

GOVERNO DO ESTADO



**CEARÁ**

AVANÇANDO NAS MUDANÇAS

**GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ**  
**SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS**

Companhia de Gestão dos Recursos Hídrico - COGERH  
Projeto de Desenvolvimento e Gestão dos Recursos Hídricos  
PROURB/CE

**PROJETO EXECUTIVO DA**  
**BARRAGEM MALCOZINHADO**

**TOMO I RELATÓRIO DOS ESTUDOS BÁSICOS**

**Volume 2 Estudos Geológicos e Geotécnicos**

**KL Serviço de Engenharia LDTA**

**FORTALEZA**  
**ABRIL DE 1997**

GOVERNO DO ESTADO



**CEARÁ**

AVANÇANDO NAS MUDANÇAS

**GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ**  
**SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS**  
**COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS - COGERH**  
**PROJETO DE DESENVOLVIMENTO URBANO E GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS**  
**PROURB/CE**

**PROJETO EXECUTIVO**  
**DA BARRAGEM MALCOZINHADO**

**TOMO I - RELATÓRIO DOS ESTUDOS BÁSICOS**  
**VOLUME 2 - ESTUDOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS**

Lote 01375 - Prep  Scan  Index   
Projeto Nº 1362110616  
Volume \_\_\_\_\_  
Qtd A4 7 Qtd A3 \_\_\_\_\_  
Qtd A2 \_\_\_\_\_ Qtd A1 \_\_\_\_\_  
Qtd A0 \_\_\_\_\_ Outros \_\_\_\_\_

KL SERVIÇOS E  
ENGENHARIA LTDA

ENGENHARIA LTDA



FORTALEZA  
SETEMBRO / 97



ÍNDICE

## ÍNDICE

<b>APRESENTAÇÃO ..</b>	<b>5</b>
<b>1 - INTRODUÇÃO..</b>	<b>9</b>
<b>2 - GEOLOGIA .....</b>	<b>12</b>
2 1 - GEOLOGIA REGIONAL	12
2 2 - ESTUDO GEOLÓGICO	14
<b>2 2.1 - Fotointerpretação Geológica.....</b>	<b>14</b>
<b>2.2 2 - Geologia Local ...</b>	<b>14</b>
<b>2.2.3 - Estruturas</b>	<b>15</b>
2 3 - COMENTARIOS GERAIS SOBRE AS INVESTIGAÇÕES	17
2 4 - DOCUMENTAÇÃO FOTOGRAFICA	17
<b>3 - GEOTECNIA ...</b>	<b>24</b>
3 2 DESCRIÇÃO DAS SONDAGENS EXECUTADAS	25
<b>3 2.1 - Sondagens a Pá e Picareta.....</b>	<b>25</b>
<b>3.2 2 - Sondagens a Percussão .....</b>	<b>27</b>
<b>3 2.3 - Sondagens Mistas.....</b>	<b>27</b>
3 3 ENSAIOS IN SITU	29
<b>3 3 1 - Ensaios de Permeabilidade Com Carga Constante ...</b>	<b>29</b>
<b>3.3 2 - Ensaios de Perda d`Água Específica.....</b>	<b>31</b>
3 4 PESQUISA DE JAZIDAS	33
<b>3.4 1 - Generalidades .....</b>	<b>33</b>
<b>3 4 2 - Jazidas de Solo (Empréstimo 1 e 2).....</b>	<b>35</b>
<b>3.4 3 - Jazidas de Areia (AREAL 1) .....</b>	<b>36</b>
<b>3.4.4 - Pedreira (P1) .....</b>	<b>36</b>
3 5 ENSAIOS DE LABORATÓRIO	37
3 6 COMENTÁRIOS GERAIS SOBRE AS INVESTIGAÇÕES	61
<b>3.6 1 - Fundações. ....</b>	<b>61</b>



<b>3.6.2 – Ombreiras .....</b>	<b>62</b>
<b>3.6.3 - Sangradouro.....</b>	<b>62</b>
<b>3.6.4 - Materiais de Construção.....</b>	<b>62</b>
3.6.4.1 - Materiais Terrosos - Area de Empréstimo	63
3.6.4.2 - Materiais Arenosos	64
3.6.4.3 - Materiais Rochosos	65
<b>4 - CONCLUSÕES.. . . . .</b>	<b>67</b>
<b>ANEXO A - DESENHOS</b>	



## APRESENTAÇÃO

## APRESENTAÇÃO

A KL - Serviços e Engenharia Ltda , em cumprimento ao contrato nº 05-97/ PROURB - CE/ COGERH, apresenta os estudos referentes ao Projeto Executivo da Barragem Malcozinhado

O Projeto Executivo é composto pelos seguintes estudos

### FASE A DIAGNÓSTICO E ANTEPROJETO

- Relatório dos Estudos Preliminares,
- TOMO I - Relatório dos Estudos Básicos,
  - Volume 1 - Estudos Topográficos
  - Volume 2 - Estudos Geológicos e Geotécnicos
  - Volume 2A – Estudos Geotécnicos - Anexos
  - Volume 3 - Estudos Hidrológicos
- TOMO II - Relatório de Concepção

### FASE B DETALHAMENTO DO PROJETO DE ENGENHARIA A NÍVEL EXECUTIVO

- Minuta do Relatório Geral
- TOMO III - Relatório Geral
  - Volume 1 - Memorial Descritivo
  - Volume 2 - Memória de Cálculo
  - Volume 3 - Especificações Técnicas
  - Volume 4 - Desenhos
  - Volume 5 - Desenhos Estruturais
- TOMO IV - Relatório Síntese

O presente volume faz parte do TOMO I - Relatório de Estudos Preliminares - Volume 2 - Estudos Geológicos e Geotécnicos, e possui como objetivo principal a apresentação das investigações geológicas e geotécnicas, ensaios "in situ" e em laboratório, bem como as conclusões obtidas através da análise de seus resultados, de forma a definir as características do local das obras e dos materiais de construção a serem utilizados disponíveis na região

No Volume 2A – Estudos Geotécnicos apresenta-se todos os boletins resultantes dos ensaios, quer de laboratório, quer de campo





## 1 - INTRODUÇÃO

## 1 - INTRODUÇÃO

As investigações executadas para caracterização geológico-geotécnica da região das obras, foram divididas em duas fases a saber estudos geológicos de superfície e investigações geotécnicas de subsuperfície

Os estudos geológicos de superfície constaram do mapeamento geológico do sítio barrável, área do sangradouro e estudos de reconhecimento superficial dos materiais a serem utilizados na construção da barragem e estruturas adjacentes

As sondagens de subsuperfície efetuadas ao longo do sítio barrável, área do sangradouro e jazidas de materiais terrosos e arenosos consistiram na Abertura de Poços de Inspeção a Pá e Picareta (SPP), Sondagens a Percussão (SP) e Sondagens Mistas (SM) com ensaios "in situ" do tipo Perda d' água Específica e Permeabilidade com carga constante ( LE FRANC)

É interessante ressaltar que, quando da execução das investigações geotécnicas, houve extração de amostras deformadas de solo do eixo barrável e das jazidas, de modo a se proceder às análises de laboratório indispensáveis à caracterização dos materiais existentes na região

Todos os procedimentos utilizados seguiram as normas preconizadas pela ABNT

Foi realizado um mapeamento preliminar da região, abrangendo as áreas inicialmente previstas como locais de barragem e de bacia de armazenamento Para tanto foi utilizada uma Carta Topográfica em escala 1:100 000, um Mapa Geológico Radam Brasil na escala 1:1 000 000 bem como um mapeamento superficial, à pequena escala, executado em campo São portanto, salientados aspectos essencialmente litológicos-estruturais, ressaltando-se indicação do sistema de fraturamento que ocorre na área

Com a conclusão desse trabalho gerou-se um mapa geológico da região da barragem e sangradouro em escala 1:25 000, onde são ressaltados os detalhes topográficos e litológicos de superfície, e uma planta do eixo da barragem indicando o fraturamento do afloramento encontrado Estes desenhos são apresentados no Anexo A - Desenhos

Com os resultados apresentados através dos boletins de sondagens e demais ensaios efetuados, pôde-se traçar um provável perfil geológico-geotécnico da região da obra em epígrafe, apresentado Anexo A - Desenhos

Através da união deste acervo de informações, analisou-se as características inerentes ao local e extraiu-se os parâmetros básicos necessários a dar continuidade aos estudos do Projeto Executivo



KL - SERVIÇOS E ENGENHARIA LTDA

## 2 - GEOLOGIA

## 2 - GEOLOGIA

### 2.1 - GEOLOGIA REGIONAL

#### **Complexo Caicó (pEc)**

A introdução do termo Caicó é devida a Meunier (1964) através do Complexo de Caicó, englobando uma seqüência de biotita-gnaisses, quartzitos e calcários, aflorantes nas imediações da cidade de Caicó

Brito Neves, Kawashita e Pessoa (1975) formalizaram a utilização litocronoestratigráfica do Complexo Caicó, através de uma reavaliação dos conhecimentos até então adquiridos, associados a um estudo geocronológico, sendo obtida então uma idade de 2 720 m.a. Esta unidade passa pois a se constituir, segundo aqueles autores, de uma espessa e variada seqüência de metassedimentos, gnaisses, xistos, quartzitos, paraanfíbólitos e calcários, com migmatitos e rochas graníticas associadas

O quadro geocronológico demonstra seu posicionamento no Pré-Cambriano Inferior, verificando-se também o seu envolvimento no Ciclo Transamazônico

Litologicamente este complexo é representado na área por gnaisses e migmatitos. Os gnaisses são de coloração cinza clara, granulação fina a média, foliação bem desenvolvida, constituídos principalmente por quartzo, feldspato e minerais micáceos. Os migmatitos variam desde os heterogêneos, metatexitos conforme Mehnert (1971) até os termos envolvendo anatexitos. São geralmente rochas de coloração cinza, natureza gnássica, granulação média a grosseira e composição granítica. O neossoma é também granítico, com predominância dos félsicos (quartzo-feldspáticos). Os tipos heterogêneos não possuem limites determinados, havendo uma passagem gradativa para migmatitos homogêneos ou gnaisses, em escala de afloramentos.

Na área em questão os gnaisses/migmatitos ocorrem geralmente cobertos pelos sedimentos do Grupo Barreiras

## Grupo Barreiras (TQb)

Foi Branner(1902) quem pela primeira vez denominou de "Barreiras" os sedimentos clásticos, de natureza variegada com variações de argilas e conglomerados ocorrentes no litoral brasileiro

Compreende toda a seqüência variegada constituída de clásticos finos a grosseiros que ocorrem na costa, infrajacentes às dunas. Estes depósitos ocorrem por toda a faixa da bacia hidrográfica da barragem do Rio Malcozinhado. A área individualiza-se como uma região de tabuleiros planos, localmente ondulada com depressões suaves sendo truncada pelos vales dos rios. Todo este pacote sedimentar repousa discordantemente sobre o embasamento cristalino. Sua espessura é bastante variável, fato decorrente do seu relacionamento com a superfície irregular do embasamento cristalino, aumentando em direção à costa. Na região de Aracati possui uma espessura da ordem de 30 metros(Projeto Fortaleza). Não obstante, os vales entalhados pelos principais rios expõem o cristalino, refletindo, desta forma, um avançado estágio de erosão fluvial em toda a unidade sedimentar, como pode ser observado no leito do rio a ser barrado.

A seqüência é representada por arenitos argilosos de coloração variegada, de tons avermelhados nos mais diversos matizes. A granulação varia de fina a média, com horizontes conglomeráticos e com incrustações lateríticas na base. Ocasionalmente aparecem superfícies de erosão preenchidas por lentes de argilas, areias ou clásticos mais grosseiros. A estratificação é de maneira geral indistinta. O topo da seqüência, quando não é capeado discordantemente pelas dunas, apresenta uma variação vertical para um sedimento avermelhado, mais oxidado, sem estratificação definida, bem classificado, com matriz areno-siltosa.

O caráter ambiental de formação da unidade foi predominantemente continental, conforme é demonstrado pelo tipo subanguloso a subarredondado dos grãos de quartzo da matriz e pela falta de orientação destes constituintes, o que sugere também deposição pelas correntes fluviais.

O Grupo Barreiras, na área em questão não apresenta evidências de perturbações tectônicas, salvo por algumas fraturas localizadas e não muito desenvolvidas. Apresenta-se como um pacote de material areno-argiloso a silto-arenoso, de coloração cinza creme a creme avermelhada, mal selecionado, com acamamento não distinto e intercalações de leitões conglomeráticos.

## **Aluviões**

As aluviões são todos os depósitos fluviais ou lacustres recentes Litologicamente estão representadas pelas argilas, areias argilosas, areias puras e cascalhos As argilas encontram-se com freqüência nas calhas dos rios Choró, Pirangi e Jaguaribe São argilas detríticas, de boa plasticidade, de cores muito variadas, geralmente brancas, amarelas e várias matizes do cinza Nos médios cursos os aluviões são constituídos principalmente de areias grossas, mal selecionadas, puras, com seixos e calhaus de quartzo e rochas adjacentes

A espessura dos aluviões é de modo geral pequena, pois sempre estão condicionadas às partes mais baixas dos vales Via de regra, oscila entre 1,00 e 5,00 metros

## **2.2 - ESTUDO GEOLÓGICO**

### **2.2.1 - Fotointerpretação Geológica**

Os estudos geológicos consistiram primeiramente de uma pesquisa bibliográfica de trabalhos que englobassem a área, no caso o Projeto Fortaleza (CPRM, 1981) com mapa na escala de 1 250 000

Em seguida foi realizado o estudo de fotointerpretação geológica de uma área de 6,00x7,00 km, utilizando-se fotografias aéreas verticais, em preto e branco, na escala 1 25.000, do SACS/ Serviços Aerofotogramétricos do Cruzeiro do Sul da bacia hidráulica e parte da bacia hidrográfica da Barragem do Rio Malcozinhado As fotografias utilizadas correspondem às faixas 5,6,7 do foto-índice 752

Apresenta-se, no Anexo B - Desenhos, um mapa fotogeológico na escala 1 25 000, resultante destes estudos

### **2.2.2 - Geologia Local**

O estudo da geologia local foi executado ao longo do eixo topográfico da referida barragem, abrangendo uma faixa de aproximadamente 200 metros para montante e jusante Foi feito um reconhecimento geológico de superfície, bem como de alguns poços e sondagem realizada no local

Litologicamente, ocorrem na área migmatitos do Complexo Calcó (p&c), material areno-argiloso/siltoso do Grupo Barreiras (TQb) e as aluviões (Qal)

A unidade migmatítica ocorre no leito do Rio Malcozinhado, estendendo-se por, pelo menos, 300 metros aproximadamente, para jusante e montante. São do tipo metatexitos de Mehnert (1971), guardando ainda como característica os elementos planares, podendo ainda passar para porções mais homogêneas com estruturas planares menos conspícuas ou ausentes. São de cor cinza clara, granulação média a grossa, constituídos principalmente de quartzo, feldspato e biotita.

Em alguns locais o paleossoma ainda conserva características do biotita-gnaisses.

A abertura de alguns poços na área, ao longo do eixo da barragem, pôde-se constatar a presença de gnaiss ou migmatito, na forma de solo residual ou rocha bastante alterada e friável. Nos poços onde foi verificado gnaiss/migmatito bastante alterado (solo residual), o contato com o material arenoso do grupo Barreiras se dá a profundidade da ordem de 1,30 - 1,50 m (E-7, E-9 + 15mN, E-25).

Na sondagem SM1, ocorre gnaiss migmatizado pouco alterado, com xistosidade bem desenvolvida, grau de alteração A1/A2, ou seja, rocha sã a pouco alterada, a partir de 6,50m.

Em todo o restante da área predomina o material areno-argiloso do Grupo Barreiras, coloração cinza creme, com intercalações silto-arenosas e conglomeráticas, podendo conter ainda óxido de ferro e matéria orgânica.

Os aluviões estão restritos ao leito do Rio Malcozinhado, com pouca representatividade devido às rochas do embasamento cristalino estarem quase ou totalmente aflorantes.

### 2.2.3 - Estruturas

As estruturas presentes na área resumem-se a planos de foliação e fraturas do afloramento de migmatito metatexito (estromático, de Mehnert, 1971) que ocorre no leito do Rio Malcozinhado.

E-21 (Borda Sul do rio)	Aitude de foliação	N15°E/40°NW
	Aitude de fraturas	N60°W/SV média fechada (2)
		N25°E/85°NW média aberta
E-21 +10mN	Aitude de foliação	N15°E/25°NW
	Aitude de fraturas	N40°W/75°NE curta aberta (5)



		N55°E/65°SE média aberta
		N10°E/60°NW curta fechada
		N30°W/65°NE média fechada (3)
		N40°E/SV longa fechada
		N45°W/SV média fechada (3)
		N25°E/65°SE média aberta
E-22(Borda Norte do no)	Atitudes de fraturas	E-W/SV média fechada (2)
		N15°E/65°NW longa aberta (3)
		N30°W/SV média aberta (3)
E-22 +80mW	Atitude de foliação	N10°E/60°NW
		N05°E/40°NW
	Atitudes de fraturas	N35°E/SV média fechada (2)
		N65°E/SV longa aberta (3)
		N20°E/55°SE longa aberta (2)
		N10°E/55°SE longa aberta (2)
		N80°W/SV média aberta
		N50°W/SV média fechada
		E-W/SV média fechada
		N25°E/SV média fechada
		N80°W/70°NNE média fechada
		N30°W/65°NE média aberta
		N20°E/SV média fechada
		N20°E/80°SE longa fechada
		N50°W/60°NE média aberta

## 2.3 - COMENTÁRIOS GERAIS SOBRE AS INVESTIGAÇÕES

De acordo com o observado nos estudos feitos em campo e em escritório, nota-se que o grau de fraturamento do maciço é pequeno, com tendência ao fechamento em profundidade, previsto pela formação geológica regional. Esse pequeno grau de fraturamento indica que o maciço deve possuir baixa condutividade hidráulica.

Do ponto de vista geomecânico, quanto maior a profundidade, menor o grau de fraturamento, bem como a dimensão das fraturas, denotando uma maior capacidade de suporte do maciço, principalmente a partir de 4,00 m de profundidade.

Os afloramentos apresentam acentuado grau de intemperismo. Isso quer dizer que se houver necessidade de desmonte, o primeiro horizonte (até 2,00 m de profundidade aproximadamente) fragmentaria bem, a partir desta profundidade, conseguir-se-ia blocos maiores.

