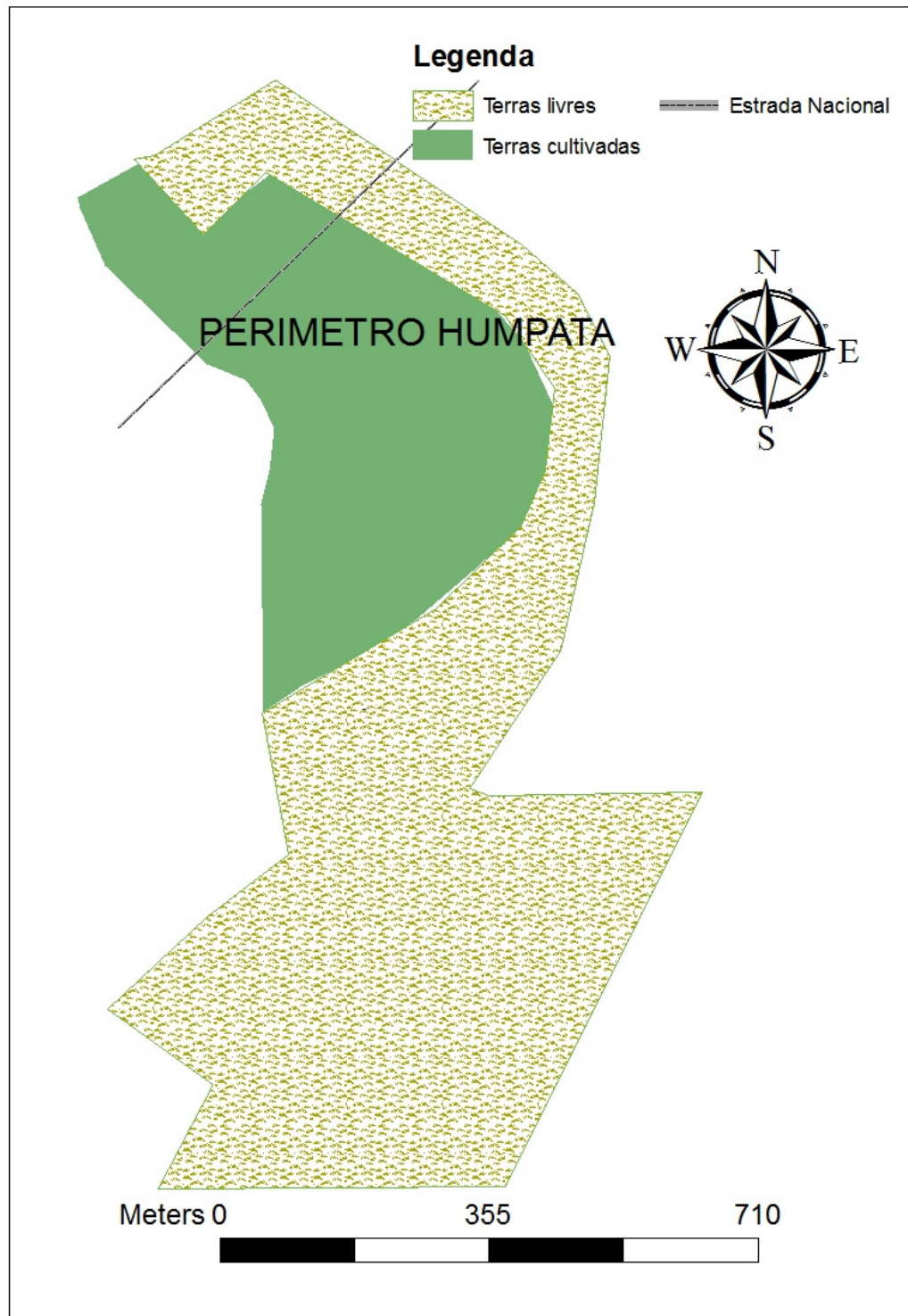


Figura 3.12 - Mapa dos terrenos agrícolas no perímetro da Humpata.

