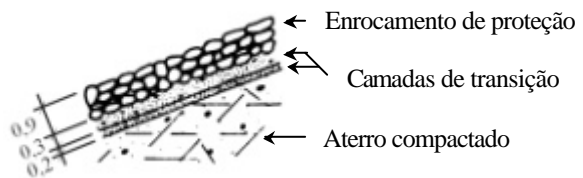
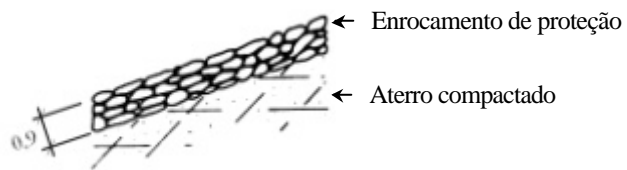


Seção típica da Barragem de Marimbondo



Detalhe A



Detalhe B

Obs.: 1 - Inclinação de talude é indicada por:
(Horizontal:Vertical);

2 - Dimensões em metros.

Figura 4.6 - Seção transversal típica da barragem de terra esquerda da UHE de Marimbondo (adaptado de CBGB, 1982).

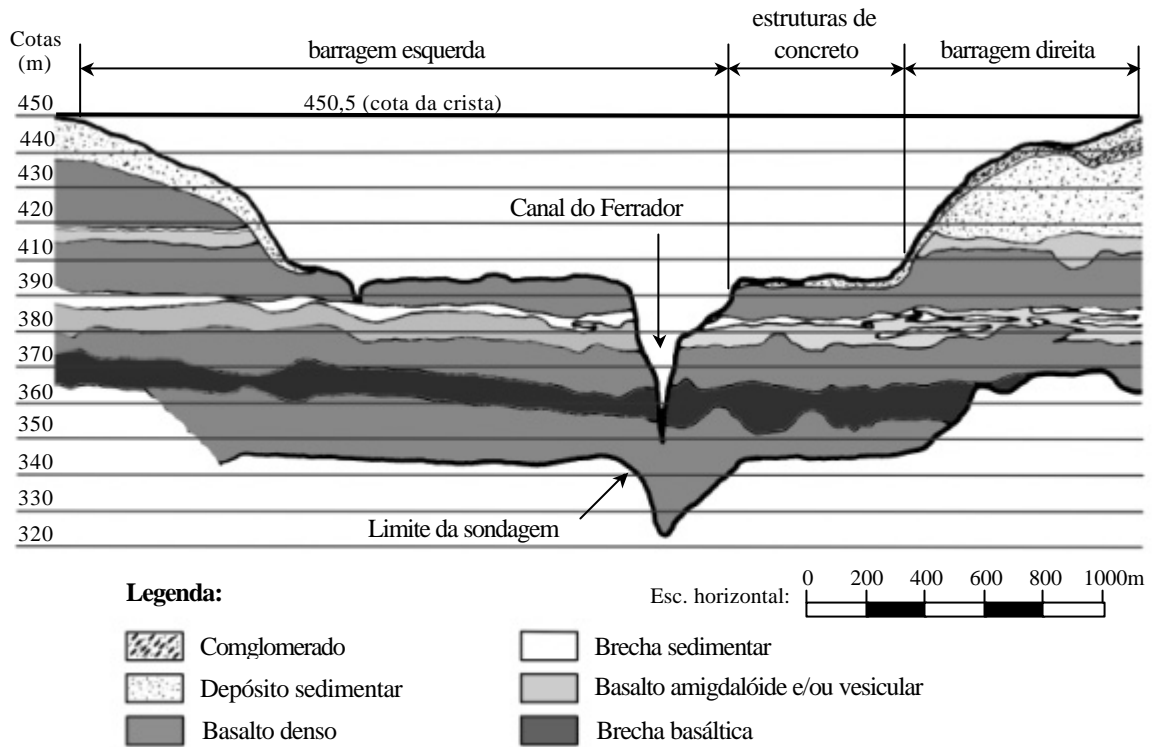


Figura 4.7 - Perfil geológico ao longo do eixo da Barragem (adaptado de CBGB, 1982).

Tabela 4.1 - Informações climatológicas das regiões das barragens de Marimbondo e Serra da Mesa, segundo INMET (2001).

Dados climatológicos (*)	Unidade	Barragem de Marimbondo	Barragem de Serra da Mesa
<i>Precipitação média anual</i>	mm/ano	1500 a 1800	1500 a 1800
<i>Número de dias de chuva</i>	dias/ano	210 a 270	210 a 270
<i>Temperatura máxima</i>	°C	30 a 33	27 a 33
<i>Temperatura média</i>	°C	21 a 24	21 a 24
<i>Temperatura mínima</i>	°C	15 a 21	18 a 21
<i>Insolação</i>	horas/ano	2400 a 2700	2400 a 2700
<i>Evaporação</i>	mm/ano	1200 a 1600	1200 a 1600

(*) valores obtido no período de 1931 a 1990.