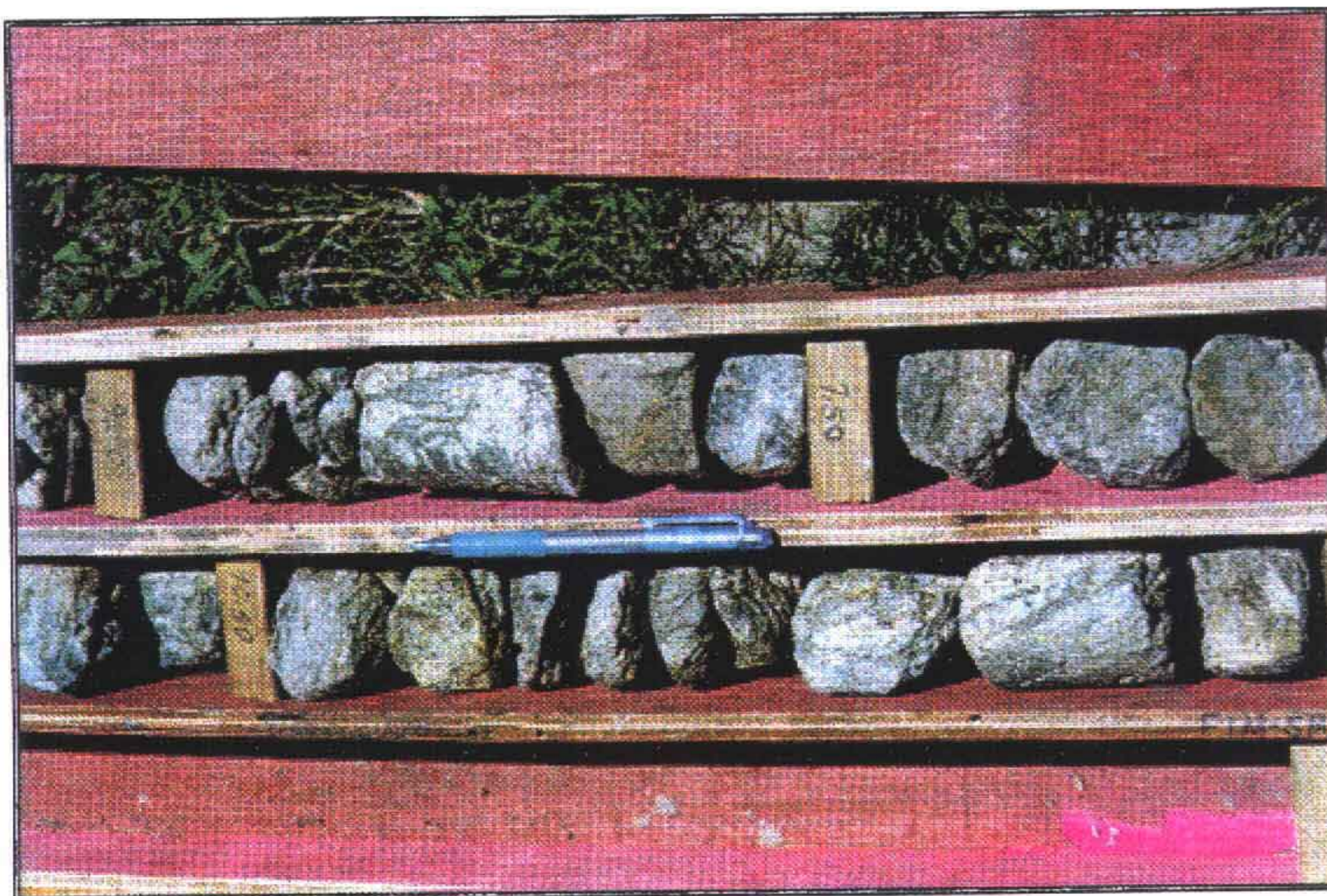
## 2.4 - DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA

Apresenta-se a seguir, a documentação fotográfica feita quando das investigações geológicas em campo.





Afloramento de migmatito metatexito, a sudeste do eixo da barragem do Rio Malcozinhado.



Testemunhos de sondagem (SM-1) com migmatito, que ocorre abaixo da cobertura arenosa do Grupo Barreiras a partir de 6,50 m.





Afloramento de migmatito metatexito na borda Norte do Rio Malcozinhado (Ponto E-22).



Afloramento de migmatito à montante do eixo da barragem ( $\pm 80$  mm), no leito do Rio Malcozinhado.





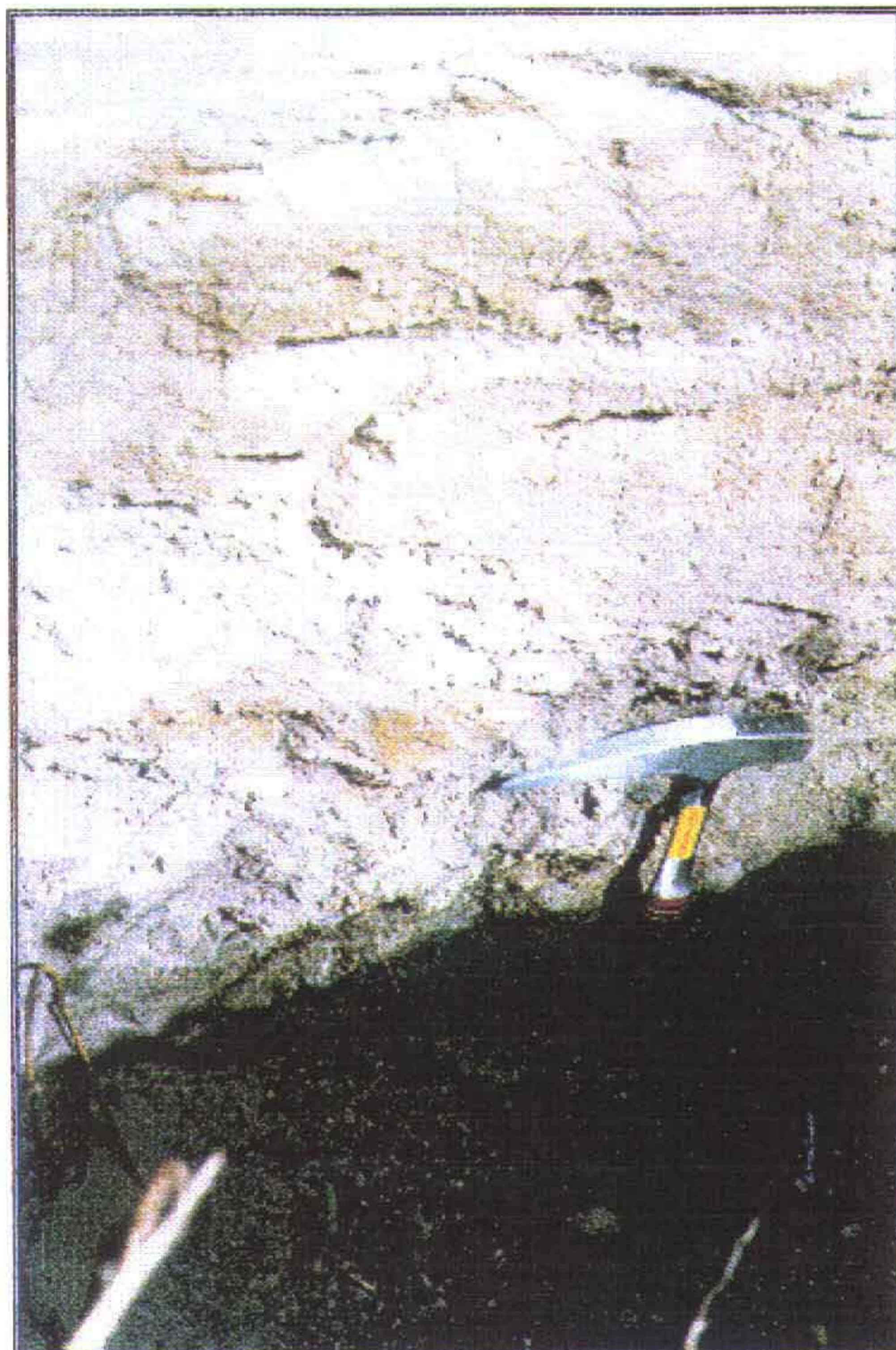
Poço escavado no trecho do eixo da barragem. Observa-se cobertura de solo areno-argiloso com grãos de quartzo, contendo raízes, do Grupo Barreiras, e na base ocorre solo residual de gnaiss/migmatito do Complexo Caicó.





Visão geral da picada aberta no eixo da barragem do Rio Malcozinhado.





Poço com material areno-argiloso, sem estratificação e mal consolidado, cinza creme, contendo poucas raízes, do Grupo Barreiras. Pode ocorrer intercalações siltsas ou argilosas. À profundidade de 1,50 m já aparece solo residual de gnaiss/migmatito do Complexo Caicó.





### 3 - GEOTECNIA



### 3 - GEOTECNIA

#### 3.1 - GENERALIDADES

A presente investigação geotécnica teve como principal objetivo efetuar uma criteriosa inspeção no subsolo local, de forma a conhecer melhor as características da área, bem como dos materiais provenientes das jazidas a serem exploradas

Após uma primeira campanha de investigações, foi executada, de modo a refinar os dados de projeto, melhorando assim a qualidade técnica das investigações, uma campanha complementar, na qual constam sondagens mistas adicionais, ensaios de caracterização do material proveniente de escavação da região do sangradouro, ensaios de permeabilidade "in situ" e ampliação da jazida de solo do empréstimo 02. A cada sub - item a seguir detalhado, apresenta-se o estudo complementar efetuado de forma separada, para melhor compreensão das fases de estudos em campo

O quadro-resumo a seguir apresenta toda a investigação Geotécnica executada, englobando investigações anteriores e complementares

<b>SONDAGENS</b>	
<b>A. EIXO BARRÁVEL E SANGRADOURO</b>	
<b>SONDAGENS</b>	<b>QUANT</b>
Pá e Picareta (m)	20,10
Percussão (m)	116,85
Rotativa em Rocha Diâmetro NX (m)	191,11
<b>B. MATERIAL DE EMPRÉSTIMO</b>	
<b>MATERIAIS</b>	<b>QUANT.</b>
Argila - Pá e Picareta (m)	84,70
Areia - Trado (m)	3,00
<b>ENSAIOS GEOTÉCNICOS</b>	
<b>A MATERIAIS DO EIXO BARRÁVEL E SANGRADOURO</b>	
<b>ENSAIOS</b>	<b>QUANT.</b>
Perda de água Com 5 estágios de pressão	48,00
Infiltração in situ (Le Franc) com carga variável	97,00
<b>B MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO SELECIONADOS</b>	
<b>ENSAIOS PARA MATERIAIS TERROSOS</b>	<b>QUANT</b>
Granulometria sem sedimentação	20,00
Granulometria com sedimentação	8,00
Limite de Liquidez	23,00

Limite de Plasticidade	23,00
Peso Específico	20,00
Umidade Natural	20,00
Proctor Normal	20,00
Permeabilidade ( carga variável )	8,00
Cisalhamento Direto Lento	4,00
<b>ENSAIOS PARA MATERIAIS PÉTREOS</b>	
Los Angeles	3,00
<b>ENSAIOS AREAIS</b>	
Granulometria	2,00
Permeabilidade ( carga constante)	4,00

### 3.2 DESCRIÇÃO DAS SONDAGENS EXECUTADAS

A investigação geotécnica iniciou-se com a execução de três tipos de sondagens a saber

- SPP Sondagem a Pá e Picareta,
- SP Sondagem a Percussão,
- SM Sondagem Mista ( iniciada a percussão e seguida em rotativa)

Todas as sondagens mencionadas acima seguiram as normas da ABNT

A locação, bem como as cotas topográficas das bocas de furos foram fornecidas a partir dos estudos topográficos de campo

Os itens a seguir descrevem, de forma sucinta, os processos executivos das sondagens

Os perfis individuais de sondagem estão no Volume 2A – Estudos Geotécnicos - Anexos As localizações das sondagens em planta são representadas no desenho - Planta Geológica-Geotécnica nº 02/04 e o Perfil Geológico-Geotécnico representado no desenho nº 03/04 do Anexo A

#### 3.2.1 - Sondagens a Pá e Picareta

Os poços de inspeção distribuídos ao longo do eixo barrável e área do sangradouro, tiveram como principal objetivo o conhecimento de materiais entre sondagens tipo SP e SM, bem como extração de amostras para ensaios de laboratório

Todos os poços foram perfurados por meio de escavação manual com dimensões de 1,50m longitudinalmente por 1,00m transversalmente

Nos quadros 3 1 e 3 1-A são mostrados os dados gerais das sondagens

### QUADRO 3.1

#### SONDAGEM A PÁ E PICARETA

SONDAGEM	LOCALIZAÇÃO (ESTACA)	PROFUNDIDADE (m)	DIMENSÕES	INCLINAÇÃO
SPP - 01	1 + 10 m	1,30	1x 1,5 m	Vertical
SPP - 02	7 + 00 m	1,60	1x 1,5 m	Vertical
SPP - 03	9 + 10 m	1,50	1x 1,5 m	Vertical
SPP - 04	17 + 00 m	1,70	1x 1,5 m	Vertical
SPP - 05	20 + 00 m	1,60	1x 1,5 m	Vertical
SPP - 06	25 + 00 m	1,40	1x 1,5 m	Vertical
SPP - 07	30 + 00 m	1,70	1x 1,5 m	Vertical
SPP - 08	32+ 10 m	1,80	1x 1,5 m	Vertical

### Quadro 3.1-A

#### SONDAGEM A PÁ E PICARETA – ESTUDOS COMPLEMENTARES

SONDAGEM	LOCALIZAÇÃO (ESTACA)	PROFUNDIDADE (m)	DIMENSÕES	INCLINAÇÃO
SPP - 09	38 (sangradouro)	2,50	1 X 1,50 m	Vertical
SPP - 10	38 (30 m à montante)	2,50	1 X 1,50 m	Vertical
SPP - 11	38 (30m à jusante)	2,50	1 X 1,50 m	Vertical

### 3.2.2 - Sondagens a Percussão

O objetivo básico destas sondagens foi o de definir a espessura dos depósitos aluvionais sobre o embasamento rochoso e as resistências das camadas através do "SPT"(STANDARD PENETRATION TEST), realizado a cada metro sondado

O critério de paralização das sondagens foi o de lavagem por tempo (menos de 5cm de penetração para 10 minutos de lavagem) Todas as sondagens foram realizadas com diâmetro de 2  $\frac{1}{2}$ " (duas e meia polegadas)

O quadro 3.2 mostra os dados técnicos gerais das sondagens realizadas

**QUADRO 3.2**  
**SONDAGEM A PERCUSSÃO**

SONDAGEM	LOCALIZAÇÃO (ESTACA)	PROFUNDIDADE (m)	DIMENSÕES	INCLINAÇÃO
SP - A	2 + 10 m	8,50	2x $\frac{1}{2}$ "	Vertical
SP- B	8 + 10 m	3,75	2x $\frac{1}{2}$ "	Vertical
SP - C	15 + 10 m	2,20	2x $\frac{1}{2}$ "	Vertical
SP - D	17 + 00 m (10 m à montante)	2,60	2x $\frac{1}{2}$ "	Vertical
SP - E	17 + 00 m ( 20 m a jusante)	2,50	2x $\frac{1}{2}$ "	Vertical
SP - F	19 + 00 m	3,15	2x $\frac{1}{2}$ "	Vertical
SP - G	21 + 00 m	0,10	2x $\frac{1}{2}$ "	Vertical
SP - H	22+ 00 m(10 m a montante)	0,10	2x $\frac{1}{2}$ "	Vertical
SP - I	22 + 00 m(20 m a montante)	0,98	2x $\frac{1}{2}$ "	Vertical
SP - J	24,00 + 00 m	1,25	2x $\frac{1}{2}$ "	Vertical
SP - K	30 + 10,00 m	3,75	2x $\frac{1}{2}$ "	Vertical

É interessante comentar, que, quando da elaboração do projeto básico foram executadas sondagens a percussão numeradas de SP-01 a SP-05, cujos boletins são apresentados nos resultados das investigações, do Volume 2A – Estudos Geotécnicos - Anexos

### 3.2.3 - Sondagens Mistas

Sondagem mista é aquela executada por sondagem a percussão em todos os tipos de terreno penetráveis por esse processo, e executada por meio de sondagem rotativa nos materiais impenetráveis a percussão

SM-08	07(sete)
SM-09	07(sete)
SM-10	10(dez)
SM-11	07(sete)
SM-12	08(oto)
SM-13	02(dois)
SM-1A	02(dois)
SM-2A	02(dois)
SM-3A	02(dois)
SM-4A	01(um)
SM-5A	01(um)
SM-6A	02(dois)
SM-7A	02(dois)

### 3.3.2 - Ensaios de Perda d'Água Específica

Ensaios de perda d'água sob pressão em furos de sondagem têm por objetivo a determinação da permeabilidade e do comportamento dos maciços rochosos frente à percolação da água através de suas fissuras

Consiste na injeção de água sob pressão em um trecho do furo de sondagem e na medida da quantidade de água que se infiltra no maciço, durante um certo tempo, sob uma dada pressão de injeção. O ensaio é realizado em 5(cinco) estágios de pressão, sendo os 1º e o 5º estágios sob uma pressão mínima, os 2º e 4º estágios sob uma pressão intermediária, e o 3º estágio sob uma pressão máxima, conforme a seguir

- 1º e 5º estágios - pressão de 0,10 Kg/cm<sup>2</sup>,
- 2º e 4º estágios - pressão intermediária =  $P_{m\acute{a}x}/2$ ,
- 3º estágios - pressão máxima =  $P_{m\acute{a}x}$

Os trechos ensaiados, sempre que possível foram de 3,00 m

## Quadro 3.3-A

## SONDAGENS MISTAS – ESTUDOS COMPLEMENTARES

SONDAGEM	LOCALIZAÇÃO (ESTACA)	PROFUNDIDADE (m) PERCUSSÃO/ROTATIVA	DIMENSÕES	INCLINAÇÃO
SM-7	37,00	8,23/8,77	2 ½" e Nx	Vertical
SM-8	36,00(40m à montante)	7,30/9,00	2 ½" e Nx	Vertical
SM-9	36,00(40m à jusante)	6,15/9,00	2 ½" e Nx	Vertical
SM-10	38,00	10,30/9,00	2 ½" e Nx	Vertical
SM-11	38 (40m à montante)	7,46/9,54	2 ½" e Nx	Vertical
SM-12	38(40m à jusante)	8,45/9,05	2 ½" e Nx	Vertical
SM-13	6 + 10,00	2,20/10,80	2 ½" e Nx	Vertical

## 3.3 ENSAIOS IN SITU

## 3.3.1 - Ensaio de Permeabilidade Com Carga Constante

Nos ensaios de Permeabilidade "in situ" com carga constante, mantém-se constante a vazão até que as condições de fluxo se estabilizem e a carga (altura da água no furo), se torne constante. Nestas condições, medem-se a vazão e a carga, para aplicação das fórmulas apropriadas

Este tipo de ensaio pode ser usado para solos que se situem abaixo ou acima do nível estático da água (NA)

Foram executados no total 97 (noventa e sete) ensaios, sendo 14 (quatorze) na primeira campanha e 83 (oitenta e três) nos ensaios complementares

Os dados gerais destes ensaios encontram-se nos quadros 3.4 e 3.4-A e seus resultados no Volume 2A- Estudos Geotécnicos - Anexos

**QUADRO 3.4**
**ENSAIOS DE PERMEABILIDADE COM CARGA CONSTANTE**

SONDAGEM	Nº DE ENSAIOS
SP - D	03 (três)
SP- F	04 (quatro)
SP - J	01 (um)
SM - 06	06 (seis)

**QUADRO 3.4 – A**
**ENSAIOS DE PERMEABILIDADE COM CARGA CONSTANTE – ESTUDOS COMPLEMENTARES**

SONDAGEM	Nº DE ENSAIOS
SP-A	03(três)
SP-B	02(dois)
SP-C	02(dois)
SP-D	02(dois)
SP-E	02(dois)
SP-I	01(um)
SP-K	03(três)
SM-01	02(dois)
SM-02	01(um)
SM-03	02(dois)
SM-04	02(dois)
SM-05	02(dois)
SM-07	08(oito)

Iniciou-se os furos com sondagem percussiva no diâmetro de 2 ½ "(duas e meia polegadas), no qual foi definida a espessura de solos sobre o embasamento rochoso e as resistências das camadas através do "SPT" Prosseguiu-se com sonda rotativa, na qual usava-se a sonda MACH 920 de avanço manual, acoplada a um calibrador e a um barrilete simples, tipo NX para recuperação do testemunho, do qual obteve-se informações da alteração, fraturamento e estanqueidade da rocha

O quadro 3.3 mostra os dados técnicos gerais das sondagens realizadas, e o quadro 3.3A, apresenta as sondagens mistas complementares, conforme já citado