### 3.3. Barragens da província da Huíla (aproveitamentos hidroagrícolas)

No município do Lubango temos o perímetro hidroagrícola da Mapunda – Tundavala situado a poucos quilómetros da cidade do Lubango é alimentado pelo rio Mapunda e tem as seguintes características:

#### Barragem da Tundavala

- Tipo -----terra de perfil homogéneo
- Largura do coroamento -----6 m
- Altura -----8m
- Desenvolvimento do coroamento -----26 m
- Volume total -----2,05 x 10<sup>3</sup>
- Volume morto -----0,22 x 10 m<sup>3</sup>
- Volume útil -----1,83 x 10<sup>6</sup>
- Área da bacia hidrográfica -----36,6 km

Esta barragem tem o descarregador de cheias por terminar e necessita de alguns cuidados de manutenção a nível dos taludes da barragem e dos canais de rega que beneficiam uma área que ronda os 400 ha.

Devido ao processo de urbanização do município do Lubango, essa área tem sido invadida para edificação de condomínios e estabelecimentos hoteleiros, descaracterizando deste modo a cintura verde do Lubango.

A derivação de água do rio Ngolo é feita por um açude constituído por um canal rectangular fundado sobre o afloramento rochoso. Do açude parte um canal cuja água a aduzir é regularizada por uma comporta que funciona por meio de haste e volante.

O canal de rega em si não se encontra em mau estado, existindo ao longo da sua extensão de 7 km, pequenas roturas, inexistência de algumas comportas principais e secundárias, e aquedutos por colocar e reparar.

No final do mesmo existe um tanque de acumulação em bom estado, necessitando na parte montante do canal adutor para o tanque de pequenas reparações com a colocação de uma grelha para impedir a entrada de detritos a nível do tanque de acumulação. A água do canal para a irrigação é distribuída desde o açude de derivação até ao tanque de acumulação, numa área que ronda os 184 ha.

### 3.3.1. Barragem das Gandjelas

A barragem das Gandjelas (figura 3.13) está situada no município da Chibia e iniciada em 1974 pela empresa portuguesa Construções Técnicas e enquadra-se dentro do aproveitamento hidráulico do rio Cunene do então denominada de Gabinete do Plano do Cunene.



Figura 3.13 - Panorama frontal da barragem das Gandjelas província da Huila/Chibia.

O local da barragem fica a 9 km da vila da Chibia, num vale relativamente apertado em formação de ``V`` aberto com a margem esquerda mais escarpada que a direita, o que aconselhou a construção de uma barragem de betão ciclópico, sendo a sua albufeira alimentada pelo rio Tchimpumpunhime, afluente do rio Caculuar, por sua vez afluente do rio Cunene.

É uma barragem de armazenamento, tendo como final objectivo a rega (hidroagrícolas). Actualmente está ser instalada uma mini-hídrica para abastecer a energia eléctrica aos irrigantes e à vila da Chibia e tem as seguintes características:

- Altura da barragem -----30 m
- Comprimento do coroamento -----200 m
- Volume de armazenamento ----- $3,5 \times 10^6 \text{ m}^3$
- Volume morto ----- $1,0 \times 10^6 \text{ m}^3$
- Volume útil de armazenamento -----  $2,5 \times 10^6 \text{ m}^3$
- Área da bacia drenante ----- 581 km
- Caudal de máxima cheia -----  $500 \text{ m}^3/\text{seg}$

O perímetro de rega das Gandjelas, construído há mais de trinta anos, já com a finalidade de vir a utilizar a água da barragem, situa-se dentro dos limites da vila da Chibia a cerca de 40 km a sudeste da cidade do Lubango.

Esta rede que irá beneficiar cerca de 1600 ha compreende uma obra de captação – açude de derivação, constituído por um vertedor em arco de círculo, fundado sobre um afloramento rochoso, de onde partem dois canais, um na margem direita com ramificações e com uma extensão de 14,5 km, equipado com 8 comportas elevatórias, sendo duas de recarga para o rio, que funcionam por meio de haste e volante, e outro na margem esquerda de 11 km de extensão, equipado de duas comportas e uma terceira de recarga com o mesmo funcionamento totalizando assim uma rede de canais na ordem dos 25,5 km.