4.2.1.3 Descrição do enrocamento de Marimbondo

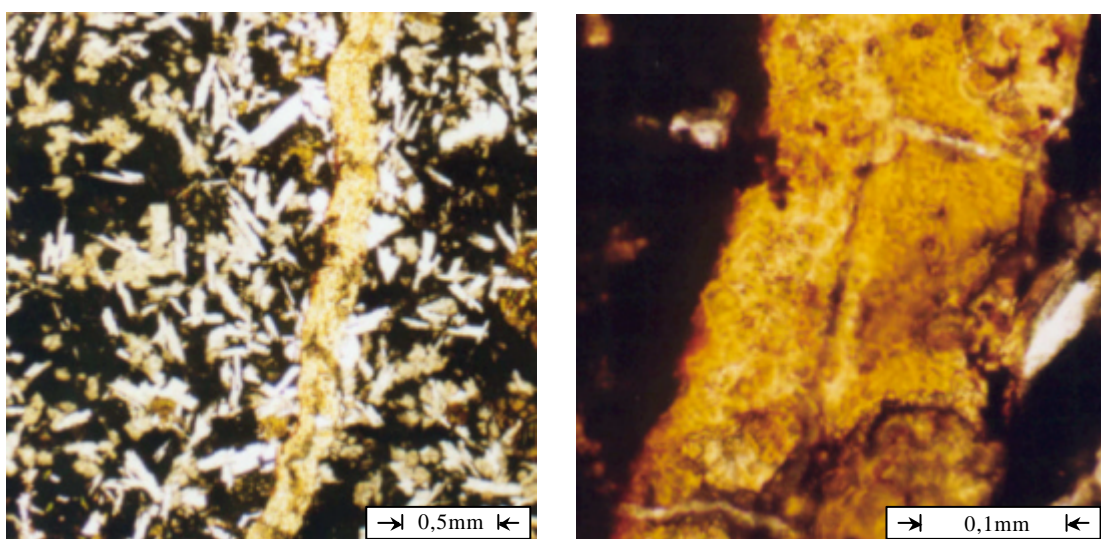
O material utilizado como enrocamento, proveniente das escavações das fundações das estruturas de concreto, constitui-se de rochas basálticas indicadas no perfil da Figura 4.7. Observa-se, principalmente o basalto denso e o vesicular (e/ou amigdalóide).

A rocha selecionada para o presente estudo foi o basalto denso do enrocamento de proteção da barragem direita. O material foi coletado na faixa de oscilação do nível d'água do reservatório da Barragem. Nesta faixa, verificou-se uma acentuada alteração por desintegração dos blocos do basalto. Vale lembrar que tal fato também foi registrado por Frazão e Caruso (1983), em várias barragens da Bacia do Alto Paraná.

O tempo de alteração natural no campo do basalto de Marimbondo, correspondente ao intervalo de tempo entre o lançamento e a coleta das amostras, é de aproximadamente 25 anos.

4.2.1.4 Alteração do enrocamento

O principal mecanismo de alteração observado na Barragem é a desintegração dos blocos de basalto do enrocamento. As possíveis causas deste tipo de alteração estão relacionadas à presença de fissuras no material. Esta desintegração ocorre devido às variações térmicas diárias nos blocos, gerando concentrações de tensões nas fissuras e provocando a separação dos blocos. Além disso, as fissuras do basalto intacto se encontram preenchidas (Figura 4.8). A alteração do material de preenchimento destas fissuras é também condicionante para a desintegração dos blocos. Na Figura 4.9 observa-se o produto da alteração do material de preenchimento da fissura.



(a) vista geral

(b) detalhe do material de preenchimento da fissura

Figura 4.8 - Fissura do basalto da Pedreira com material de preenchimento em microscópio eletrônico, ampliada e sob luz natural.

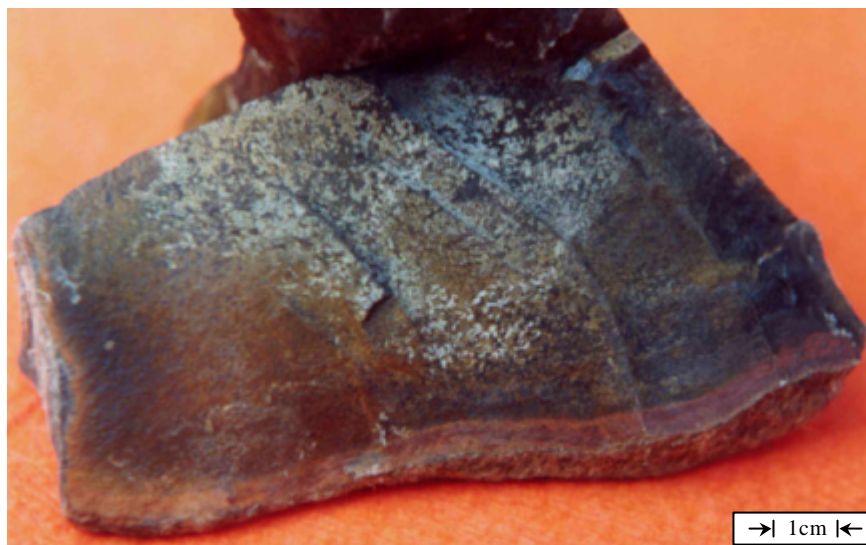


Figura 4.9 - Aspecto do material de preenchimento de fissura em bloco de basalto do enrocamento de Marimbondo.