### QUADRO 3.3

#### SONDAGEM MISTA

SONDAGEM	LOCALIZAÇÃO (ESTACA)	PROFUNDIDADE (m) PERCUSSÃO/ROTATIVA	DIMENSÕES	INCLINAÇÃO
SM - 01	10 + 10 m	2,90/8,60	2 1/2" e NX	Vertical
SM - 02	14,00	1,10/10,90	2 1/2" e NX	Vertical
SM - 03	20 + 00 m (15 m a jusante)	2,30/10,00	2 1/2" e NX	Vertical
SM - 04	20 + 00 m (25 m a montante)	3,10/9,40	2 1/2" e NX	Vertical
SM - 05	27+ 10,00 m	3,27/9,00	2 1/2" e NX	Vertical
SM - 06	35,00	5,15/9,85	2 1/2" e NX	Vertical
SM 1 - A	4, 00 m	4,65/8,85	2 1/2" e NX	Vertical
SM 2 - A	12 + 10, 00 m	1,81/10,39	2 1/2" e NX	Vertical
SM 3 - A	18 + 00 m	3,50/9,70	2 1/2" e NX	Vertical
SM 4 - A	23 + 00 m	1,10/10,90	2 1/2" e NX	Vertical
SM 5 - A	26 + 00 m	1,65/10,35	2 1/2" e NX	Vertical
SM 6 - A	29 + 00 m	4,40/9,00	2 1/2" e NX	Vertical
SM 7 - A	31 + 10,00 m	3,15/9,01	2 1/2" e NX	Vertical



Foram executados no total 48(quarenta e oito) ensaios, sendo 31(trinta e um) na primeira campanha e 17 (dezessete) nos ensaios complementares

Os quadros 3.5 e 3.5-A mostram os dados técnicos gerais dos ensaios de perda d'água sob pressão

**QUADRO 3.5**  
**ENSAIOS DE PERDA D'ÁGUA ESPECÍFICA**

SONDAGEM	Nº DE ENSAIOS	TRECHOS ENSAIADOS
SM - 01	02 ( dois)	6,50 - 9,50 m 8,50 - 11,50 m
SM - 02	02 (dois)	6,00 - 9,00 m 9,00 - 12,00 m
SM - 03	03 (três)	3,30 - 6,30 m 6,30 - 9,30 m 9,30 - 12,30 m
SM - 04	03 (três)	3,50 - 6,50 m 6,50 - 9,50 m 9,50 - 12,50 m
SM - 05	02 (dois)	6,00 - 9,00 m 9,00 - 12,00 m
SM - 06	03 (três)	6,00 - 9,00 m 9,00 - 12,00 m 12,00-15,00 m
SM - 1A	01 (uma)	10,00-13,50 m
SM - 2A	02 (dois)	6,20 - 9,20 m 9,20 - 12,20 m
SM - 3A	03 (três)	4,20 - 7,20 m 7,20 - 10,20 m 10,20-13,20 m
SM - 4A	03 (três)	3,00 - 6,00 m 6,00 - 9,00 m 9,00 - 12,00 m
SM - 5A	03 (três)	3,00 - 6,00 m 6,00 - 9,00 m 9,00 - 12,00 m
SM - 6A	02 (dois)	7,00 - 10,00 m 10,00-13,00 m
SM - 7A	03 ( três)	4,00 - 6,00 m 6,00 - 9,00 m 9,00 - 12,60 m

**QUADRO 3.5-A**  
**ENSAIOS DE PERDA D'ÁGUA ESPECÍFICA - COMPLEMENTARES**

SONDAGEM	Nº DE ENSAIOS	TRECHOS ENSAIADOS
SM - 07	02 ( dois)	11,00 - 14,00 m 14,00 - 17,00 m
SM - 08	03 ( três)	7,30 - 10,30 m 10,30 - 13,30 m 13,30 - 16,30 m
SM - 09	02 ( dois)	9,00 - 12,00 m 12,00 - 15,15 m
SM - 10	03 ( três)	10,30 - 13,30 m 13,30 - 16,30 m 16,30 - 19,30 m
SM - 11	03 ( três)	8,00 - 11,00 m 11,00 - 14,00 m 14,00 - 17,00 m
SM - 12	02 ( dois)	11,50 - 14,50 m 14,50 - 17,50 m
SM - 13	02 ( dois)	7,00-10,00 m 10,00-13,00 m

### 3.4 PESQUISA DE JAZIDAS

#### 3.4.1 - Generalidades

Os trabalhos referentes à pesquisa de materiais a serem utilizados nas obras tiveram seu início a partir de um reconhecimento em campo, de modo a localizar e conferir os empréstimos existentes na área. Deve-se salientar que os estudos básicos existentes nortearam os trabalhos. Neste momento, levou-se em consideração duas variáveis importantes: qualidade e volume dos materiais detectados.

Assim sendo, pode-se identificar e estudar os seguintes empréstimos:

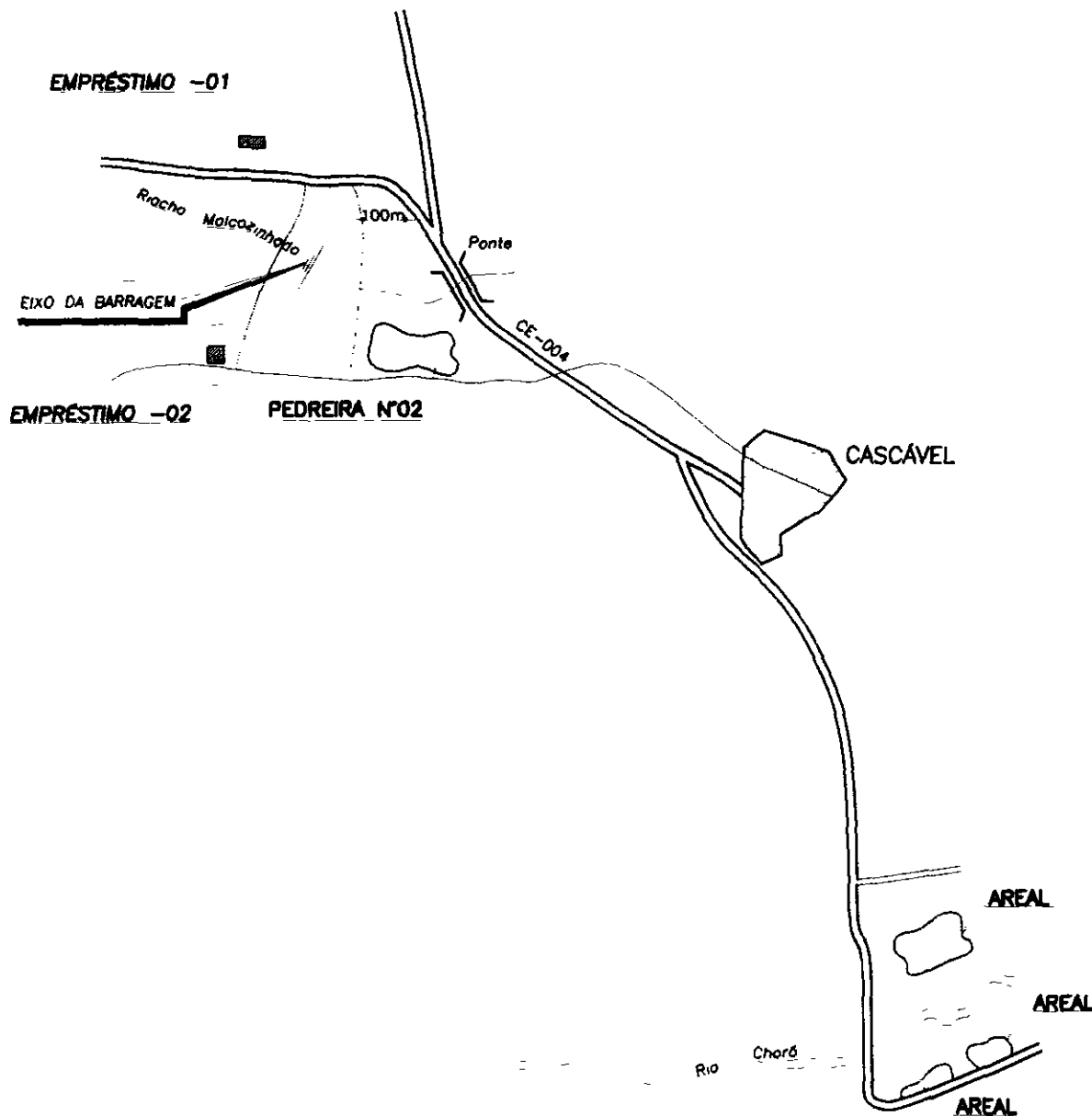
E1 EMPRÉSTIMO 1

E2 EMPRÉSTIMO 2

A1 AREAL

P1 PEDREIRA 1

O esquema a seguir ilustra o posicionamento dos empréstimos em relação ao eixo da barragem. A localização das jazidas é apresentada no desenho nº 04/04, do Anexo A.



LEGENDA  
 - - - - CAMINHO DE SERVIÇO

BARRAGEM MALCOZINHADO	01/02
	SEM ESCALA
KL - SERVIÇOS E ENGENHARIA LTDA. <b>KL</b>	

000035

### 3.4.2 - Jazidas de Solo (Empréstimo 1 e 2)

Para que houvesse uma boa abrangência nos estudos dos empréstimos, lançou-se uma malha quadrática com 100,00 m de lado, onde procedeu-se à abertura de poços a pá e picareta para coleta de materiais e posterior realização de ensaios de laboratório

Dentro de um afastamento econômico adequado do local da obra em estudo, foram identificados e caracterizados os materiais das áreas de empréstimo

Em cada poço de inspeção foi feita uma descrição dos materiais, identificando suas características e quantificando suas potencialidades e distância média de transporte, conforme já comentado

- Granulometria ( com e sem sedimentação ),
- Limites de “ Atterberg”,
- Ensaios de Compactação ( Proctor Normal sem reuso do material),
- Umidade Natural,
- Peso Específico Real,
- Permeabilidade com carga variável,
- Cisalhamento direto lento

A seguir resume-se as características das áreas potencialmente exploráveis

#### DADOS GERAIS DA JAZIDA E 1

Área total estudada	40 000,00m <sup>2</sup>
Número de furos realizados	12
Profundidade média dos furos	1,30 m
Volume total de material	52 000,00m <sup>3</sup>
Camada média de expurgo	0,20 m
Espessura média útil	1,10 m
Volume de material utilizável	44 000,00m <sup>3</sup>
Distância do eixo barrável	0,15 km

### DADOS GERAIS DA JAZIDA E 2

Area total estudada	147 000,00m <sup>2</sup>
Número de furos realizados	28
Profundidade média dos furos	2,60 m
Volume total de material	382 200,00m <sup>3</sup>
Camada média de expurgo	0,10 m
Espessura média útil	2,50 m
Volume de material utilizável	367 500,00m <sup>3</sup>
Distância do eixo barrável	0,8 km

### 3.4.3 - Jazidas de Areia (AREAL 1)

Da mesma forma com o ocorrido na jazida terrosa, o areal foi identificado e posteriormente estudado, onde se lançou uma malha de sondagens, ao longo do depósito

Amostras deste material também foram colhidas e encaminhadas ao laboratório para ensaios

A jazida em questão é do tipo comercial

### DADOS GERAIS DO AREAL A 1

Distância do areal ao eixo	15,0 km
----------------------------	---------

### 3.4.4 - Pedreira (P1)

A pedreira encontrada localiza-se a jusante do eixo barrável

As características levantadas da pedreira são

Extensão	160,00m
Largura	50 m
Altura a explorar	4,00 m

Volume explorável	32 000,00m <sup>3</sup>
Distância para o eixo	0,40 km
Classificação	Gnaisse

### 3.5 ENSAIOS DE LABORATÓRIO

Todos os ensaios de laboratório seguiram o preconizado pelas normas técnicas da ABNT

Os boletins que apresentam os resultados dos ensaios de laboratório encontram-se no Volume 2A – Estudos Geotécnicos – Anexos

De modo a facilitar a visualização, elaborou-se quadros resumos referentes a cada ensaio, os quais são apresentados a seguir

- Jazida de Solos

Foram coletadas 23(vinte e três) amostras para que fossem submetidas a ensaios normais de caracterização, constando de determinação dos Limites de Atterberg (LL e LP), Granulometria por peneiramento e com sedimentação, Compactação Proctor Normal, Permeabilidade com carga variável e Cisalhamento Direto Lento

Os ensaios de Granulometria com Sedimentação, Permeabilidade com Carga Variável e Cisalhamento Direto Lento não foram executados para todas as amostras coletadas

O quadro 3.6 e 3.7 apresentam os resumos gerais dos ensaios de caracterização para as jazidas J1 e J2, e o quadro 3.8 os dados dos ensaios de cisalhamento direto lento

- Jazida de Areia

Foram 04 ( quatro ) as amostras coletadas na jazida de areia A 1 e submetidas a Análise Granulométrica por Peneiramento e Permeabilidade com Carga Constante

O quadro 3.9 apresenta os resultados da análise granulométrica e o 3.10 resume os valores obtidos para o ensaio de Permeabilidade com Carga Constante

- Pedreira

Nas pedreiras P 1 foram realizados 03 ( três ) ensaios tipo “ Los Angeles”, de acordo com o apresentado no quadro 3 12, que resume os valores obtidos nos ensaios

- Eixo

É interessante notar que foram efetuadas 2 (duas) análises do solo proveniente do eixo da barragem para posterior estudo de viabilidade de seu uso Os resultados são apresentados no quadro 3 11

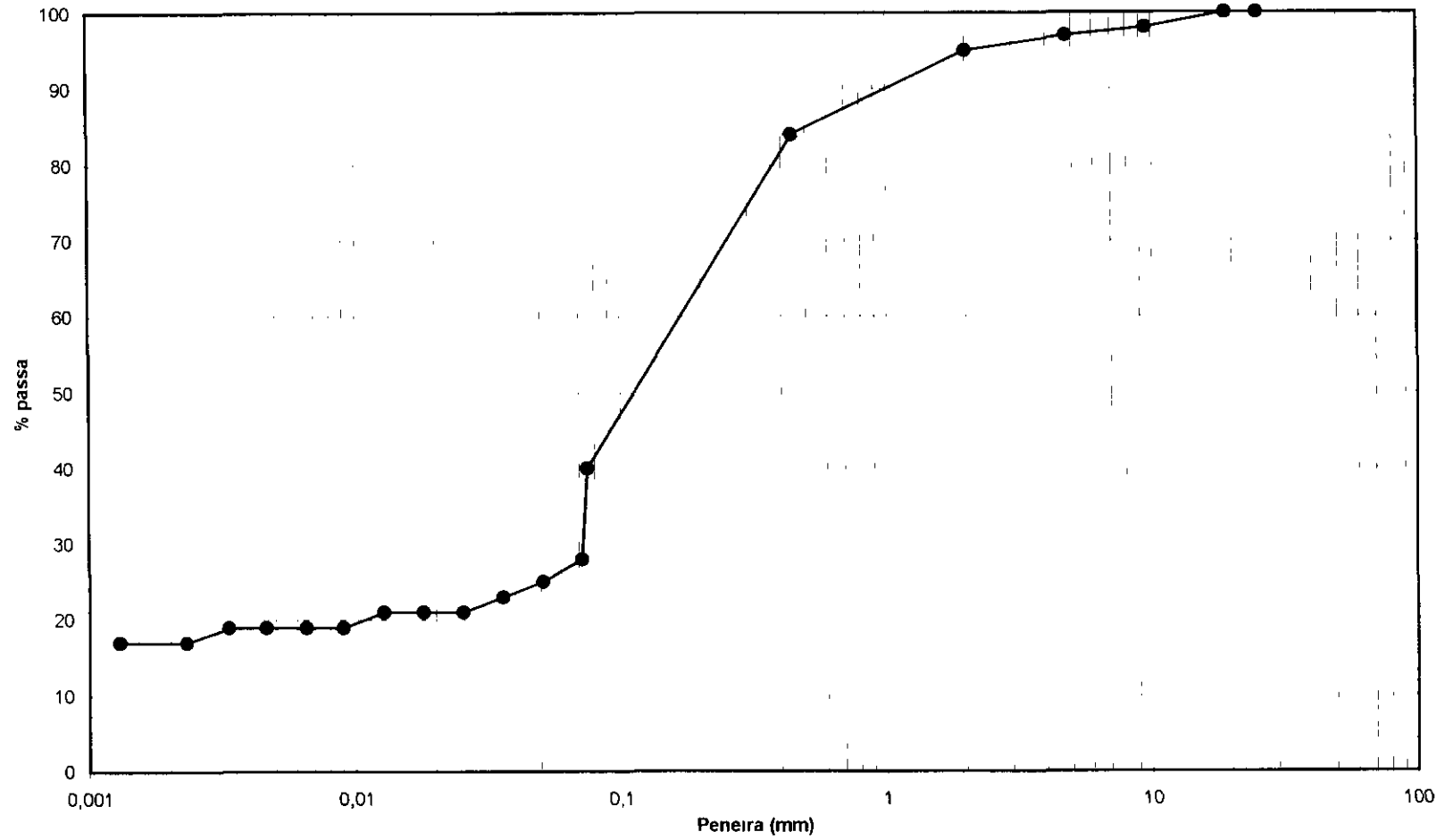
- Sangradouro

Durante a campanha complementar de Estudos Geotécnicos, foram analisadas 3(três) amostras de material proveniente da área do sangradouro, para estudo de viabilidade de seu uso Os resultados são apresentados no quadro 3 13





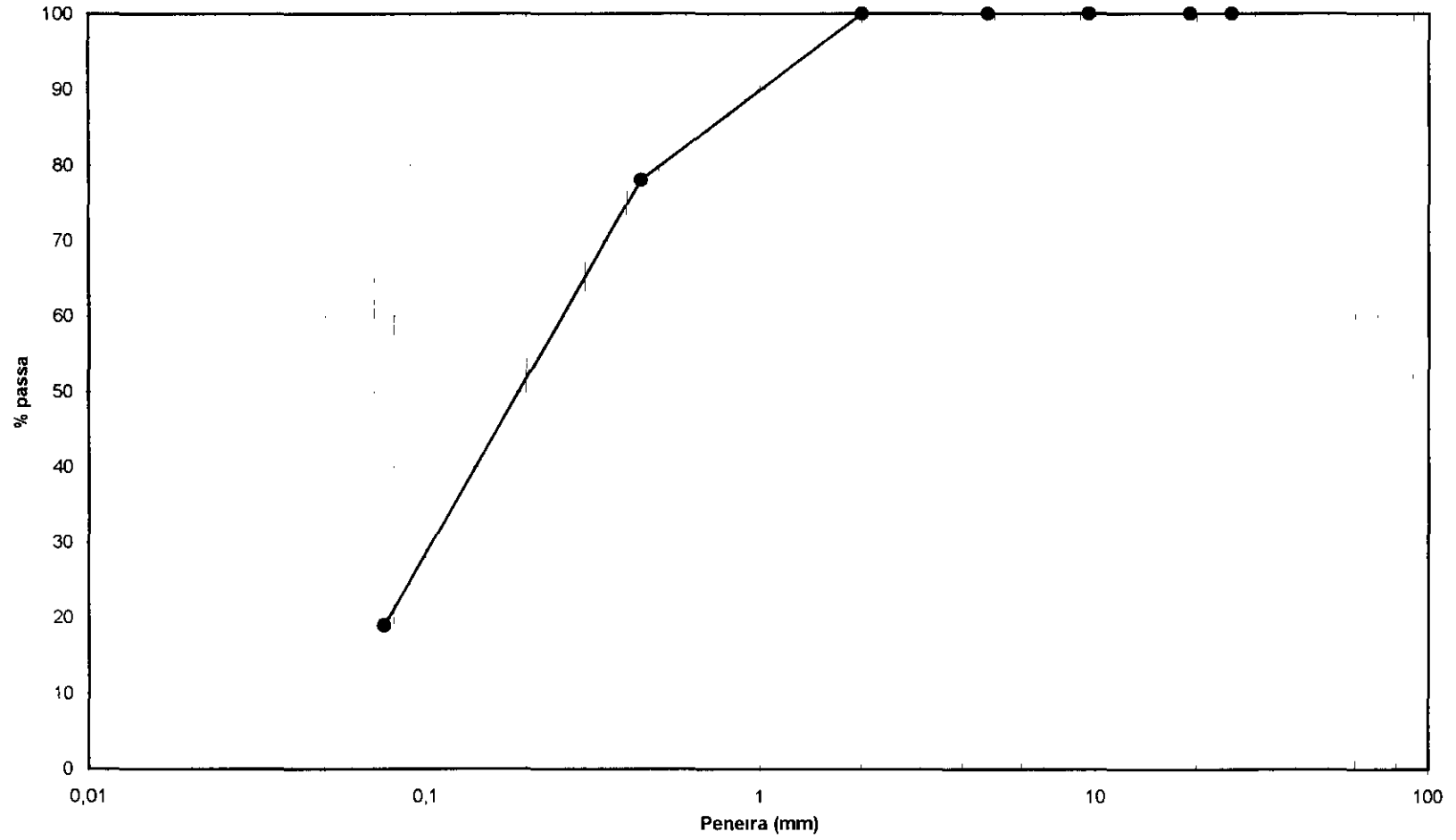
**CURVA GRANULOMÉTRICA**  
**Barragem Mal Cozinhado**  
**Jazida 1 - Amostra 1**