Na margem direita, existe um canal denominado canal 1 no seu primeiro troço de 8 km até ao tanque regulador situado próximo da vila da Chibia, da qual partem dois canais denominados canal 2 com 2 km de extensão e o canal 3 com 3 km, sendo o canal 2 ramificado no último trecho por um canal distribuidor denominado canal 4 com 1,5 km.

Temos ainda as barragens da Chimucua também localizada no município da Chibia na comuna de Capunda Cavilongo. A primeira na margem esquerda e a segunda na margem direito do rio Mototoanda. Trata-se de barragens homogéneas de terra tipo planta rectilínea.

**Barragem da Chimucua I** - na margem esquerda do rio tem 240 metros de desenvolvimento com 4,50 metros de altura, uma capacidade de armazenamento na albufeira estimada em 997035 m<sup>3</sup> e lateralmente, na margem esquerda, um descarregador em forma de vala aberta com 190,00 x 16,00 de comprimento e largura, e com uma profundidade que varia de 0,50 a 1,25 m.

A barragem foi construída para abeberamento e para irrigação por gravidade dos terrenos que se encontram a jusante da mesma numa área de estimada de 50 ha.



**3.3.2. Barragem da Chimucua** II – na margem direita do rio tem 330 metros de desenvolvimento, 4,50 metros de altura, uma capacidade de armazenamento na albufeira estimada em 146075 m<sup>3</sup> e lateralmente, na margem esquerda, um descarregador de cheias em forma de vala aberta com 284,00 x 30,00 m de comprimento e largura, com profundidades diversas.

A barragem foi construída para abeberamento e para irrigação por gravidade dos terrenos que se encontram a jusante da mesma numa área de estimada de 66,4 ha .

### 3.3.2. Município de Quipungo

Existem 4 barragens principais neste município, com capacidades de armazenamento total de 28,8 milhões de metros cúbicos.

- Barragem do Chicungo ----- 6,3 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>
- Barragem do sendi ----- 9,5 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>
- Barragem do Quipungo I ----- 8,2 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>
- Barragem do Quipungo II ----- 4,8 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>

Três das barragens datam do tempo colonial, nomeadamente Chicungo, Sendi, Quipungo I, sendo a quarta a de Quipungo II construída entre 1986-87.

#### Barragem do Chicungo

A barragem do Chicungo (figuras 3.14 e 3.15) está localizada perto da linha do caminho-de-ferro Lubango – Matala, 45 km a oeste da cidade do Quipungo.

Foi construída em 1965 e era usada para irrigação, por gravidade, de uma área de cerca de 400ha (100 ha de arrozal e 300 ha de cultura de sequeiro).

É uma barragem que funciona por gravidade, de alvenaria arqueada construída de blocos de granito com argamassa de cal.

Possui um descarregador de cheias com 100 metros de extensão e uma comporta de fundo para irrigação e esvaziamento da albufeira.

As características principais da barragem são as seguintes:

- Comprimento total -----160 m
- Altura máxima -----7m
- Espessura no topo -----1,30m
- Espessura na base -----4 m
- Material -----alvenaria de granito e cal

- Capacidade da albufeira ----- $6,3 \times 10^6 \text{ m}^3$



Figura 3.14 – Deterioração do corpo da barragem.



Figura 3.15 – Deterioração do corpo da barragem.

### 3.3.3. Barragem do Sendi

A barragem do Sendi (figuras 3.16 e 3.17) está localizada a 48 kms a noroeste do Quipungo e foi construída na década de 60, para fornecer água para o gado nas fazendas circundantes, fornecendo igualmente água da albufeira para irrigar uma área de cerca de 50 ha.



Figura 3.16 - Vista parcial do corpo da barragem em descargas de água.



Figura 3.17 - Vista parcial do corpo da barragem em descargas de água.

A barragem consiste numa superfície de terra homogénea com descarregadores de cheias em alvenaria e bacia de dissipação.