Além da alteração dos materiais de preenchimento das fissuras, também se nota uma capa de alteração superficial dos blocos. A capa de alteração pode alcançar 5mm de espessura (Figura 4.10). Neste caso, o mecanismo de alteração está associado às reações físico-químicas ocorridas na rocha, ou seja, trata-se de um mecanismo de decomposição. Os blocos de rocha perdem a resistência superficial, sofrendo um desgaste sensível e produzindo finos.

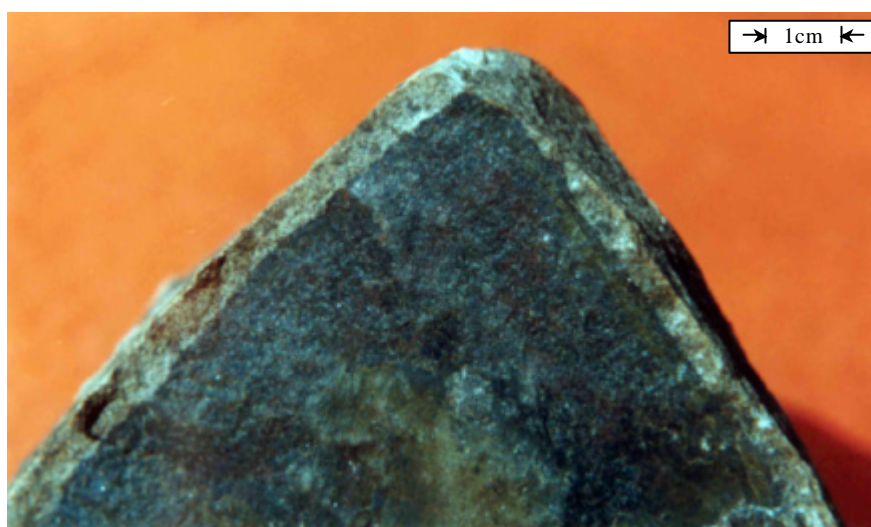


Figura 4.10 - Capa de alteração superficial em bloco de basalto do enrocamento de Marimbondo.

4.2.2. Pedreira Rio Grande

A Pedreira Rio Grande está localizada na margem esquerda do Rio Grande, cerca de 2km a jusante da Barragem. O perfil geológico no local é similar ao da Barragem, acrescida de uma capa superficial de basalto vermelho de espessura de 3 a 5m aproximadamente.

A Pedreira faz a extração de basalto em fragmentos para utilização como agregado de concreto. O basalto extraído corresponde ao derrame mais superficial da margem esquerda do Rio Grande (Figura 4.7).

A Figura 4.11 mostra a intenso fraturamento do maciço da Pedreira, provocado pela retração da lava durante o resfriamento e pelo excesso de fogo durante o desmonte no processo de extração.

4.2.3. Caracterização petrográfica dos basaltos

A caracterização petrográfica, apresentada detalhadamente no Apêndice I, foi feita através da análise de lâminas delgadas das rochas. Foram preparadas lâminas do basalto denso da Pedreira, do basalto denso da Barragem (núcleo dos blocos do enrocamento), do basalto denso das fundações da Barragem (testemunho de sondagem das fundações), da capa de alteração e da transição da capa de alteração para o núcleo dos blocos. Para a caracterização, foram feitas análises por microscopia ótica complementada por difração de raios X, análises térmicas gravimétricas, análises térmicas diferenciais, análises químicas e microscopia eletrônica.



Figura 4.11 - Detalhe do fraturamento do maciço de basalto da Pedreira Rio Grande.

O basalto denso é de coloração cinza escura a preta com massa cristalina homogênea não-porfírica. A granulação varia de fina a pouco grosseira. Os minerais apresentam-se bem cristalizados, formando um agregado cristalino de plagioclásio, augita e opacos (magnetita e ilumenita).

Constatou-se a presença de microvesículas preenchidas por minerais deutéricos e secundários, principalmente a clorofeita. Existem, ainda, microfissuras preenchidas por material amorfo ou secundários alterados. Não foram encontrados argilominerais expansivos.

A capa de alteração dos blocos de enrocamento é de coloração avermelhada ou amarelada, devido aos produtos da alteração dos minerais primários. Os principais minerais félsicos da rocha intacta que sofreram alteração foram a labradorita e a albita, sendo o primeiro mais susceptível. As análises químicas (Tabela 4.2) indicam que, na capa de alteração, ocorreu a redução de sílica, provocada pela alteração dos minerais silicatados (plagioclásios). Indicam, também, que ocorreu a concentração de ferro Fe_2O_3 pela oxidação dos minerais máficos (magnetita). Observa-se ainda a lixiviação da sílica, sódio, cálcio e potássio.