000041



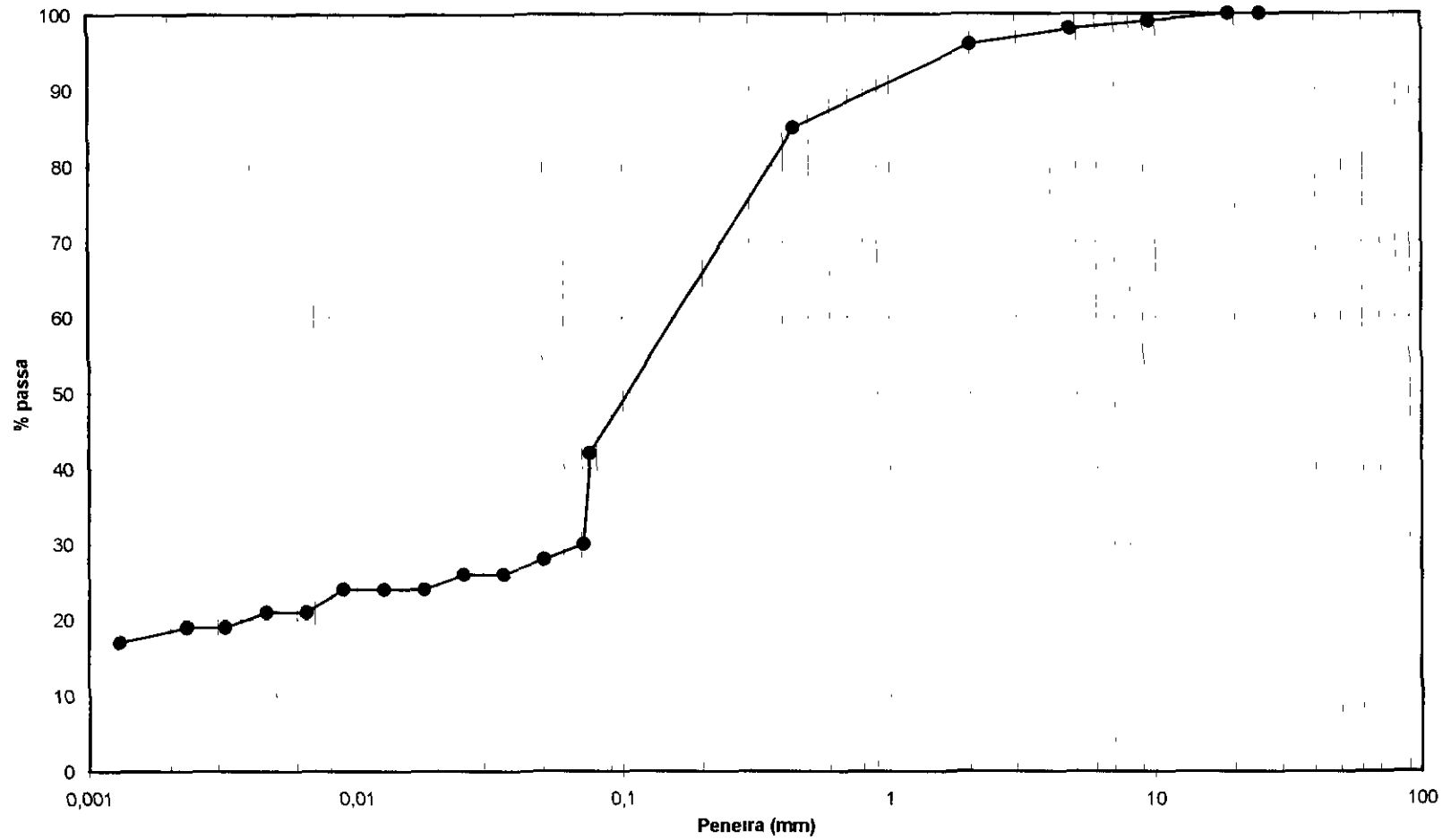
**CURVA GRANULOMÉTRICA**  
**Barragem Mal Cozinhado**  
**Jazida 1 - Amostra 2**



000042



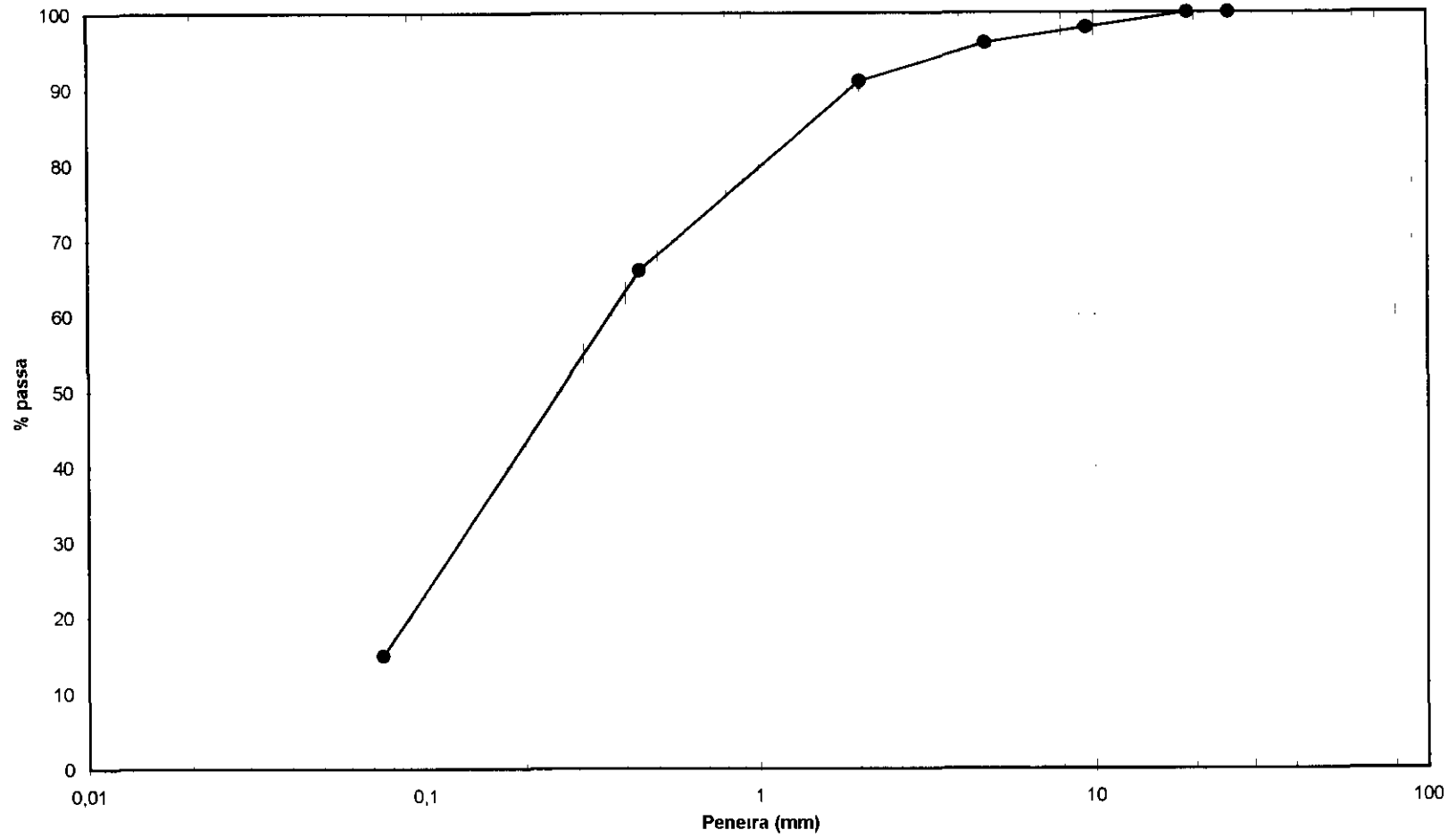
CURVA GRANULOMÉTRICA  
Barragem Mal Cozinhado  
Jazida 1 - Amostra 3



000043



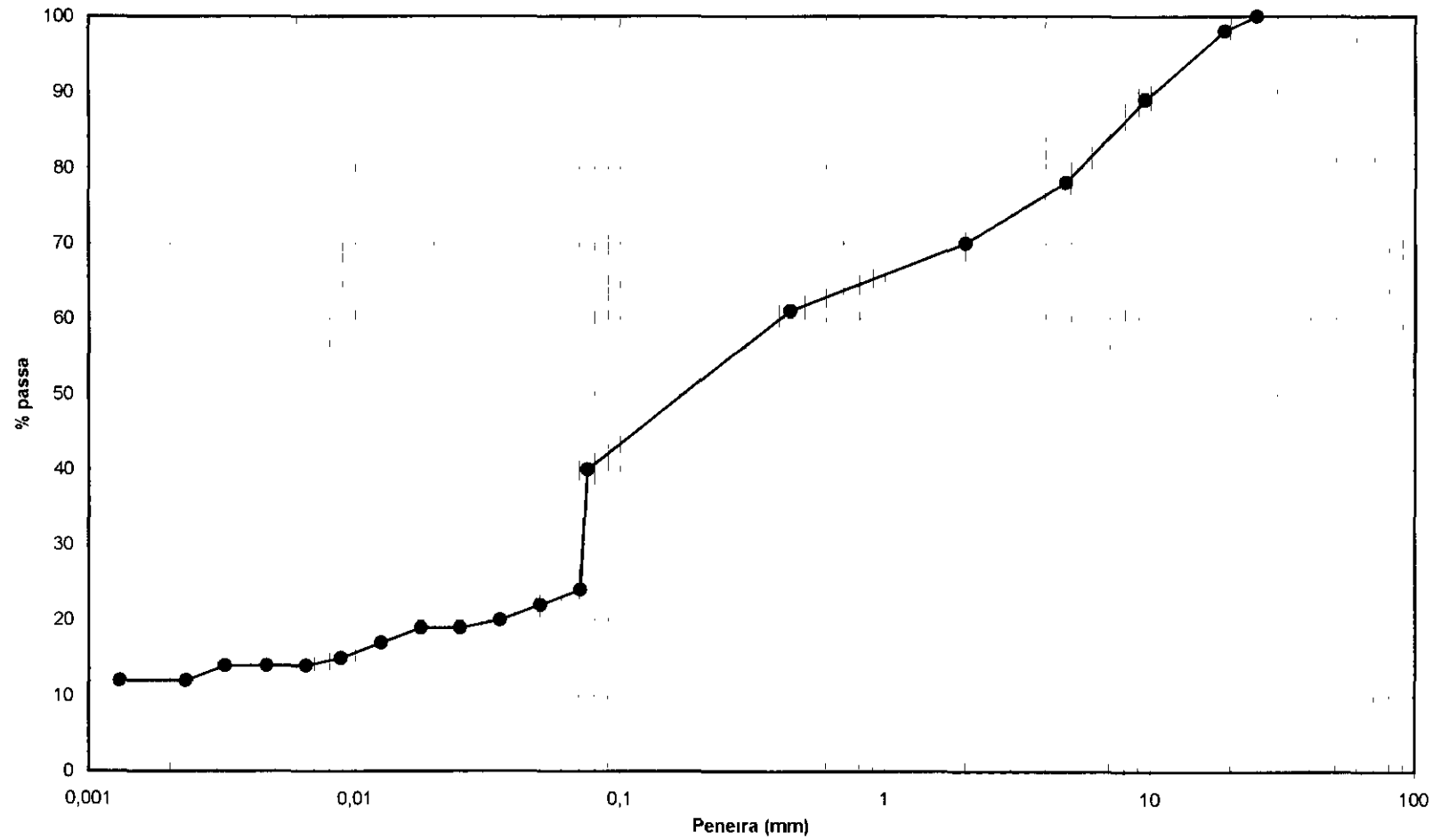
**CURVA GRANULOMÉTRICA**  
**Barragem Mal Cozinhado**  
**Jazida 1 - Amostra 4**



000044



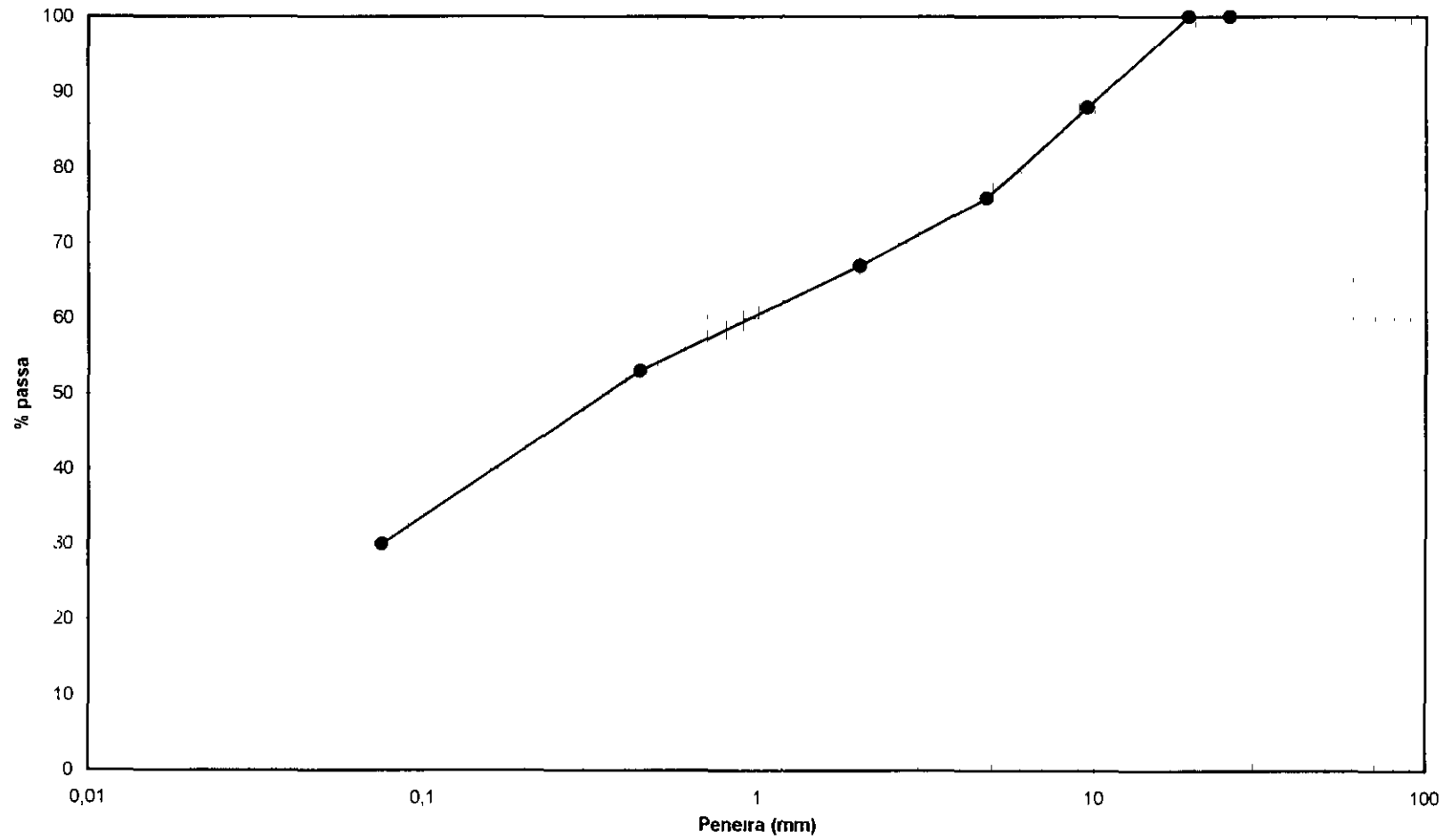
CURVA GRANULOMÉTRICA  
Barragem Mal Cozinhado  
Jazida 1 - Amostra 5



000145



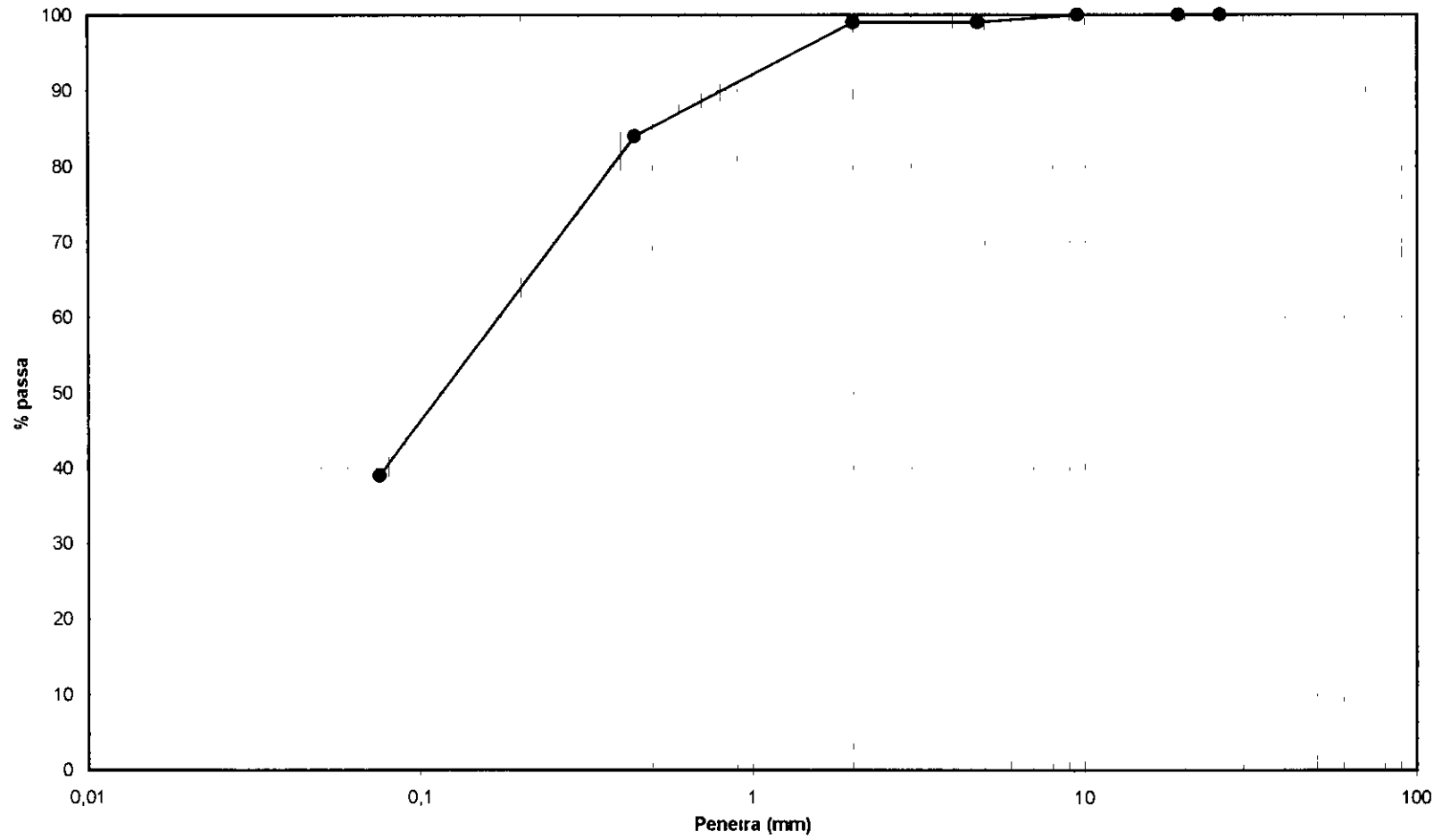
**CURVA GRANULOMÉTRICA**  
Barragem Mal Cozinhado  
Jazida 1 - Amostra 6