As principais características da barragem são as seguintes:

- Comprimento total -----490 m
- Altura máxima -----8 m
- Espessura no topo -----3 m
- Espessura na base -----15 m
- Materiais -----alvenaria de cimento e terraplenagem
- Capacidade da albufeira ----- $9,5 \times 10^6 \text{ m}^3$

O potencial da área de regadio a jusante é muito maior e a água disponível na albufeira também permitirá a irrigação de uma área mais extensa. Nesse sentido, em 1973 foi elaborado um estudo de reordenamento do Sendi onde se previa uma área superior a 1500 ha a ser beneficiada com rega de compensação, onde aos poucos se introduziria a rega intensiva, haveria uma área de 7000 ha de boas terras de sequeiro e 18000 ha a serem beneficiados com escavação de 14 chimpacas, que permitiriam o abeberamento de 3000 cabeças de gado e o seu pastoreio, sem perigo de excesso de pisoteio.

### **3.3.4. Barragem do Quipungo I**

Está localizada a um km a Nordeste da cidade do Quipungo, consiste numa superfície de 700 metros de comprimento. O excedente da albufeira é descarregado através de um canal de descarga separado a Oeste da barragem.

A capacidade de armazenamento da albufeira alimentada pelo rio Cassoco, o mesmo rio que alimenta a barragem do Sendi, calcula-se ser de 8,2 milhões de metros cúbicos.

Embora construída para abeberamento e abastecimento de água ao gado e as populações, tem esta barragem capacidade suficiente para se efectuar um perímetro irrigado de até 200 ha.

Pelo facto torna-se necessário efectuar um estudo para construção de estação de bombagem e respectivos canais de rega, que pode permitir a irrigação da margem esquerda.

O principal problema desta barragem radica na reparação do canal de descarga, ou seja no controlo dos gabiões nos locais das estruturas destruídas e por construir, bem como nos enchimentos dos mesmos com material escolhido e remodelado.

### **3.3.5. Barragem do Quipungo II**

Localizada a 4 km a Sudeste do Quipungo, consiste numa superfície de 120 metros de comprimento e um Guide – Bund com 65 metros de comprimento, construída sob responsabilidade do município de Quipungo com auxílio de uma “bulldozer” da Enama (Mecanagro).

Foi construída no rio Cassoco, hoje rio Calinga, e a falta de dados hidrológicos originou um mau dimensionamento do canal de descarga na margem esquerda da albufeira, dando assim possibilidade a inundações e aberturas de fendas nas estações chuvosas.

Existe um considerável desenvolvimento ao longo das margens da albufeira, que para além de fornecer água para o gado, as culturas poderiam ser irrigadas através do uso de moto-bombas numa área estimada com cerca de 38 hectares.

#### 4. Materiais e Métodos

Para se realizar o trabalho de caracterização geológica e geotécnica da barragem das Neves e da sua zona envolvente, precisámos tivemos de fazer consultas bibliográficas e nos apoiar em materiais como:

- ✓ 1 Martelo para a interacção com a rocha;
- ✓ 1 Câmara fotográfica digital para o registo fotográfico dos dados obtidos;
- ✓ 1 GPS (Etrex 10 da Garmin) para a orientação no espaço geográfico (informações sobre as coordenadas geográficas);
- ✓ Bussola para sabermos as coordenadas geológica das estruturas ;
- ✓ Computador para o processamento da informação colhida.

Em primeira instância identificávamos os afloramentos e com o recurso ao GPS aonde foram registadas as coordenadas dos locais em:

Analísámos a composição e a estrutura:

- ✓ Estrutura;
- ✓ Composição.

Nome: Quartzito.

Composição: Essencialmente quartzo.

Granulometria: Grão fino a médio.

Durante o período de pesquisa na zona circundante da barragem das Neves foram identificadas as formações geológicas do Pré-Câmbrico. O primeiro local de observação localiza-se nas coordenadas de 14°58'37" S de latitude e 13°22'40" E de longitude com uma altura de aproximadamente 1954 metros.

Mais abaixo (figura 4.1) podemos ver imagens que fazem referência a um local de exploração de inertes, onde é visível a estratificação que é uma das principais características das rochas sedimentares. Este local tem as coordenadas de 14° 58' 33,8" S de latitude e 13° 22' 39, 1" E e uma altitude de aproximadamente 1960 metros.