Foram realizados estudos complementares no basalto denso da Pedreira, no basalto denso da Barragem (núcleo do bloco), no basalto denso da fundação e na capa de alteração do enrocamento. Tais estudos consistiram de análises químicas (Tabela 4.2), análises por difração de raios X (Figura 4.12), análises térmicas diferenciais (Figura 4.13) e análises térmicas gravimétricas (Figura 4.14).

Tabela 4.2 - Análises químicas dos constituintes das rochas.

Material	Teor de elementos constituintes (%)											
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O ⁺	Perda ao fogo
<i>Basalto intacto da Pedreira</i>	50,0	13,0	7,2	7,5	9,4	4,8	2,6	2,6	0,7	0,4	1,7	0,6
<i>Basalto intacto da de Marimbondo</i>	50,1	12,8	6,2	8,4	9,0	4,8	2,7	2,6	0,8	0,4	1,6	0,7
<i>Basalto da fundação de Marimbondo</i>	49,7	13,0	8,0	6,7	8,7	4,4	3,1	2,7	1,3	0,3	1,2	0,4
<i>Capa de alteração de Marimbondo</i>	45,2	13,5	11,0	6,4	8,3	5,1	3,2	1,7	0,5	0,4	5,2	3,5

Métodos de determinação:

FeO por titulação;

Perda ao fogo por calcinação a 1000°C até peso constante;

H₂O⁺ por método de Penfield;

Demais elementos por determinação por fluorescência de raios-X e fusão com tetraborato de lítio.

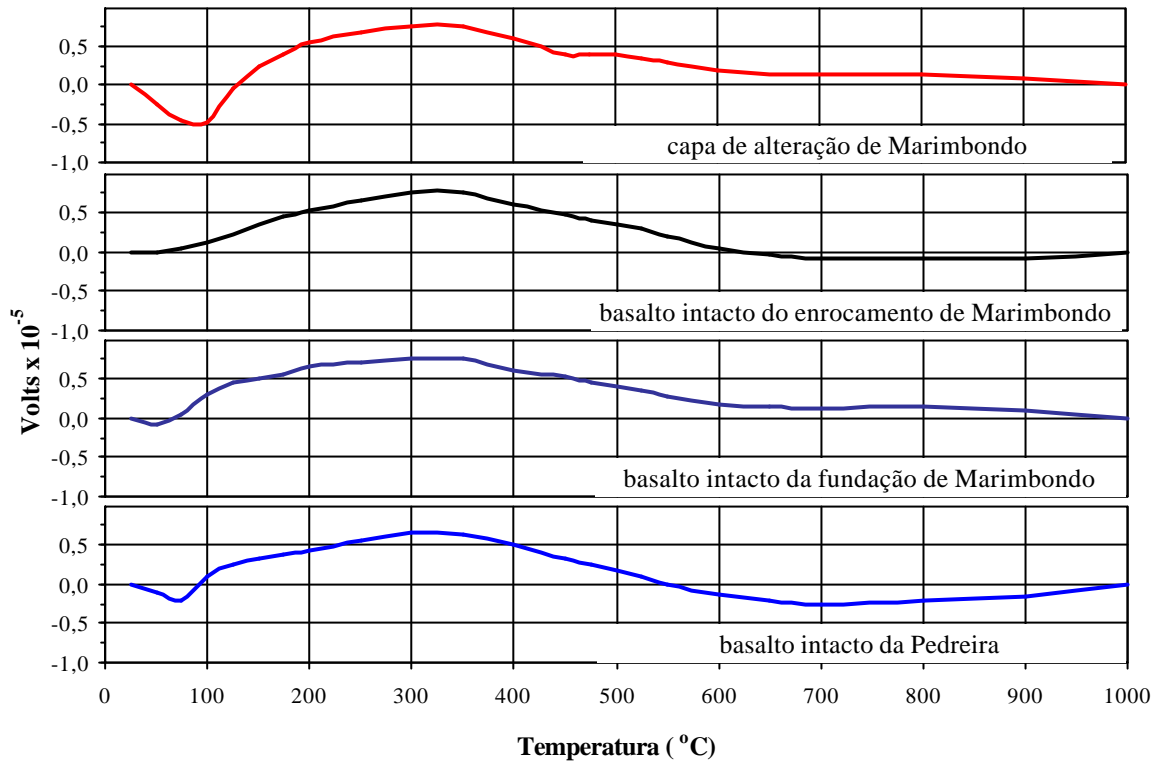


Figura 4.12 - Resultados de análises térmicas diferenciais.