000.40



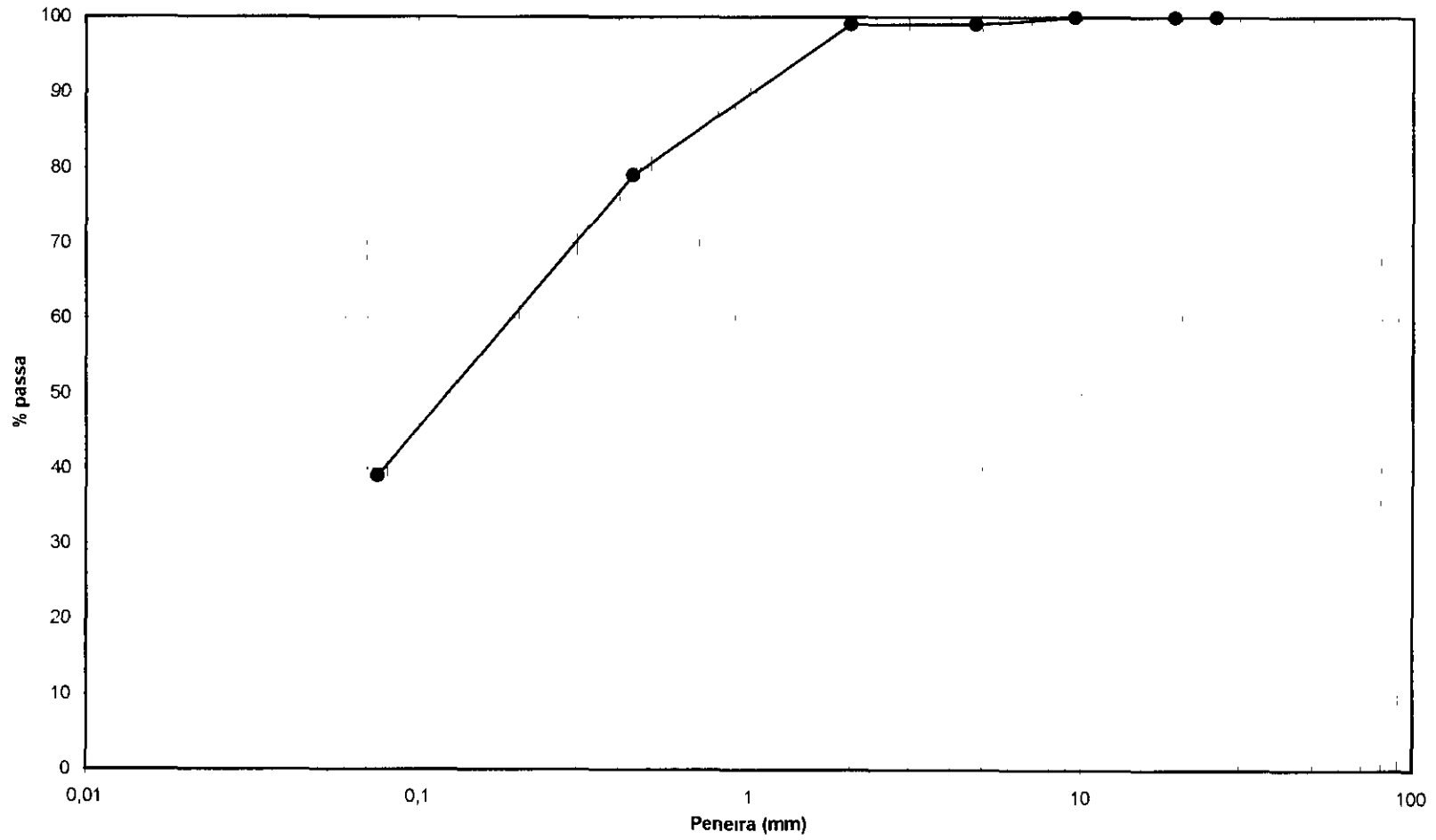
**CURVA GRANULOMÉTRICA**  
**Barragem Mal Cozinhado**  
**Jazida 1 - Amostra 7**



000047



CURVA GRANULOMÉTRICA  
Barragem Mal Cozinhado  
Jazida 1 - Amostra 8

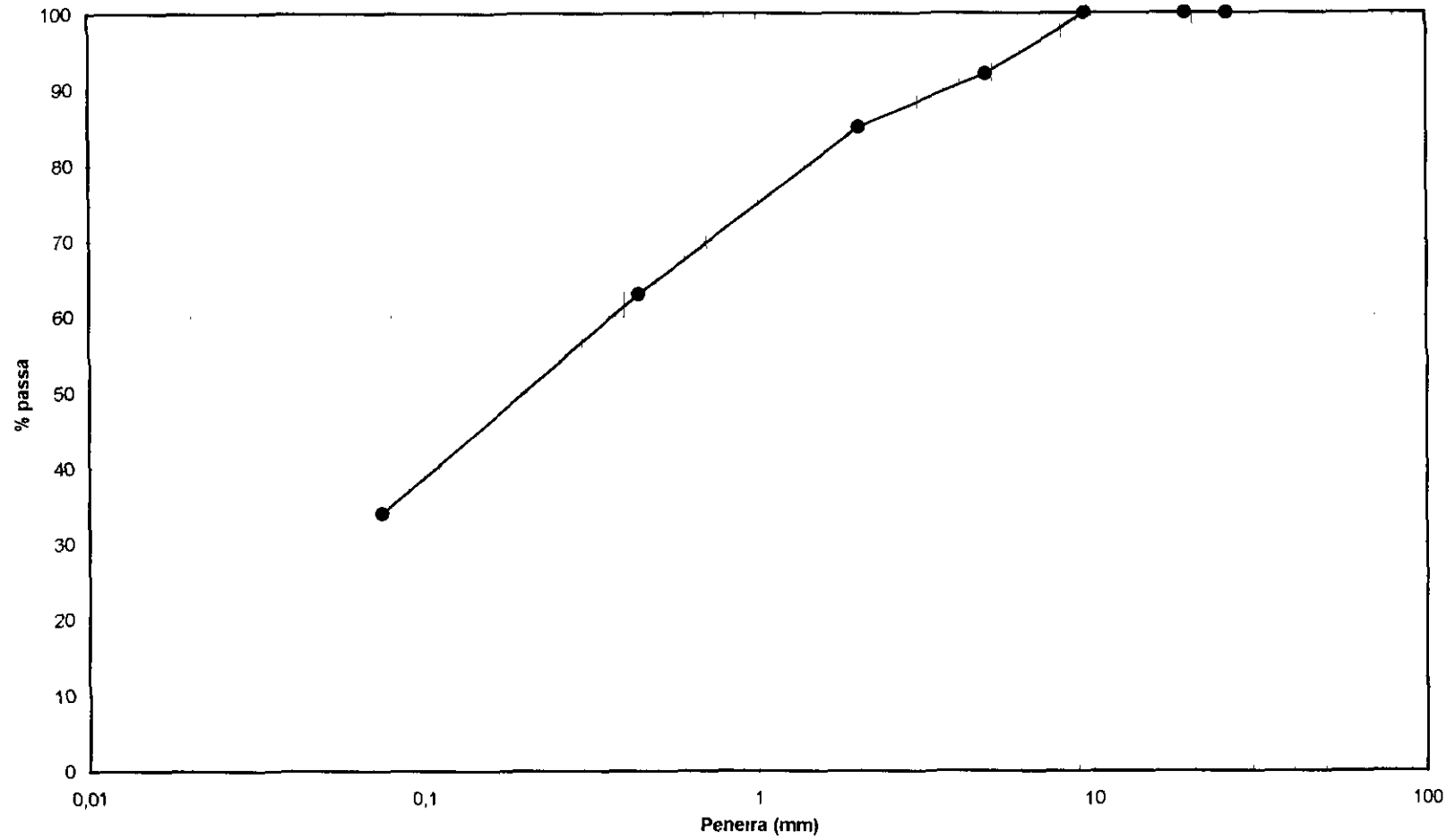


000048





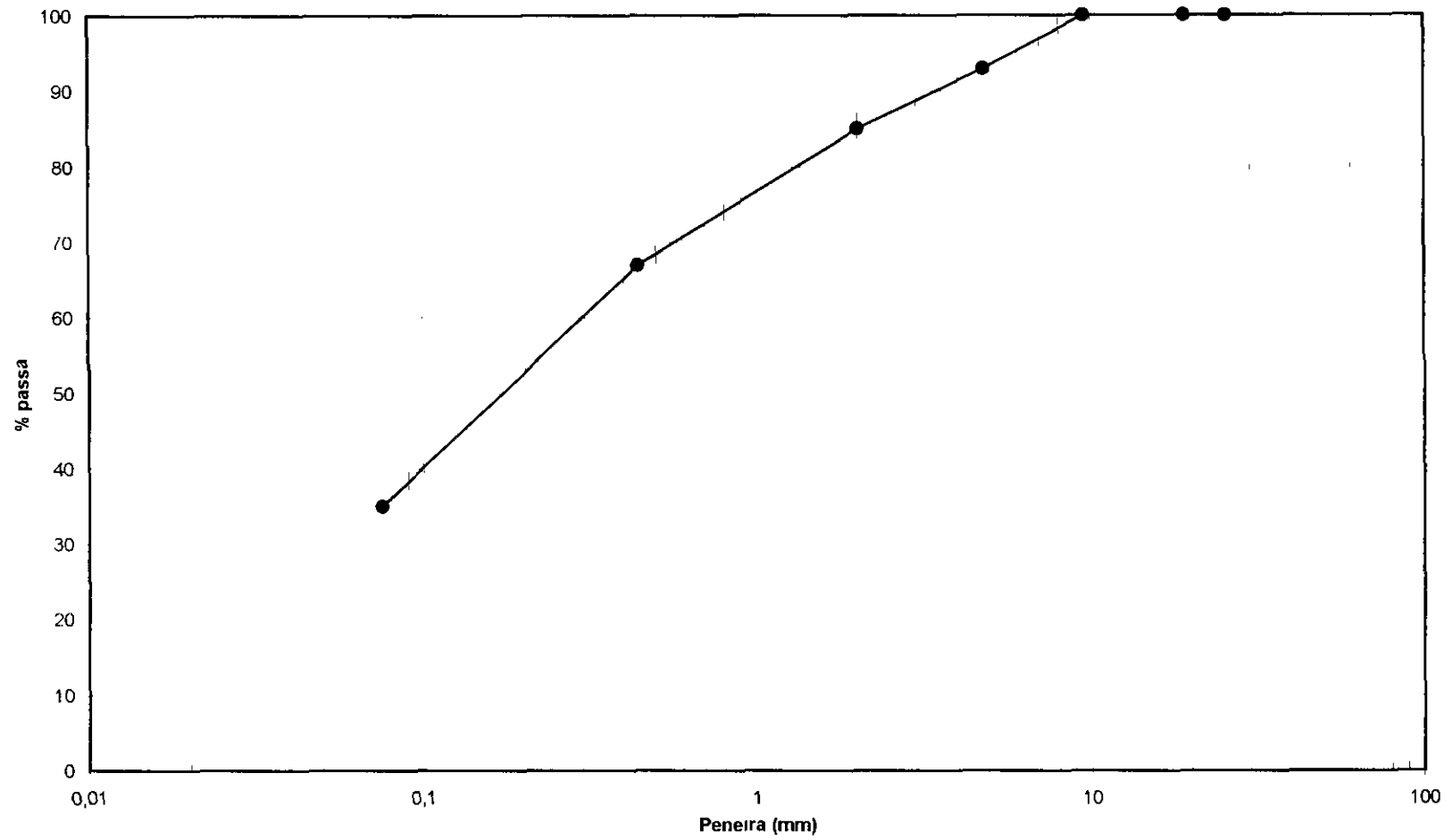
**CURVA GRANULOMETRICA**  
**Barragem Mal Cozinhado**  
**Jazida 1 - Amostra 9**



000149



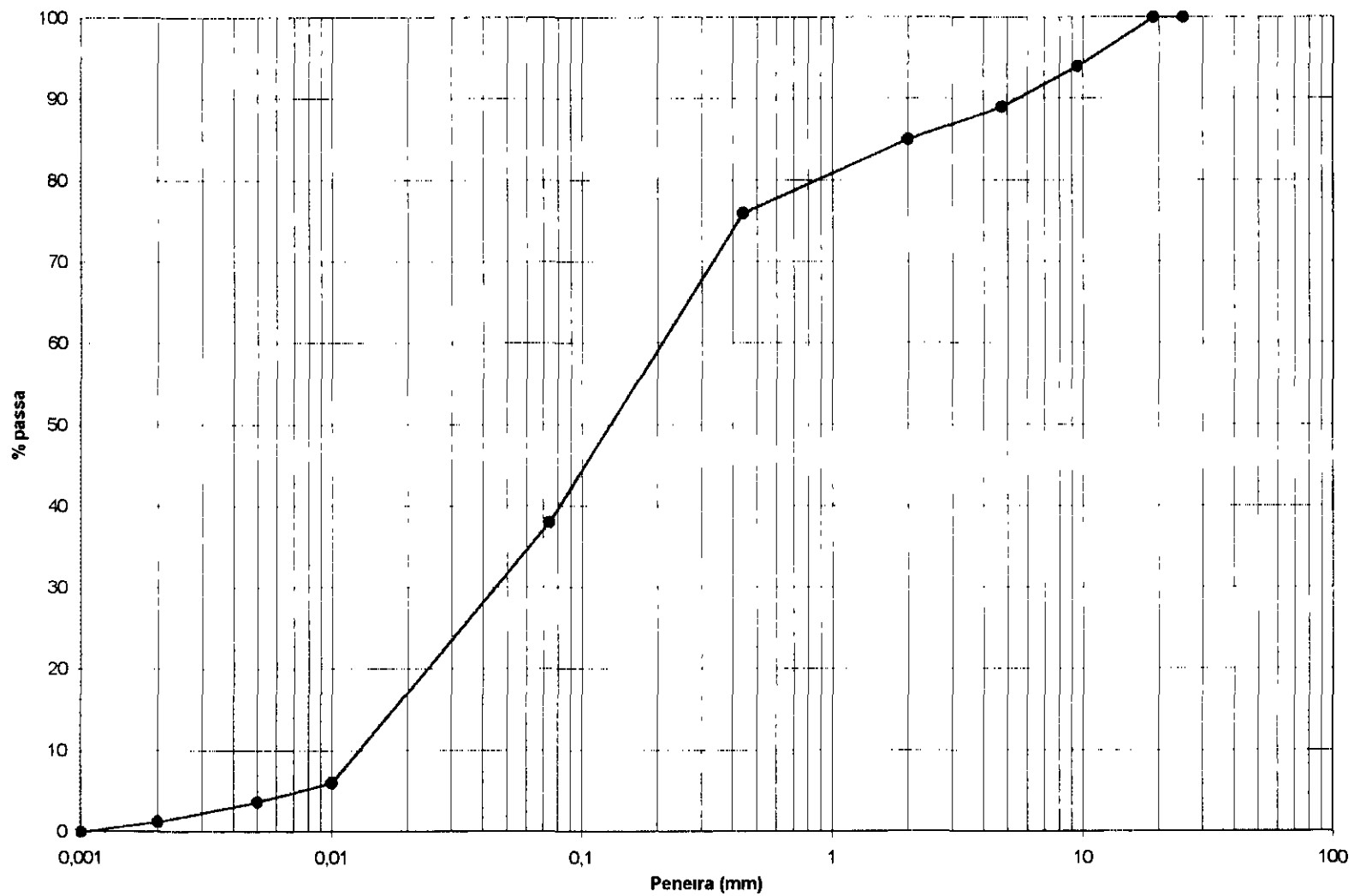
**CURVA GRANULOMÉTRICA**  
**Barragem Mal Cozinhado**  
**Jazida 1 - Amostra 10**



009050



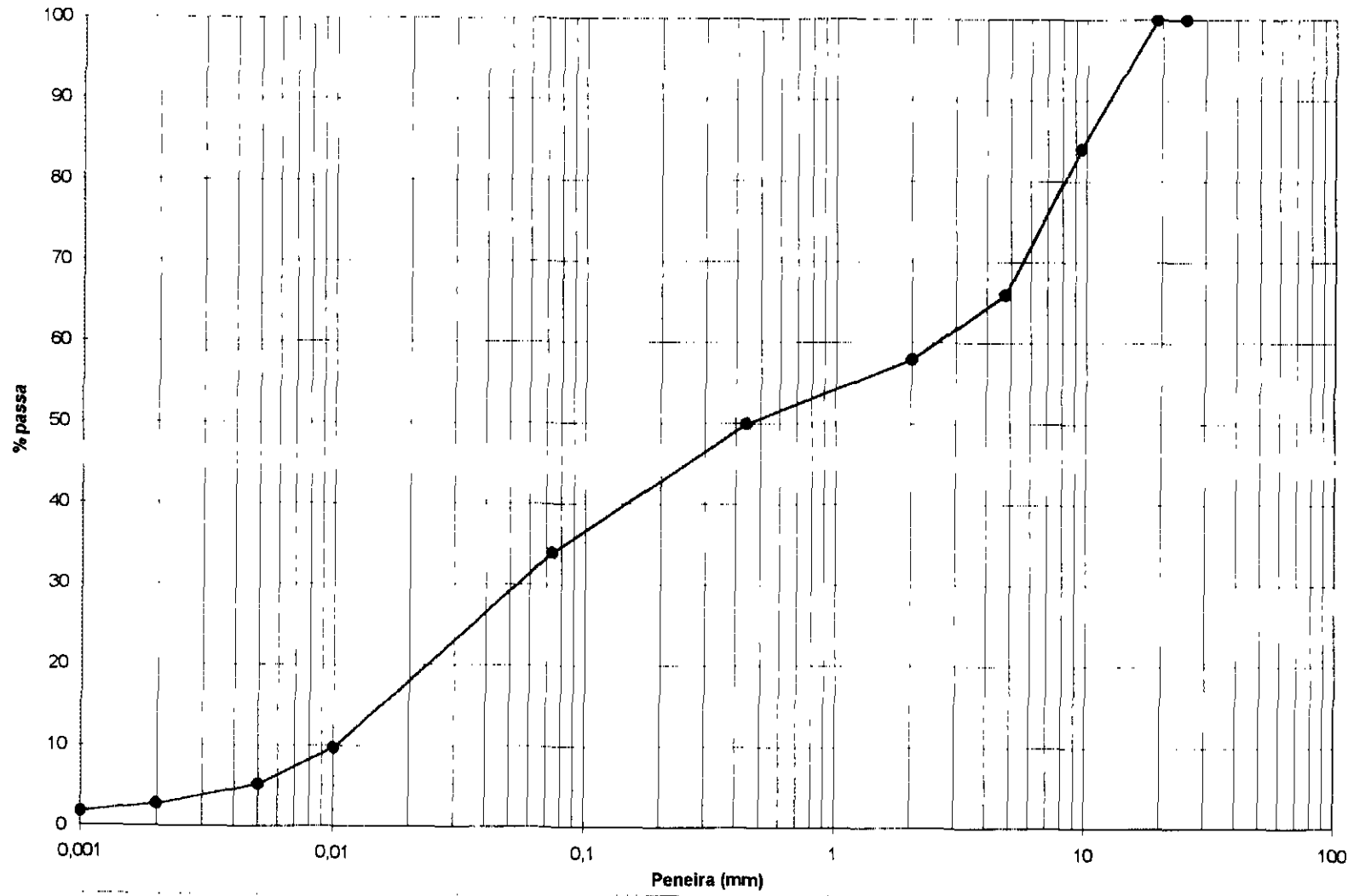
**CURVA GRANULOMÉTRICA**  
**Barragem Mal Cozinhado**  
**Jazida 1 - Amostra 11**