Figura 4.1 - Afloramentos em escavações Yoso Luís, Humpata 2013.

A jusante da barragem encontrámos uma grande placa de quartzito com evidências significativas de alteração e com muitas manchas de óxido de ferro e/ou magnésio. A sua coloração varia de castanho a laranja clara e cobre uma mancha com uma área considerável neste local.

A exposição das mesmas aos factores físicos como ventos, temperaturas e chuvas e biológico como a vegetação fazem com que estas rochas tenham uma meteorização mais acelerada (figuras 4.2 e 4.3). Foi possível também observar pequenos filonetes de quartzo em pequenas áreas; o local em questão tem as coordenadas de  $14^{\circ} 58' 03,1''$  S e  $13^{\circ} 22' 33,2''$  E e uma altitude de aproximadamente 1967 metros.



Figura 4.2 - Blocos de quartzito (Yoso Luís, barragem das Neves, 2013).



Figura 4.3 - Blocos de quartzito (Yoso Luís, barragem das Neves, 2013).

A montante da barragem concretamente na sua albufeira conseguiu-se observar formações rochosas na qual registaram - se contactos observados entre as rochas de grés e quartzo respectivamente, só foi possível cartografar esta zona devido ao longo período de estiagem que vivemos na província da Huila .

Devido ao movimento das ondas na albufeira e talvez pela acção de organismos e de microrganismos aquáticos, estas rochas apresentam algum desgaste (figuras 4.4 e 4.5) mas permanecem bem conservadas; estão localizadas nas coordenadas de S 14º 58'01,9" S e 13º 22' 28,6" E e 14º 58'01,6" S e 13º 22'28,5" E nas altitudes aproximadas de 1966 - 1981 metros.

Na albufeira também foram encontradas estruturas superficiais denominados por fendas de retracção (figura 4.6) que representam sedimento, principalmente constituído por argilas, que sofreu desidratação e contraíram devido à exposição subaérea. São particularmente comuns em margens de lagos, poças ou cursos de água temporários. Elas apresentam estruturas irregulares que se assemelham a polígonos e são controladas pela espessura da camada dissecada, coerência das argilas, sua capacidade de contracção e o grau e taxa de dessecação.





Figura 4.4 - Alteração das rochas na albufeira da barragem das Neves.



Figura 4.5 - Alteração das rochas na albufeira da barragem das Neves.



Figura 4.6 - Fendas de dissecção observadas nos terrenos da albufeira da barragem das Neves.

## 5. Resultados e Discussão

Este capítulo representa um interesse fundamental no presente estudo, fazendo-se referência aos fenómenos que ocorrem na zona da barragem das Neves, ilustrando de certa forma os aspectos observados no capítulo anterior onde nos referíamos ao tipo de rochas encontradas na zona envolvente ao local de estudo, onde fez-se a identificação e conseqüentemente a sua georreferência dos locais para possíveis consultas. Com isso, teremos matéria para que sejam tiradas as conclusões sobre o verdadeiro funcionamento da barragem das Neves e suas condições em termo de estrutura. Pretende-se discutir as condições de sustentabilidade da crista e do material rochoso existente neste local.

A percolação da água através do corpo da barragem não é controlada visto que existem sinais visíveis de humidade e zonas alagadas a jusante que são aproveitadas para a prática da agricultura por famílias de camponeses residentes próximo a zona em estudo, dando sinais claros de vulnerabilidade da mesma.

A barragem possui uma altura superior a 10 metros e inferior a 20 metros, a estrutura dos descarregadores de cheia não garantem confiabilidade ou segurança satisfatória devido ao tipo de material utilizado. Muitas delas já estão destruídas porque não suportaram a forte pressão que a água exerceu sobre as mesmas nas chuvas de 2011 pois a água transportava consigo raízes e troncos de arvores que muitas das vezes obstruíram a passagem da água.

Cerca de 50% das barragens apresentam instrumentação ou regulamentos e monitorização para percebermos os parâmetros ou indicadores relacionados com as condições atmosféricas (precipitação, enchimento) e registos para sabermos as vibrações dos blocos ou do coroamento da barragem, caso que não se observa na barragem das Neves pois o estado que ela apresenta é preocupante.