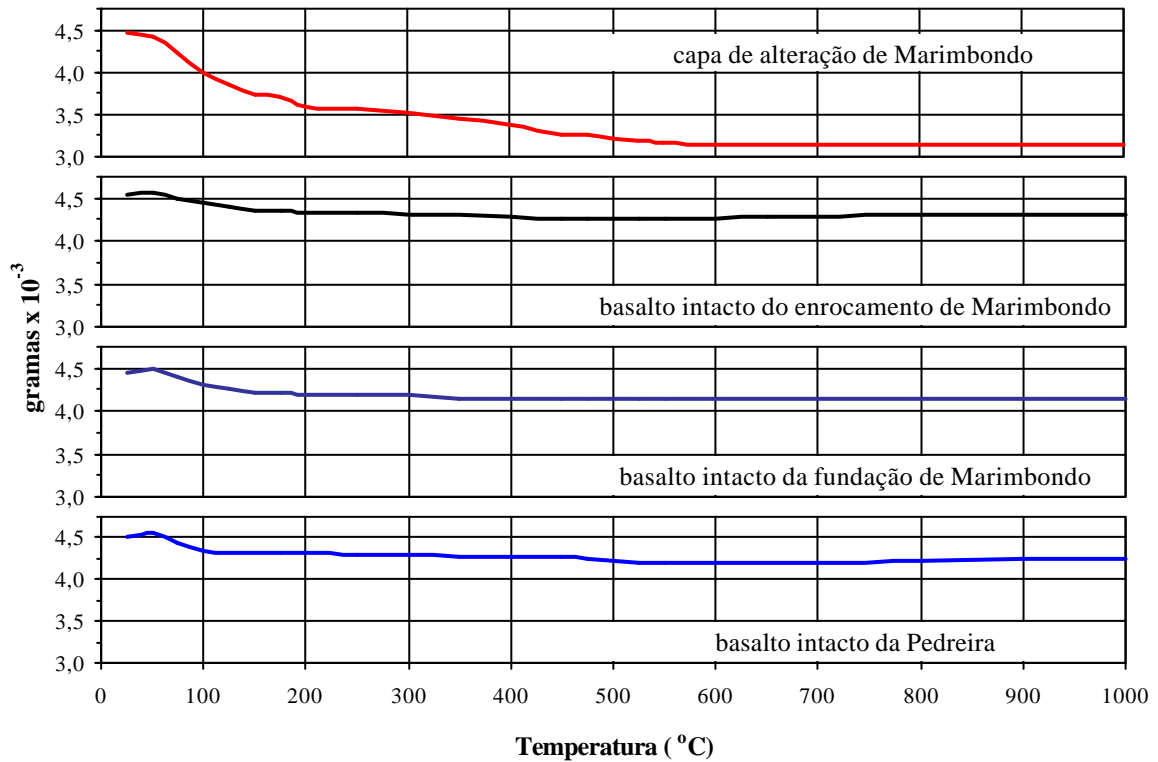
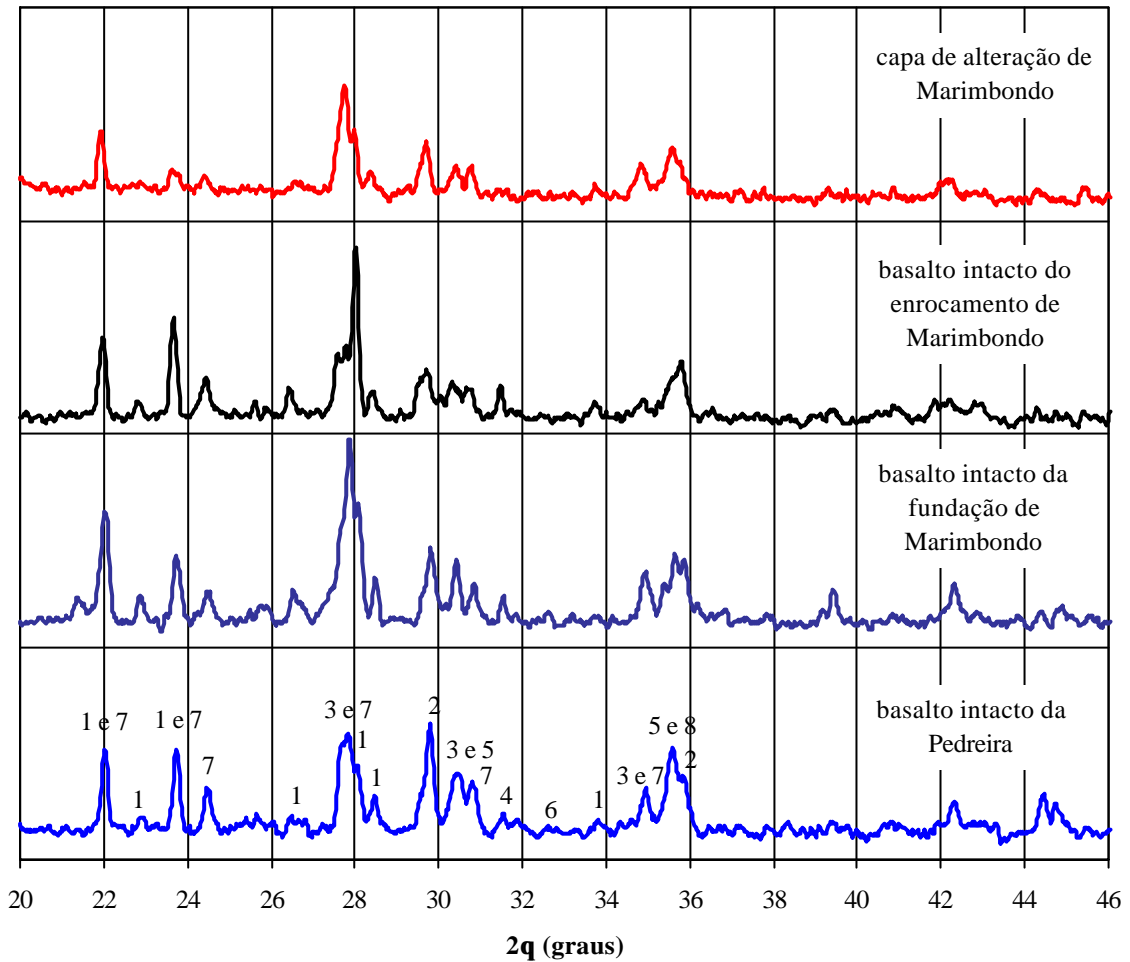