00051



**CURVA GRANULOMÉTRICA**  
**Barragem Mal Cozinhado**  
**Jazida 1 - Amostra 12**



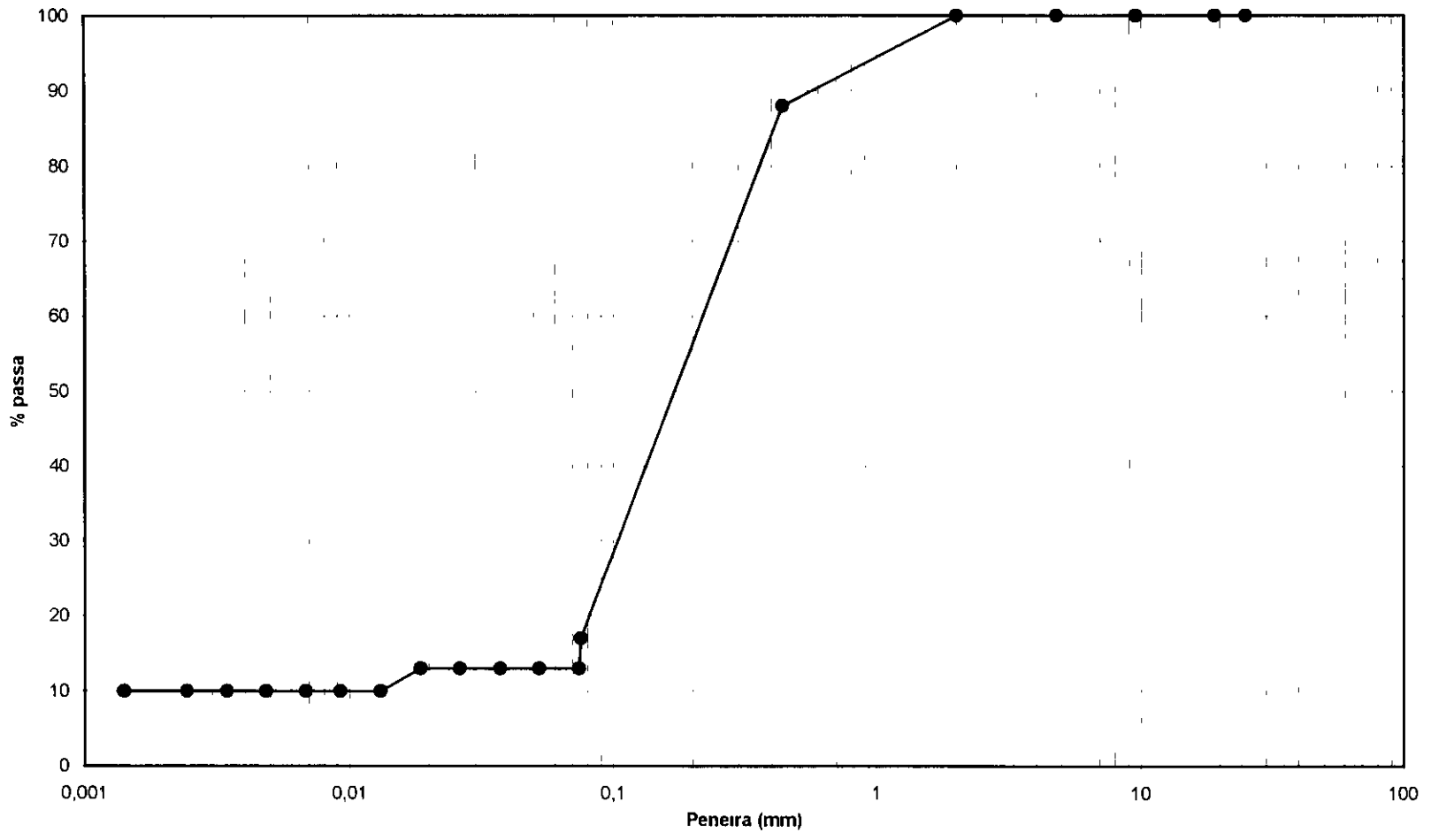
000102



**QUADRO 3.7**  
**ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO - EMPRÉSTIMO 2**

FURO Nº	PROF (m)	y real Particula	K (cm/s)	GRANULOMETRIA ( % QUE PASSA)										PLASTICIDADE			COMPACTAÇÃO		CLASSIFICAÇÃO (USC)		
				PENEIRAMENTO								SEDIMENTAÇÃO				LL	LP	IP		y seco Maximo (g/cm3)	hot (%)
				2"	1"	3/4"	3/8 "	Nº4	Nº 10	Nº 40	Nº200	-	-	-	-						
				50.8 mm	25.4 mm	19.1 mm	9.5 mm	4.8 mm	2.0 mm	0.42 mm	0.075 mm	0.01 mm	0.005 mm	0.002 mm	0.001 mm						
<b>EMP Nº 02</b>																					
01	1,90	2,66	5,87 X 10 <sup>-5</sup>	100	100	100	100	100	88	17	10	10	10	10	NL	NP		1,810	10,2	SM	
03	3,00			100	100	100	100	100	68	23					25	9	16	1,840	10,4	SC	
04	1,80			100	100	100	100	100	78	19					24	6	18	1,865	10,4	SC	
05	2,10			100	100	100	100	100	81	22					NL	NP		1,885	9,7	SM	
06	2,00	2,66	5,06 X 10 <sup>-5</sup>	100	100	100	100	99	89	57	36	31	31	29	NL	NP		1,900	9,3	ML	
07	1,90			100	100	100	100	100	81	20					NL	NP		1,840	11,7	SM	
08	1,70	2,658	5,20 X 10 <sup>-5</sup>	100	100	100	100	100	85	15	0	0	0	0	NL	NP		1,955	7,6	SM	
09	3,00	2,650	4,90 X 10 <sup>-5</sup>	100	100	100	100	100	91	24	0	0	0	0	17	3	14	1,950	7,6	SC	
10	2,80			100	100	88	74	67	54	29										SC	
12	2,80			100	100	100	100	100	78	18										SC	
14	2,80			100	100	100	100	100	80	11										SC	
<b>MÉDIA</b>																					
<b>Desvio Padrão</b>																					
<b>Valor Máximo</b>																					
<b>Valor mínimo</b>																					

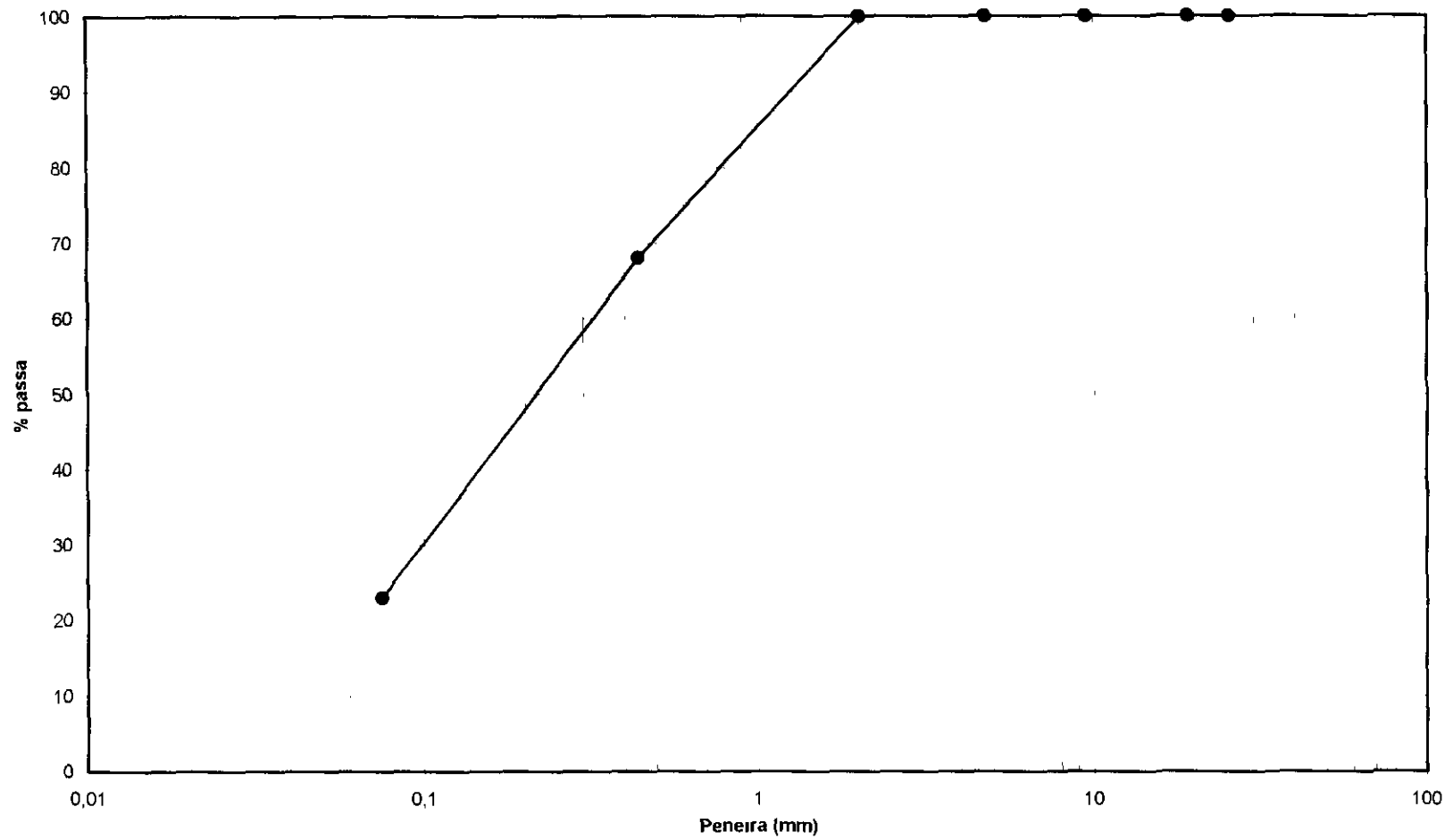
**CURVA GRANULOMÉTRICA**  
**Barragem Mal Cozinhado**  
**Jazida 2 - Amostra 1**



00001



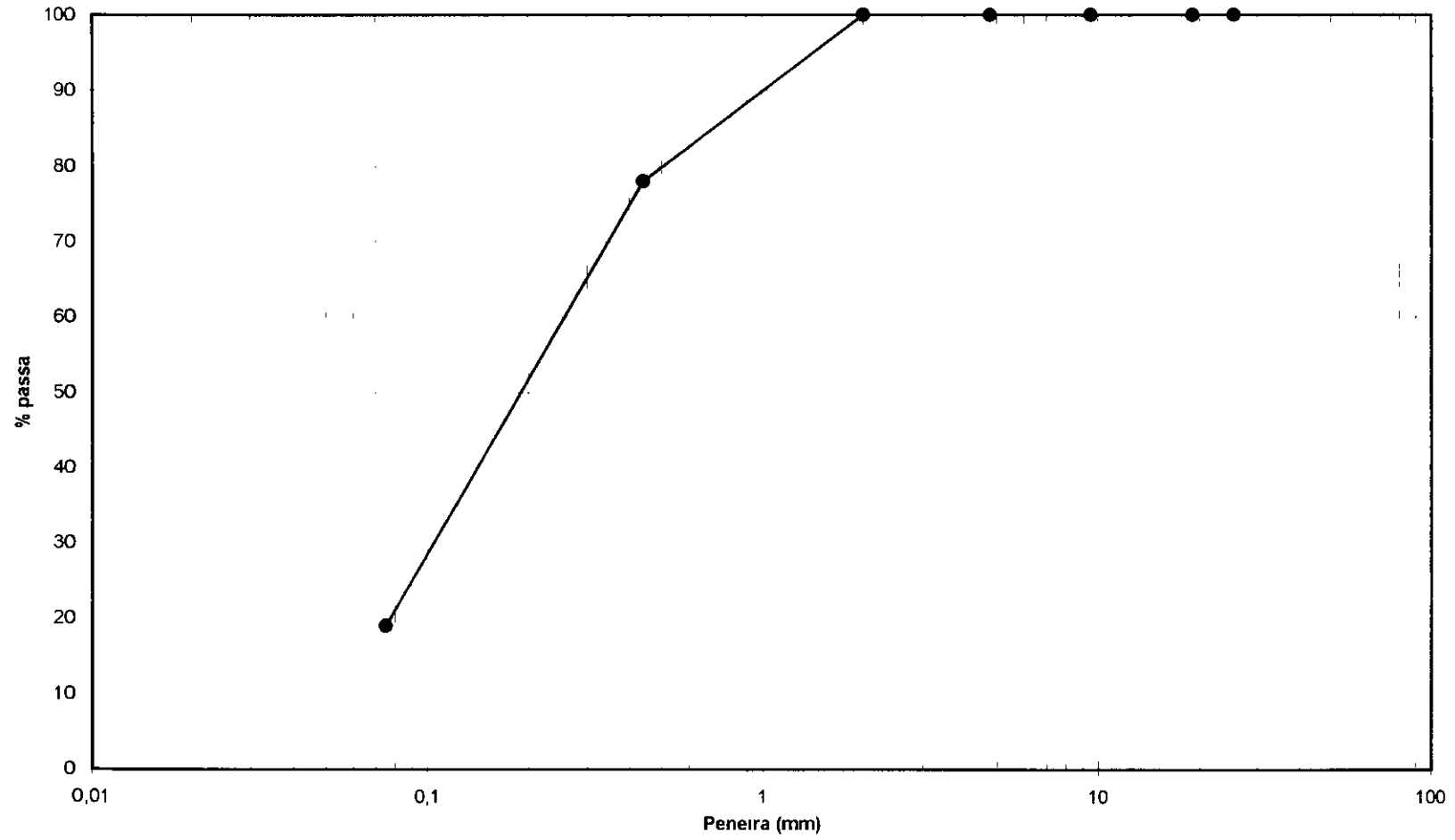
**CURVA GRANULOMÉTRICA**  
Barragem Mal Cozinhado  
Jazida 2 - Amostra 3



000.00



**CURVA GRANULOMETRICA**  
**Barragem Mal Cozinhado**  
**Jazida 2 - Amostra 4**

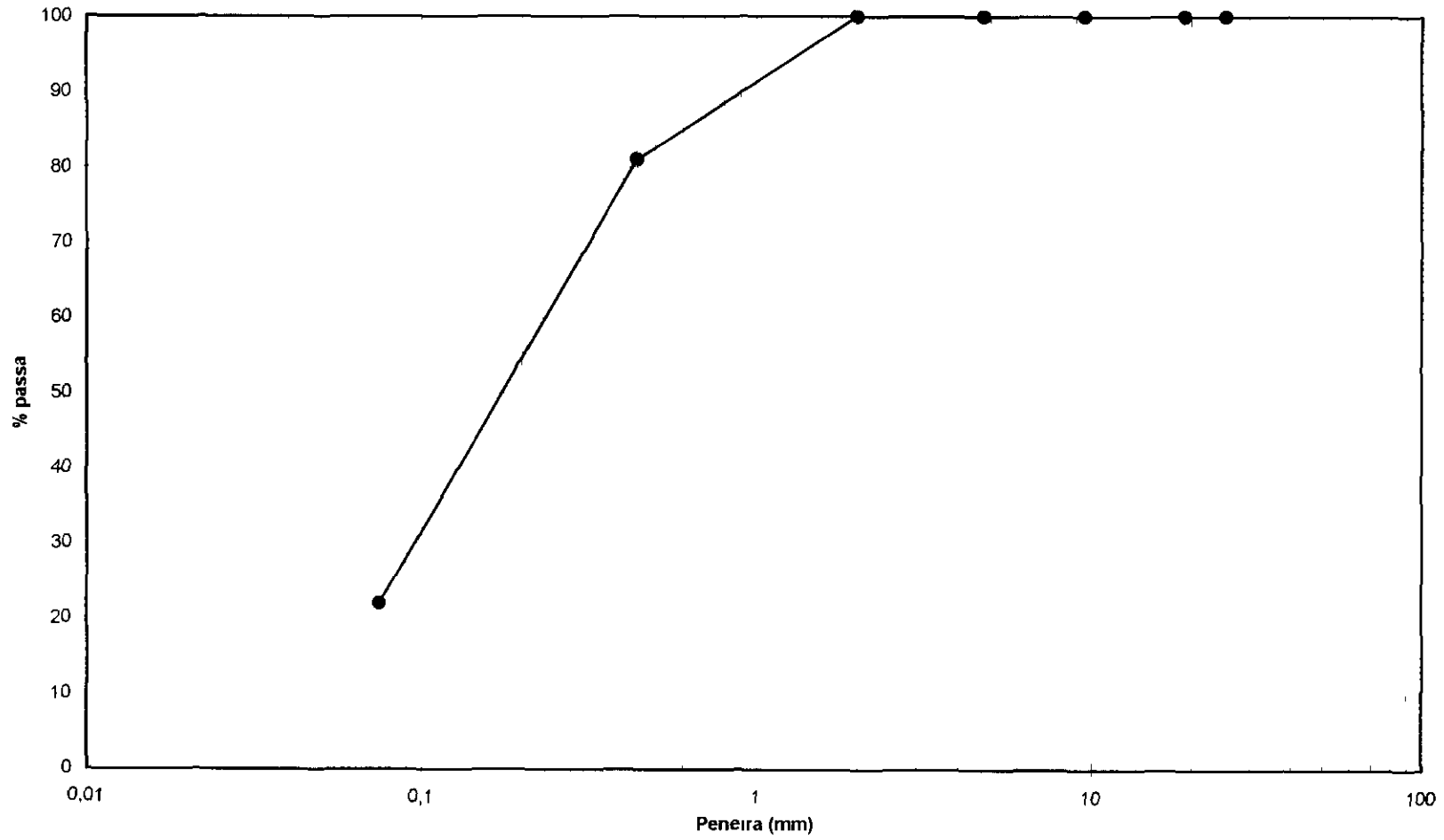


00000





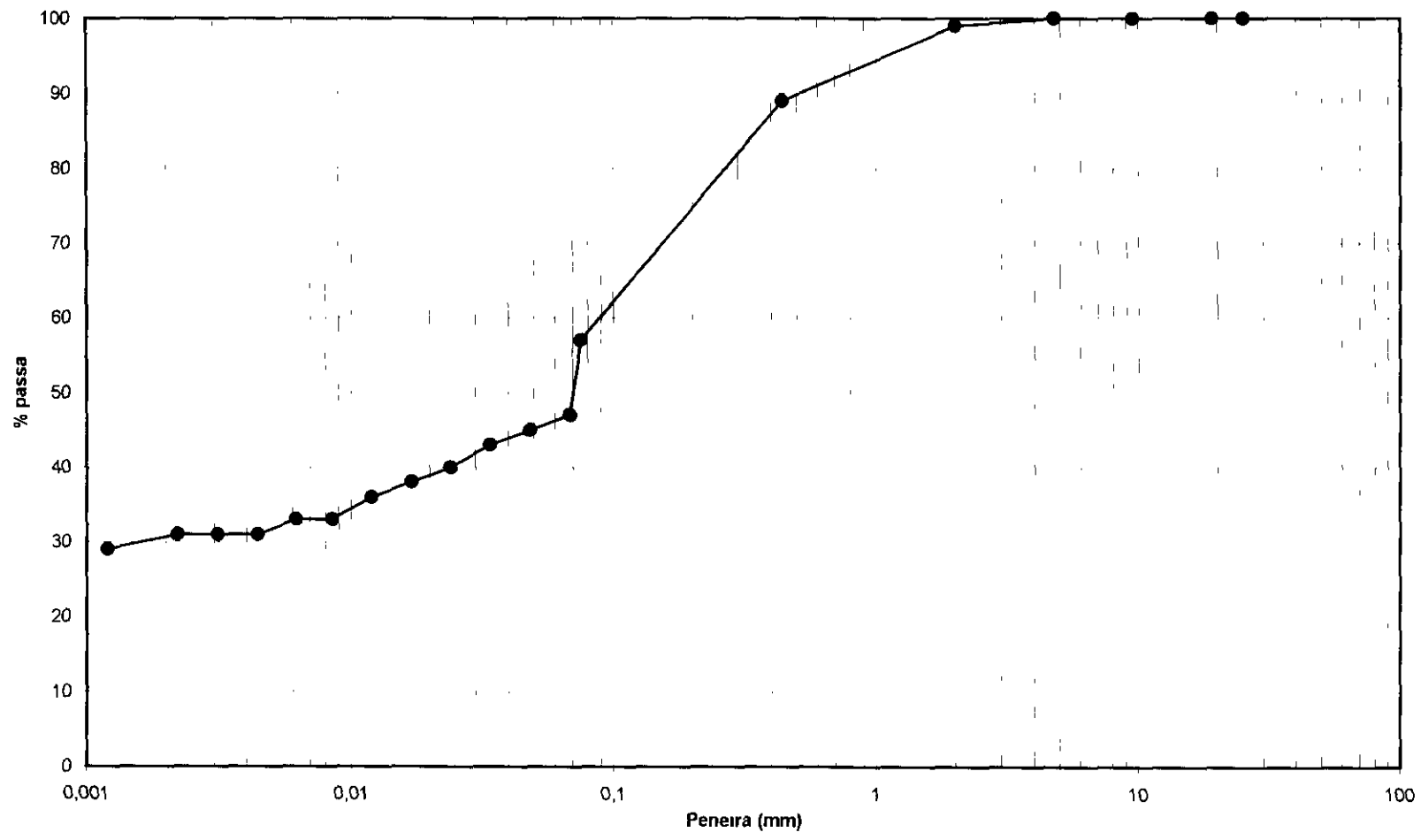
**CURVA GRANULOMÉTRICA**  
**Barragem Mal Cozinhado**  
**Jazida 2 - Amostra 5**