Ainda sobre a vulnerabilidade deve-se destacar um aspecto muito importante para qualquer obra de construção civil as fundações, onde foram observadas situações preocupantes a nível desta componente da barragem na qual é visível o terreno natural em toda extensão do coroamento situação muito perigosa porque coloca em risco essa infra-estrutura (figura 5.1).



Figura 5.1 - Fundação da barragem desprotegida devido ao processo erosivo.

Nas coordenadas  $14^{\circ} 58,053' S$  e  $13^{\circ} 22,454' E$  (figura 5.2) é possível observar e registrar a existência de grande quantidade de água que se infiltra pelo corpo da barragem. Aqui, na parte mais superficial, a rocha está bastante alterado e com algum material argiloso.



Figura 5.2 - Fugas de água registradas através do corpo da barragem.

Ainda falando sobre a perda água pelo corpo da barragem identificámos que nas coordenadas  $14^{\circ} 57,995' S$  e  $13^{\circ} 22,565' E$  está localizada a fuga de água mais importante que vai desde o terreno de fundação até aos descarregadores superficiais de cheias numa altura superior a 10 metros.

Alguns aspectos de ordem técnica podem estar na base destes problemas na qual podemos citar alguns:

- A argamassa de ligação entre os blocos foi aplicada de modo heterogéneo fazendo com que haja espaço para a circulação de ar entre as peças de blocos permitindo assim a passagem de água;
- A da calda de cimento não foi dimensionada da forma mais adequada, talvez com o intuito de racionalizar material, não respeitando os pressupostos de aplicação fazendo com que tenhamos como resultados ou produto final uma obra com pouca qualidade;

Presume-se que estes aspectos sejam os principais factores para as inúmeras fissuras observadas associados com a erosão dos solos e o galgamento.

Deste modo, considera-se que o local onde se encontra actualmente instalada a barragem não é o mais adequado devido ao facto de a estratificação inclinar para jusante o que possibilita que haja uma maior dinâmica no escoamento da água no pico das cheias ou quando a barragem atinge o nível de pleno armazenamento. No local com coordenadas  $14^{\circ} 58,034' S$  e  $13^{\circ} 22,576' E$ . Neste local (figura 5.3) definiram-se as seguintes famílias de diaclases:

- N  $78^{\circ} W$ ;  $20^{\circ} S$
- N  $58^{\circ} W$ ;  $30^{\circ} S$
- N  $22^{\circ} E$ ;  $80^{\circ} E$
- N  $18^{\circ} W$ ;  $20^{\circ} W$

A jusante e na margem direita da barragem encontraram - se famílias de diáclases com evidência clara de percolação de água. Os sedimentos aparecem como material de enchimento das diáclases e da estratificação. As diáclases podem apresentar aberturas com 1 cm. Aqui como famílias de diáclases podem referir-se:

- N  $22^{\circ} E$ , SV- sub vertical
- N  $58^{\circ} W$ , SV – sub vertical
- N  $48^{\circ} W$ , SV- sub vertical

- N 12° E ; 50° E,
- EW vertical
- N 68 °;70°N
- N 68°, EV
- N 28° WV
- N 52 ° E, 70° S



Figura 5.3 - Estratificação do material rochoso encontrado no local em estudo



Figura 5.4 - Diaclases observadas na área de pesquisa.

A jusante houve erosão do solo de cobertura devido ao galgamento que se verificou. Os descarregadores não suportaram a força da água, também foram observados evidência de marmitas de gigante (figura 5.5) resultado da ocorrência de pequenos remoinhos, assumindo formato de depressão em depósitos característicos circular localizada nas coordenadas de  $14^{\circ} 58,029'$  e  $E 13^{\circ} 22,542'$  E.



Figura 5.5 - Marmita de gigante na margem direita da barragem.