Figura 4.13 - Resultados de análises térmicas gravimétricas.



Legenda:

- 1 - Anortita sódica intermediária (Labradorita): $(Ca, Na) (Si, Al)_4 O_8$
- 2 - Augita: $Ca (Fe, Mg) Si_2 O_6$
- 3 - Aegirina-augita: $(Ca, Na) (Fe, Mn, Zn) Si_2 O_6$
- 4 - Janhaugita: $Na_3 Mn_3 Ti_2 Si_4 O_{15} (OH, F, O)_3$
- 5 - Augita aluminica: $Ca (Mg, Fe_{+3}, Al) (Si, Al)_2 O_6$
- 6 - Ilmenita: $Fe Ti O_3$
- 7 - Albita: $Na Al Si_3 O_8$

Figura 4.14 - Análises por difração de raios X das rochas estudadas.

Dos resultados, conclui-se que os basaltos densos apresentam características mineralógicas similares, fato confirmado na análise por microscopia ótica. Verificou-se também que o núcleo dos blocos de basalto denso do enrocamento permanece intacto.

Os resultados de perda ao fogo, concentração de H_2O^+ e das análises térmicas gravimétricas indicam a significativa presença de argilominerais na capa de alteração, sob

forma amorfa. Tais resultados são provavelmente os melhores indicadores da alteração superficial das partículas de basalto de Marimbondo.

Das análises petrográficas, conclui-se que, do ponto de vista mineralógico, o basalto denso da Pedreira é representativo do basalto denso utilizado no enrocamento da Barragem, durante a fase de construção.

4.3. Granito: Barragem de Serra da Mesa

A Usina Hidroelétrica de Serra da Mesa está localizada no rio Tocantins, no Planalto Central Goiano, a aproximadamente 230km ao norte de Brasília, na divisa dos municípios de Minaçu e Colinas do Sul, no Estado de Goiás (Figura 4.4). A Figura 4.15 mostra o arranjo geral da UHE de Serra da Mesa.

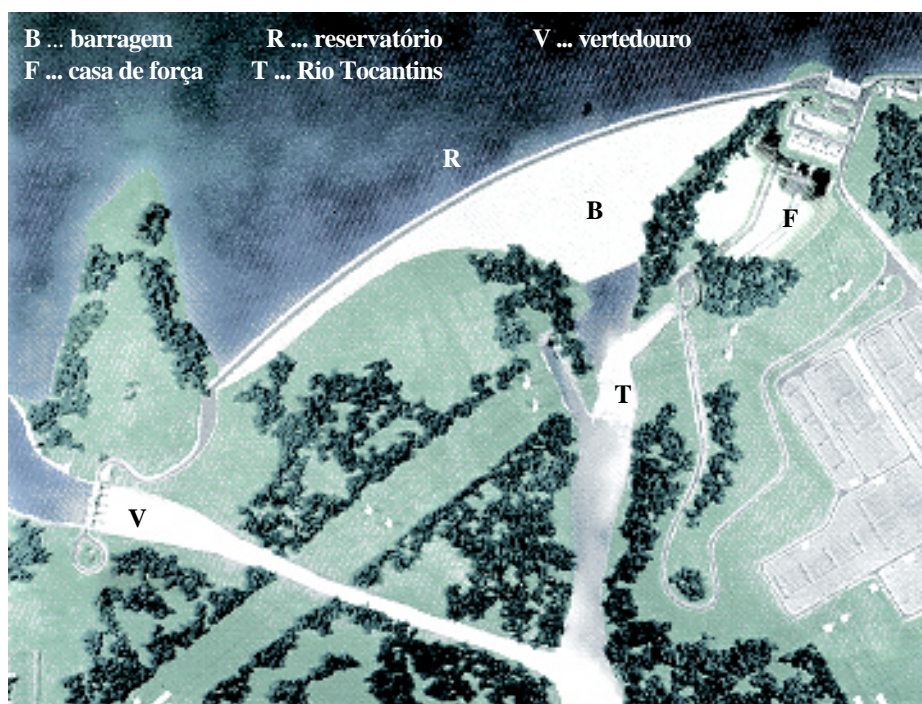


Figura 4.15 - Arranjo da Usina Hidroelétrica de Serra da Mesa

A geologia da região da usina é constituída por uma intrusão granito-gnáissica, sob a forma de domo, aproximadamente, elíptico. Esta intrusão é circundada por um gnaisse paramorfisado com elevada foliação e por anéis de quartzitos micáceos e micaxistosos,

dobrados e fraturados. Os contatos entre as diferentes litologias são abruptos e de fácil percepção no campo.