001.57



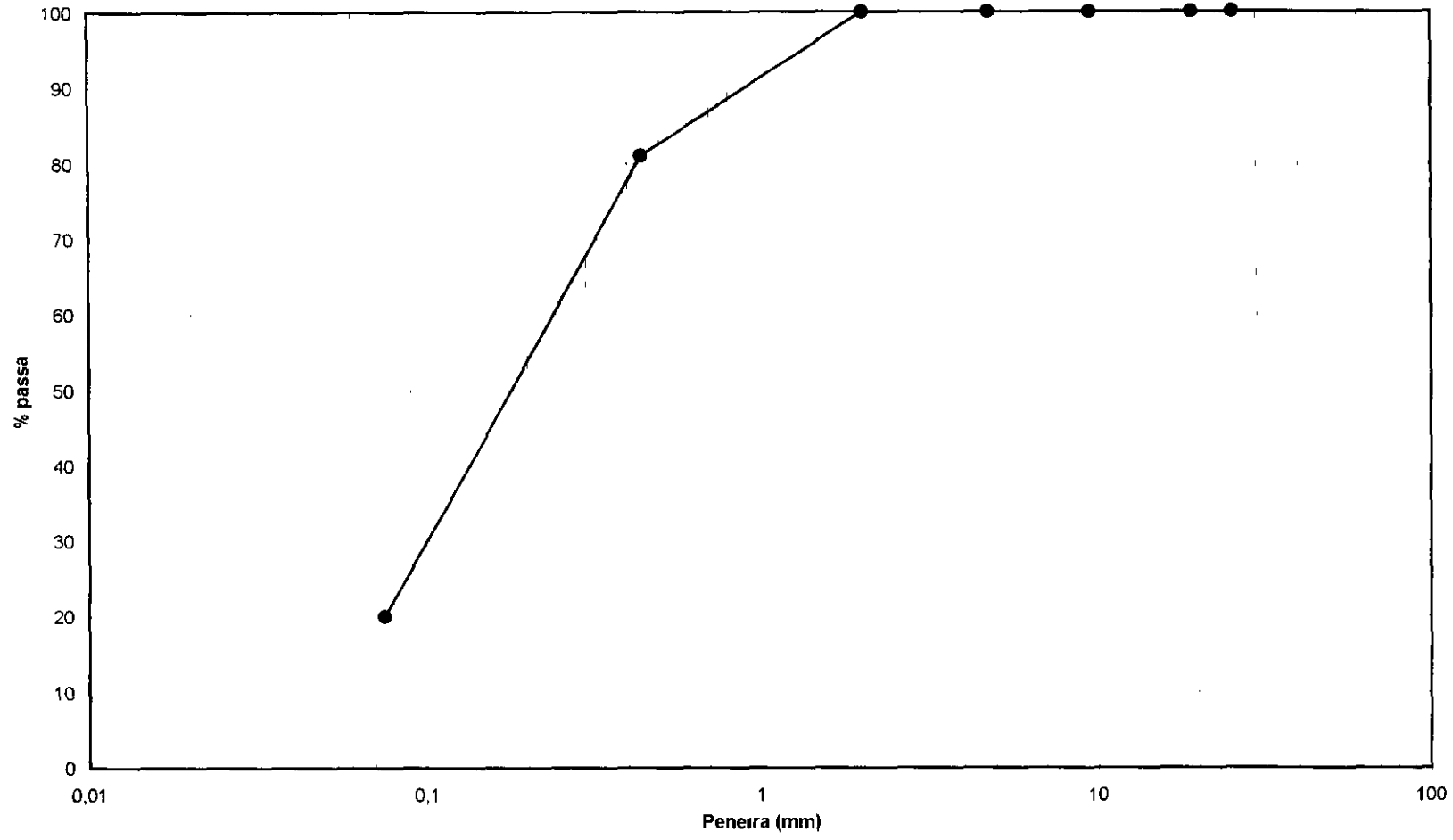
**CURVA GRANULOMÉTRICA**  
**Barragem Mal Cozinhado**  
**Jazida 2 - Amostra 6**



000108



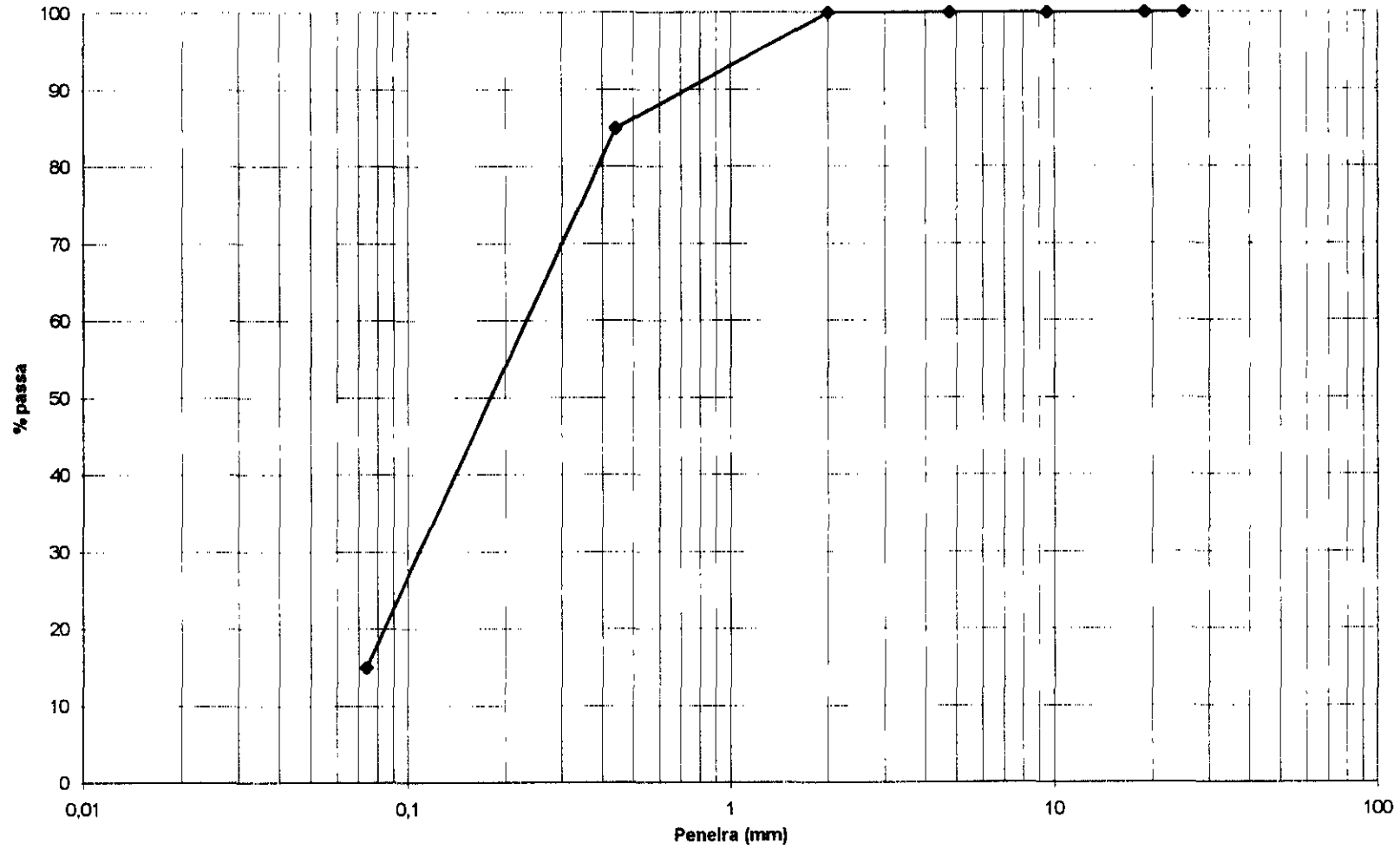
**CURVA GRANULOMÉTRICA**  
**Barragem Mal Cozinhado**  
**Jazida 2 - Amostra 7**



00008

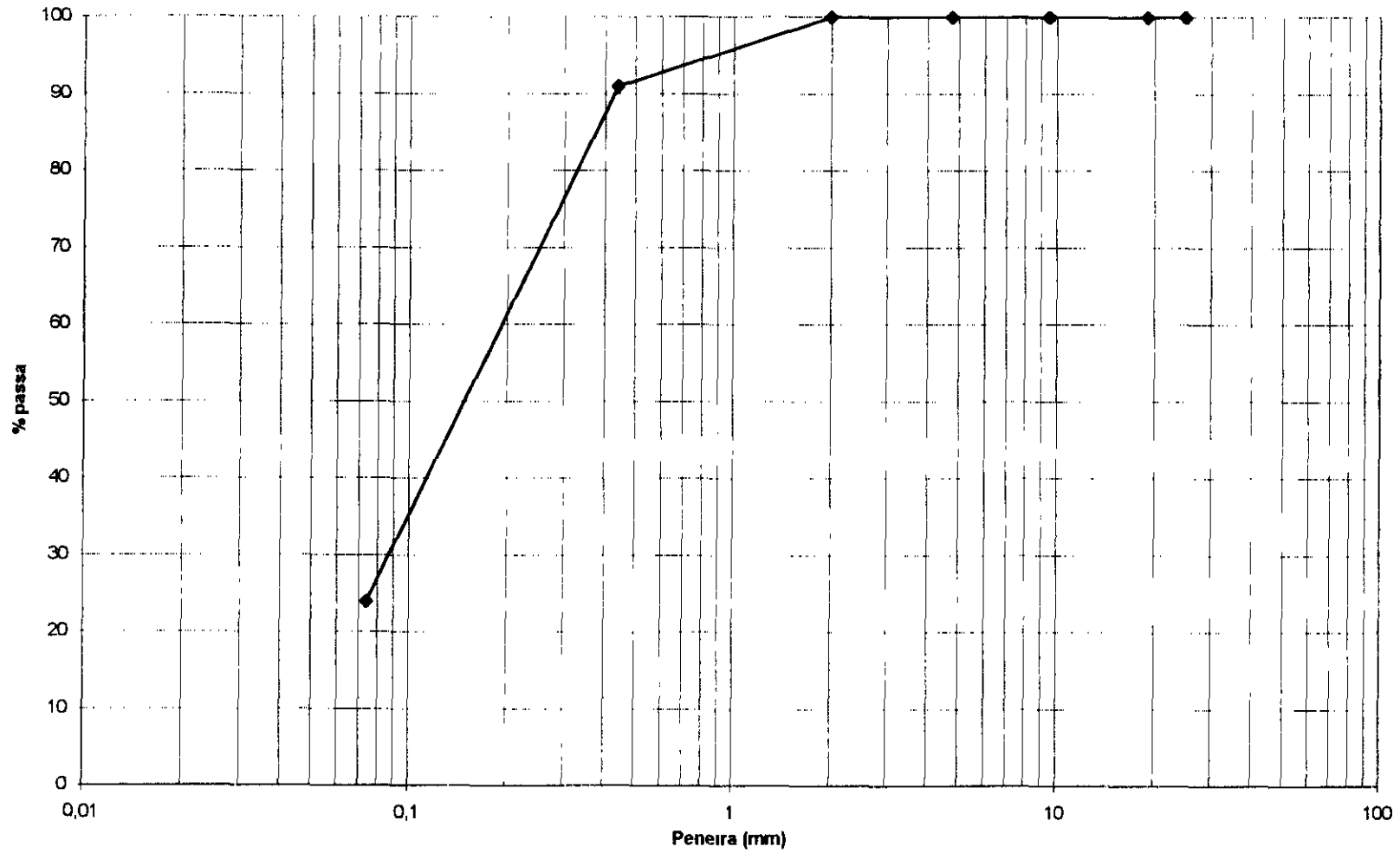


**CURVA GRANULOMÉTRICA**  
**Barragem Mal Cozinhado**  
**Jazida 2 - Amostra 8**



000.00

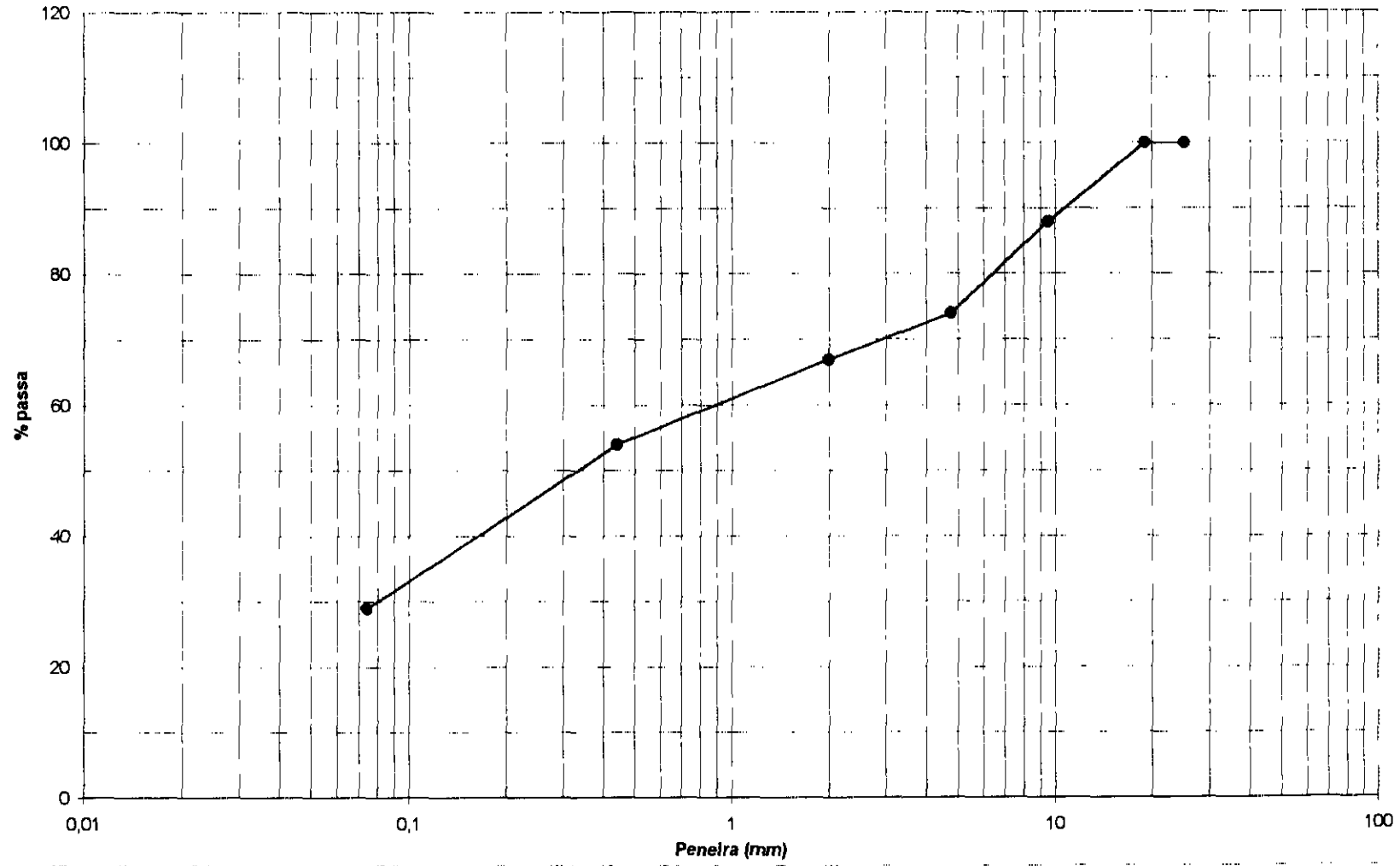
**CURVA GRANULOMÉTRICA**  
**Barragem Mal Cozinhado**  
**Jazida 2 - Amostra 9**