Neste local com as coordenadas de  $14^{\circ} 57,992'$  S e  $13^{\circ} 22'$  E foram definidas as seguintes descontinuidades:

- N  $28^{\circ}$  W,SV
- N  $52^{\circ}$  E,SV
- N  $12^{\circ}$  E,SV
- N  $32^{\circ}$ E, $70^{\circ}$  SE
- N  $28^{\circ}$  W, $50^{\circ}$  W
- N  $48^{\circ}$ W, $10^{\circ}$  W
- N  $48^{\circ}$  W, $30^{\circ}$  W

Veriifca-se que as diaclases mais importantes se dispõem sensivelmente perpendiculares ao eixo da barragem.

O outro aspecto diz respeito à presença de blocos de quartzito que teriam sido arrancados da fundação aquando do galgamento (figura 5.6). Também constatámos

que o descarregador de fundo precisa de manutenção pois, não permite que vede a água de forma eficaz.



Figura 5.6 - Depósitos de material rochoso devido o galgamento da água.

A outra situação está relacionada com o coroamento da barragem porque ela apresenta uma coloração ou mancha acinzentada que traduz o envelhecimento da mesma e quando entram em contacto com a água elas precipitam e ganham um cor acastanha devido a oxidação do mineral de ferro, este processo ocorreu também através da meteorização física das rochas criando deste modo partículas suspensas na água dando origem a formação de colóides (figura 5.7).



Figura 5.7 - Colóides de ferro observados na margem esquerda da barragem.



## 6. Conclusões

Ao longo desta dissertação foi abordado o tema sobre a barragem das Neves caracterização geotécnica e a importância da zona envolvente, para tal realizou-se um trabalho de geologia do local para identificar os tipos de rochas que existem e em quais condições elas se encontram no ambiente natural.

A barragem das Neves tem evidências claras de envelhecimento que vai evoluído com o decorrer do tempo, ela assume um papel preponderante para o município da Humpata por ser a principal fonte de abastecimento de água para a irrigação das diversas fazendas agrícolas, como também é considerada uma importante zona de recarga dos aquíferos do planalto da chela.

A jusante da barragem concretamente nas margens direitas e esquerdas, foram encontradas resultados interessantes onde, o principal destaque recaiu ao estado de segurança da barragem por ser uma estrutura muito antiga e com grandes problemas de manutenção e como consequência disto uma serie de fissuras observadas quer no corpo como na fundação.

A zona de pesquisa tem como rocha predominante o grés quartzítico com, inúmeras diáclases cruzadas entre si e uma estratificação horizontal que não permite uma percolação eficiente das águas.

Trabalhos destas naturezas são bem-vindos pois nos permitem orientar e informar as autoridades sobre as condições em que uma barragem deve ser erguida e quais os aspetos geológicos devem seguir para evitar riscos e perdas humanas.

## 7. Referências Bibliográficas

Andriolo, F. R.; Skwarczynski, T. M. (1988) – Concreto Pré-Refrigerado no Brasil: Uma Evolução com Mais de 20 Anos. Logos Engenharia S. A., São Paulo.

Arenillas, Miguel;. Castillo, Juan C. (2003) - Barragens da época romana na Espanha Análise das Formas de Design (com o apêndice). 1º Congresso Internacional de História Constituição [20-24 janeiro] (Madrid).

Brasil. Dispõe sobre o Sistema Nacional de Defesa Civil - SINDEC e o Conselho Nacional de Defesa Civil, e dá outras providências. 17 de fevereiro de 2005.

"Barragens e Desenvolvimento (2000). Uma Visão Geral". 16 de novembro de 2000 .

Caldeira, L. (2001) - Curso de exploração e segurança de barragens. Instituto da Água (INAG).

Collischonn, W. (1997) - Análise do Rompimento da Barragem de Ernestina. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre 193 p

Collischonn, W.; TUCCI, C. E. M. (1997) - Análise de Rompimento Hipotético da Barragem de Ernestina. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, vol. 2, nº 2, pp. 191-206

Donald Routledge Hill (1996) - Uma história da engenharia em tempos clássicos e medievais. Routledge. p. 31.

FAO (2011) - Manual sobre pequenas barragens de terra. Guia para a localização, projecto e construção.

Govindasamy Agoramoorthy, Sunitha chaudhary & Minna J. HSU (2011) - A Rota do Check-Dam para atenuar a escassez de água na Índia. Biblioteca de lei - Universidade do Novo México.