A implantação da usina está próxima da extremidade sul do domo granito-gnáissico. A rocha de fundação é pouco alterada e o maciço rochoso da fundação é pouco fraturado.

A Barragem tem altura máxima de 153m e comprimento da crista de 1.450m. A seção da Barragem se constitui de um maciço compacto de terra e de um enrocamento com núcleo central de material impermeável (Figura 4.16). Os enrocamentos foram utilizados nos espaldares de montante e de jusante da Barragem. Foi utilizado, ainda, um material de granulometria mais fina como transição entre os espaldares e o núcleo impermeável.

Os enrocamentos são constituídos de materiais rochosos, provenientes das escavações obrigatórias da obra e de pedreiras localizadas próximas à Barragem. O material rochoso é um granito-gnáissico, com granulação média a fina e coloração cinza-róseo clara. No presente trabalho esta rocha será designada simplesmente como granito.

A densificação do enrocamento foi realizada por seis passadas de rolo liso vibratório, com 81,4 kN de peso estático no tambor, em camadas de um metro de espessura. Não se adicionou água ao enrocamento durante o processo de densificação.

Vale destacar que o clima da região da Barragem de Serra da Mesa é semelhante ao da região da Barragem de Marimbondo (tropical). A Tabela 4.1 apresenta as principais informações climáticas da região da Barragem de Serra da Mesa.

4.4. Granulometria no campo dos enrocamentos estudados

A Figura 4.17 apresenta as faixas de variação da granulometria dos enrocamentos de Marimbondo e de Serra da Mesa e as curvas granulométricas médias, especificadas na fase de construção. Há uma diferença significativa entre as granulometrias dos enrocamentos estudados, com destaque para a elevada porcentagem de finos (cerca de 20% de pedregulhos) no enrocamento de Serra da Mesa e uma acentuada uniformidade do enrocamento de Marimbondo.