Hodge, Trevor A. (1992). Aquedutos romanos e fornecimento de água. Londres.

Hodge, Trevor A. (2000) - Reservatórios e barragens. Em Wikander, Örjan . Handbook of Technology Água Antiga. Tecnologia e Mudanças em História 2. Leiden: Brill. p 331-339.

Hartung, Fritz; Kuros, Gh. R. (1987) - Historische Talsperren im Irã. Em Garbrecht, Günther. *Historische Talsperren 1* . Stuttgart: Verlag Konrad Wittwer. pp 221-274 .

ICME (1998) - Metais, Conselho Internacional de, programa, do Meio Ambiente, UNEP, United Nations Environment. Estudos de caso sobre gestão de rejeitos . Paris, França: UNEP. pp 9-10.

ICOLD (2001) - Tailings Dams. Risk of dangerous occurrences – Lessons learnt from practical experiences – Bulletin 121. Paris, França p 34

Jansen, R. B. (1980) - Dam and Public Safety. USA: Water Resources Technical Publication. Denver: U. S. Department of the Interior, 332 p

Janson, R.B. (1983) - Dams and public safety: U. S. Bureau of Reclamation, Water Resources Technical Publication, (Denver, Colorado), 332 p.

Ladeira, J. E. R. (2007) - Avaliação de Segurança em Barragem de Terra, Sob o Cenário de Erosão Tubular Regressiva, por Métodos Probabilísticos. O Caso UHE – São Simão. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) –Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 210 p.

Lowe, J., and Zaccheo, P.F., 1975, Subsurface explorations and sampling: in Winterkorn, H.F., and Fang, H.Y., (eds.), Foundation engineering handbook, Van Nostrand Reinhold Company, (New York, New York), 751 p.

Mascarenhas, F. C. B. (1990) - Modelação matemática de ondas provocadas por ruptura de barragens. Tese de Doutorado em Engenharia Civil – COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 291 p.

Metodologia e Notas Técnicas" . bacias hidrográficas do mundo . Arquivado do original em 4 de julho de 2007 . Retirado 01 de agosto de 2007 . "Uma grande barragem é definido pela indústria como uma maior do que 15 metros de altura e um grande barragem como superior a 150,5 metros."

Needham, Joseph (1986) - Science and Civilization in China: Volume 4, parte 3 .  
Taipei: Cavernas Books, Ltd.

Onder, H, M. Yilmaz (2012) - Barragens Subterrâneas - Uma Ferramenta de Desenvolvimento Sustentável e Gestão de Recursos terreno". Europeia da Água: 35-45.

Papel us Geological Survey de abastecimento de água . Austin Dam 1896

Propriedades de barragens" . NBK Instituto de Engenharia de Minas. Retirado 10 de agosto de 2011 .

*Questões ambientais e de gestão de resíduos na produção de energia e mineral: processos da Sexta Conferência Internacional sobre Questões Ambientais e Gestão de Resíduos em Energia e de Produção Mineral: SWEMP 2000; Calgary, Alberta, Canadá, 30 de maio - 02 de junho de 2000 . Rotterdam [ua]: Balkema. 2000. pp 257-260.*

Rafael Diegues Jesus (2011) - Otimização da forma estrutural de uma barragem, pp. 22 – 45

Renewables Global Report Estado (2006) - Update, REN21, publicado 2006.

Schnitter, Niklaus (1987). "Die Entwicklungsgeschichte der Pfeilerstaumauer". Em Garbrecht, Günther. Historische Talsperren **1** . Stuttgart: Verlag Konrad Wittwer. pp. 57-74.

Singh, Vijay P.; Ram Narayan Yadava (2003) - Recursos Hídricos Operação do Sistema: Anais da Conferência Internacional sobre Água e Meio Ambiente. Publishers aliados. p. 508.

Tijdschrift voor Nederlandse Taal-en Letterkunde (1947) - Revista de Língua e Literatura holandês..

"Lago Diefenbaker Reservatório operati ons contexto e os objectivos" . Saskatchewan Autoridade de Bacias Hidrográficas . Retirado 27 de junho de 2013."