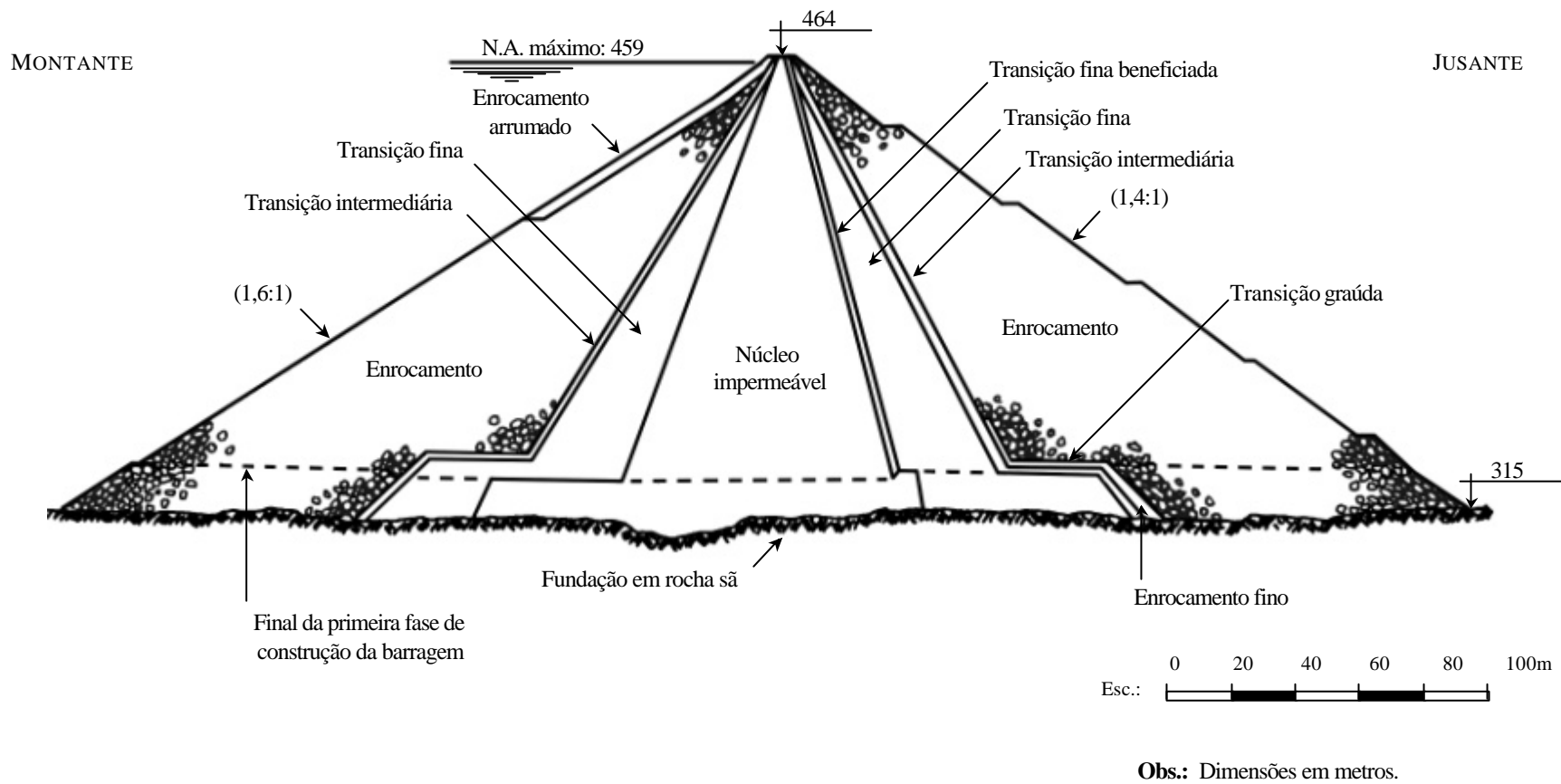


Figura 4.16 - Seção transversal típica da Barragem de Serra da Mesa.

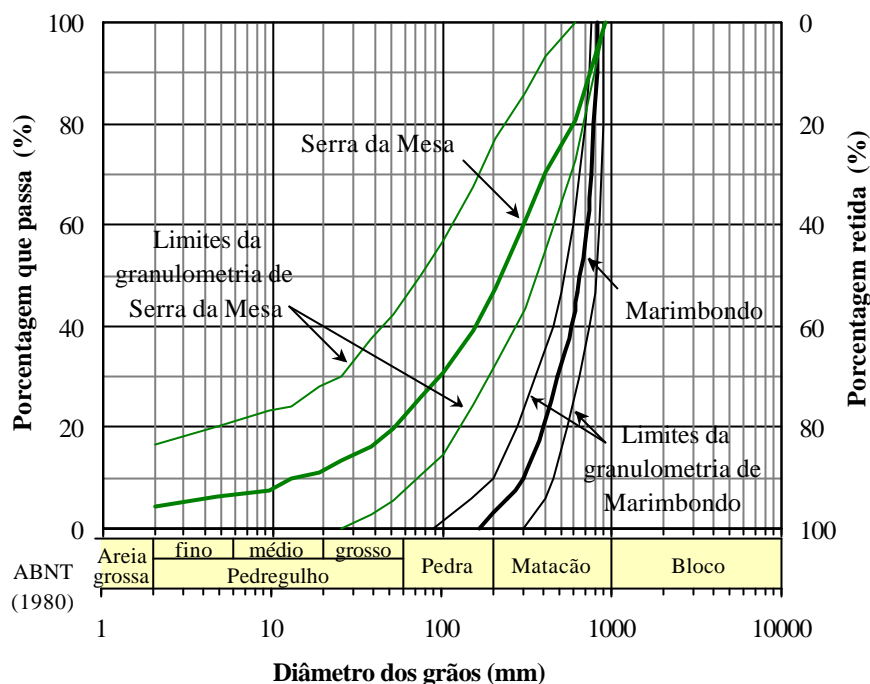


Figura 4.17 - Curvas granulométricas dos enrocamentos das barragens de Marimbondo e de Serra da Mesa.

4.5. Considerações Finais

As duas barragens estudadas representam duas grandes obras da engenharia brasileira. Por isso, o estudo detalhado dos seus materiais é de grande importância para uma melhor compreensão do comportamento de tais obras e de obras futuras.

O basalto proveniente da Pedreira Rio Grande apresenta características de rocha sã, no entanto, verificou-se, através das análises petrográficas, que este basalto possui alteração, provavelmente hidrotermal e deutérica. Assim, este trabalho opta por denominar o basalto da Pedreira de intacto, termo este que se refere à condição inicial de utilização no enrocamento (zero anos de alteração natural). O granito é considerado como rocha sã.

A caracterização do basalto da Pedreira Rio Grande mostra que tal material é representativo do estado intacto do basalto de Marimbondo utilizado na fase de construção. O basalto intacto corresponde a um material de características adequadas para a construção civil. No entanto, a alteração a longo prazo pode reduzir significativamente a expectativa de utilização dos basaltos. Este fato reforça a necessidade do estudo da alterabilidade de rochas, mesmo aquelas que apresentam boas características para uso na construção civil.

Destaca-se que a alteração no enrocamento de Marimbondo não ocorre de forma homogênea. Espera-se processos de alteração diferentes nos enrocamentos permanentemente submersos (abaixo do nível mínimo do reservatório), sujeitos à variações do nível d'água (entre os níveis máximos e mínimos do reservatório) e permanentemente seco (acima do nível máximo do reservatório).

Finalmente, ainda que se considere que, numa mesma litologia existam grandes variações de comportamento do material, fato é que o basalto intacto e o granito são exemplos típicos de rochas utilizadas na construção de grandes obras no Brasil.