000.81



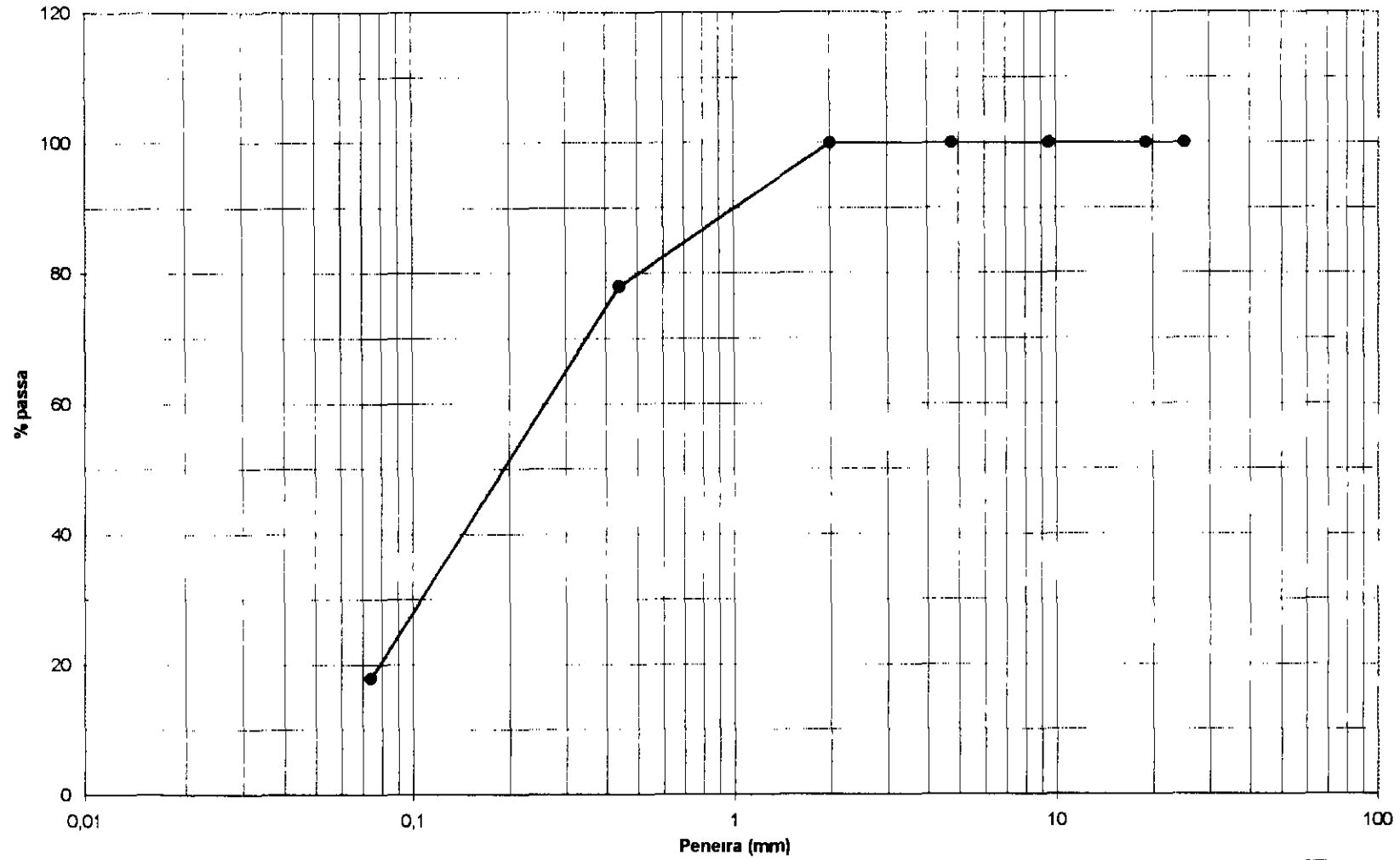
**CURVA GRANULOMÉTRICA**  
**Barragem Mal Cozinhado**  
**Empréstimo 2 - Amostra 10**



00102



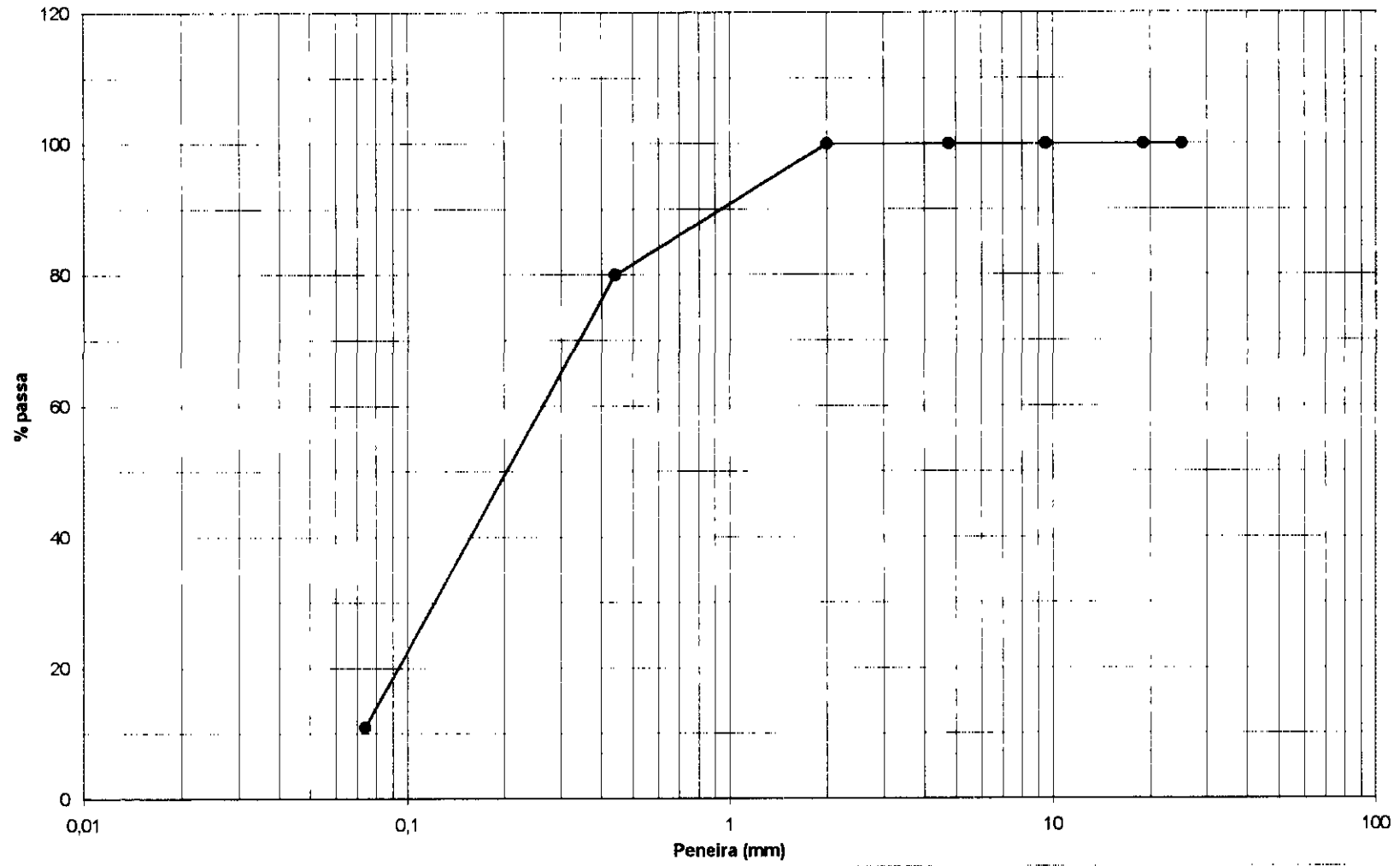
**CURVA GRANULOMÉTRICA**  
**Barragem Mal Cozinhado**  
**Empréstimo 2 - Amostra 12**



000003



**CURVA GRANULOMÉTRICA**  
**Barragem Mal Cozinhado**  
**Empréstimo 2 - Amostra 14**



000004



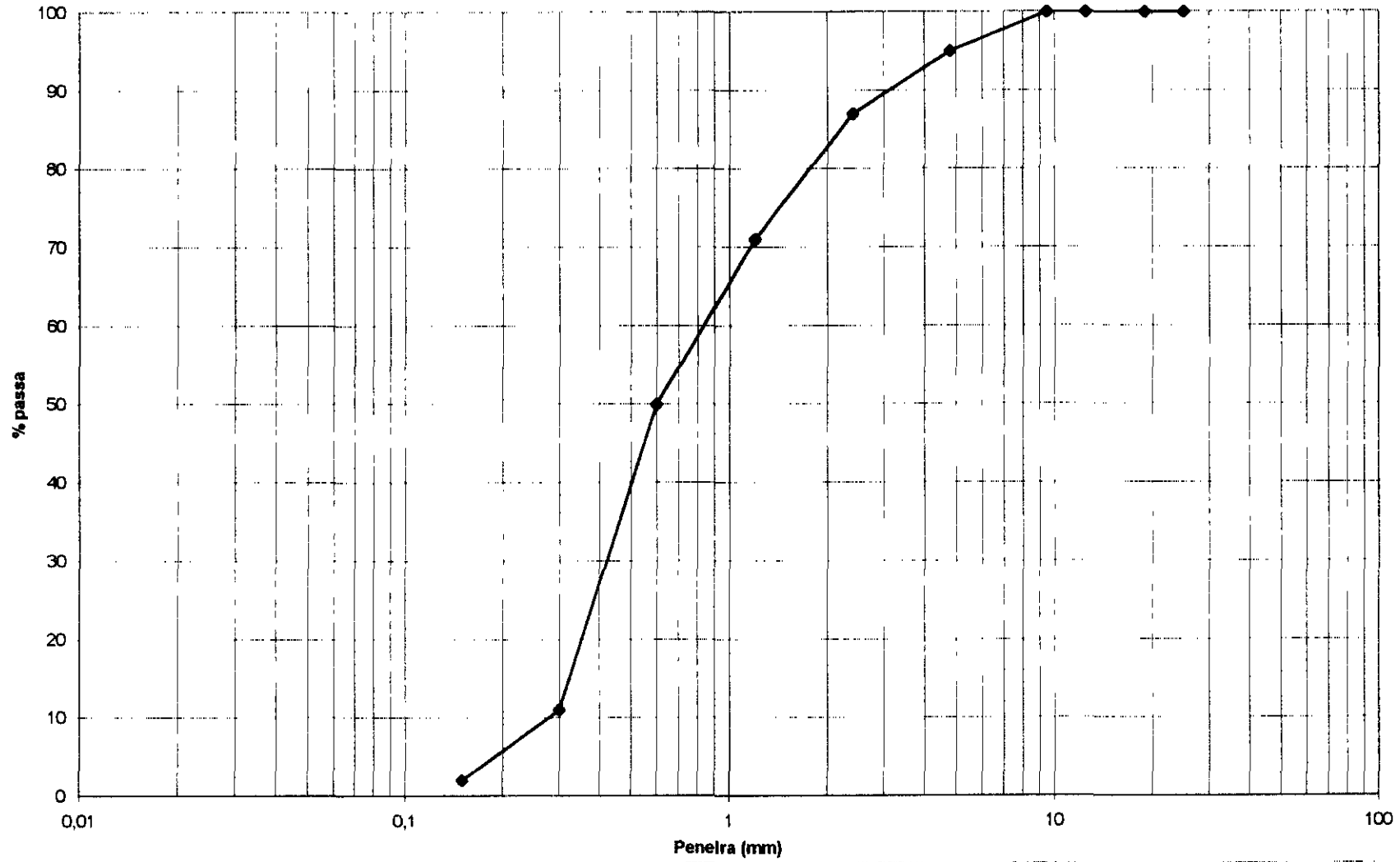


**QUADRO 3.8**  
**Resultados dos Ensaios de Resistência ao Cisalhamento Direto Lento**

Jazida	Amostra (Furo)	Prof. (m)	$\gamma$ smáx. ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	$h_{ot}$ (%)	$\gamma$ g ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	$h_{inic}$ (%)	$\sigma$ normal ( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ )	$\tau$ máx ( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ )	rup. (mm)	C' ( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ )	$\phi$ (o)
E - 01	01	0,10 - 1,40	1,910	12,7	2,07	12,40	1,00	1,28	1,90	0,74	26,0
					2,03	12,10	2,00	1,65	5,30		
					2,14	11,30	4,00	2,72	5,03		
E - 01	05	0,10 - 1,40	1,770	15,9	2,02	14,90	1,00	1,06	2,02	0,50	28,6
					1,98	15,30	2,00	1,57	4,77		
					2,02	15,40	4,00	2,69	4,86		
E - 02	01	0,10 - 1,70	1,955	7,6 v5 44	1,97	7,10	1,00	1,05	2,04	0,34	33,9
					1,97	6,90	2,00	1,64	2,61		
					2,01	7,20	3,00	3,05	3,41		
E - 02	03	0,10 - 3,00	1,950	7,6	2,01	7,50	1,00	1,09	2,40	0,40	32,5
					2,06	7,20	2,00	1,59	4,76		
					2,07	7,40	4,00	2,97	2,74		



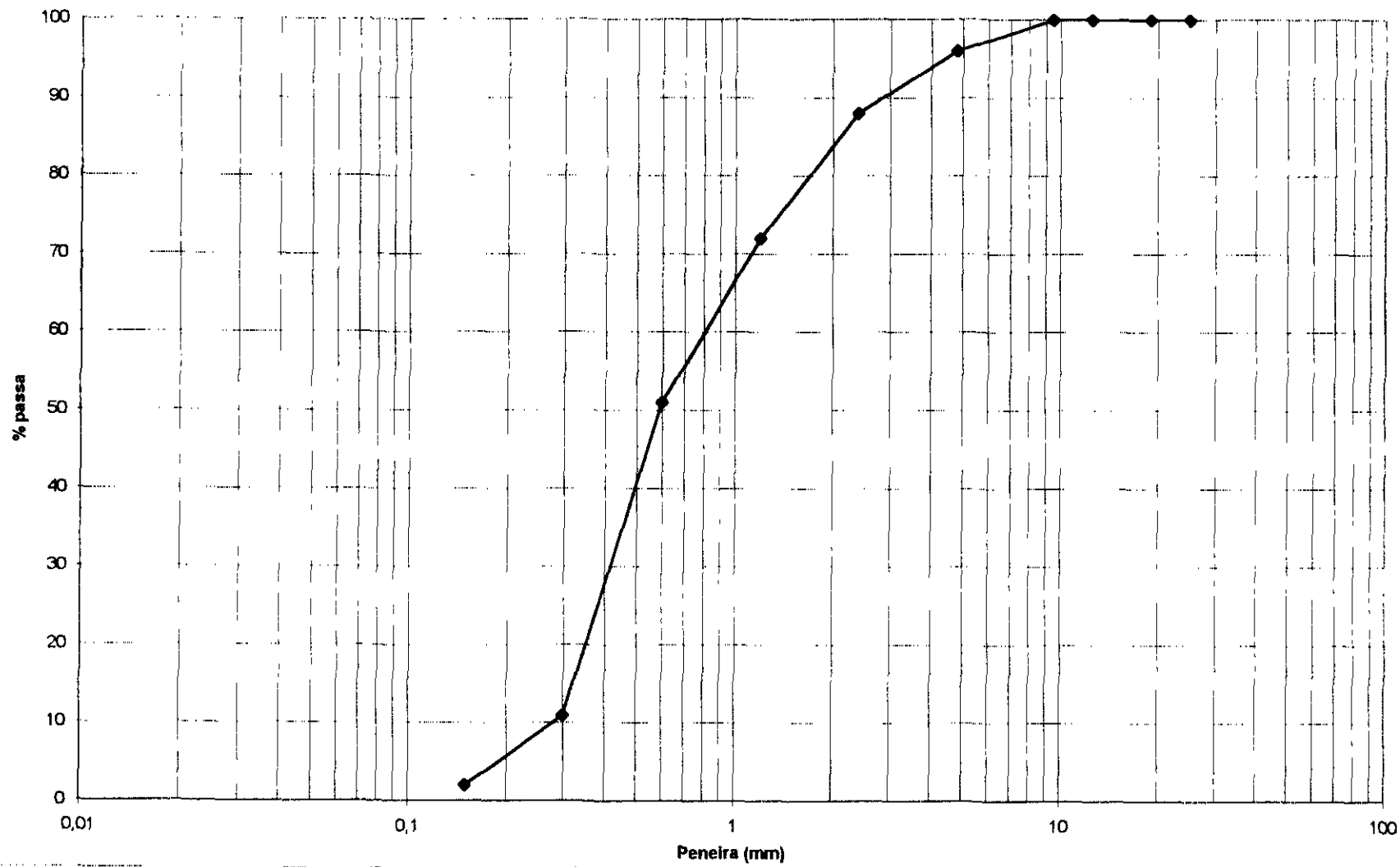
**CURVA GRANULOMÉTRICA**  
**Barragem Mal Cozinhado**  
**Areal 1 - Amostra 1**



00.007



**CURVA GRANULOMÉTRICA**  
**Barragem Mal Cozinhado**  
**Areal 1 - Amostra 2**



000708



## QUADRO 3.10

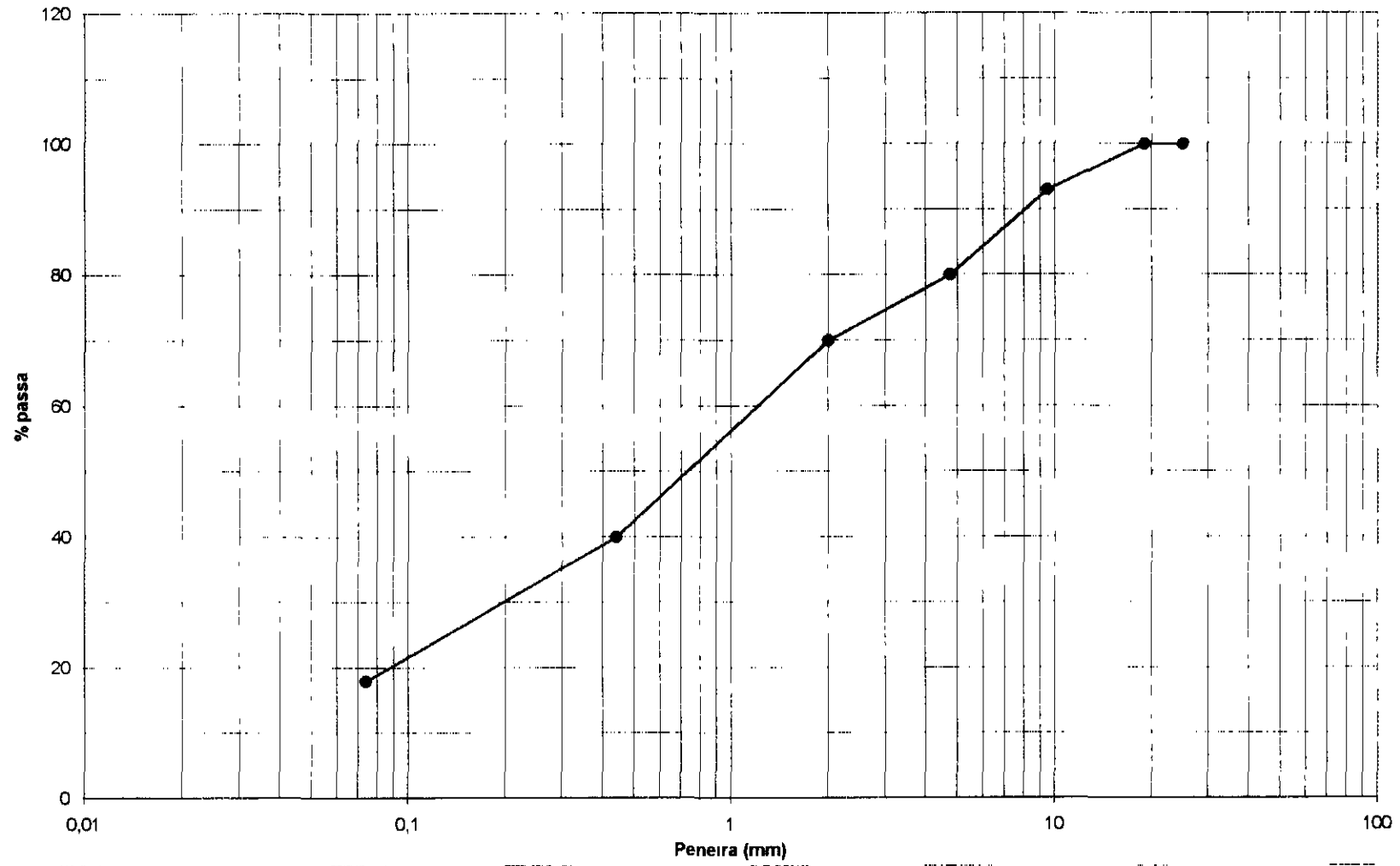
## RESULTADOS DOS ENSAIOS DE PERMEABILIDADE COM CARGA CONSTANTE

## JAZIDA ARENOSA JA1

AMOSTRA	CLASSIFICAÇÃO	PERMEABILIDADE MÉDIA (CM/S)
01	SP	$7,22 \times 10^{-3}$
02	SP	$7,69 \times 10^{-3}$
03	SP	$7,08 \times 10^{-3}$
04	SP	$7,49 \times 10^{-3}$



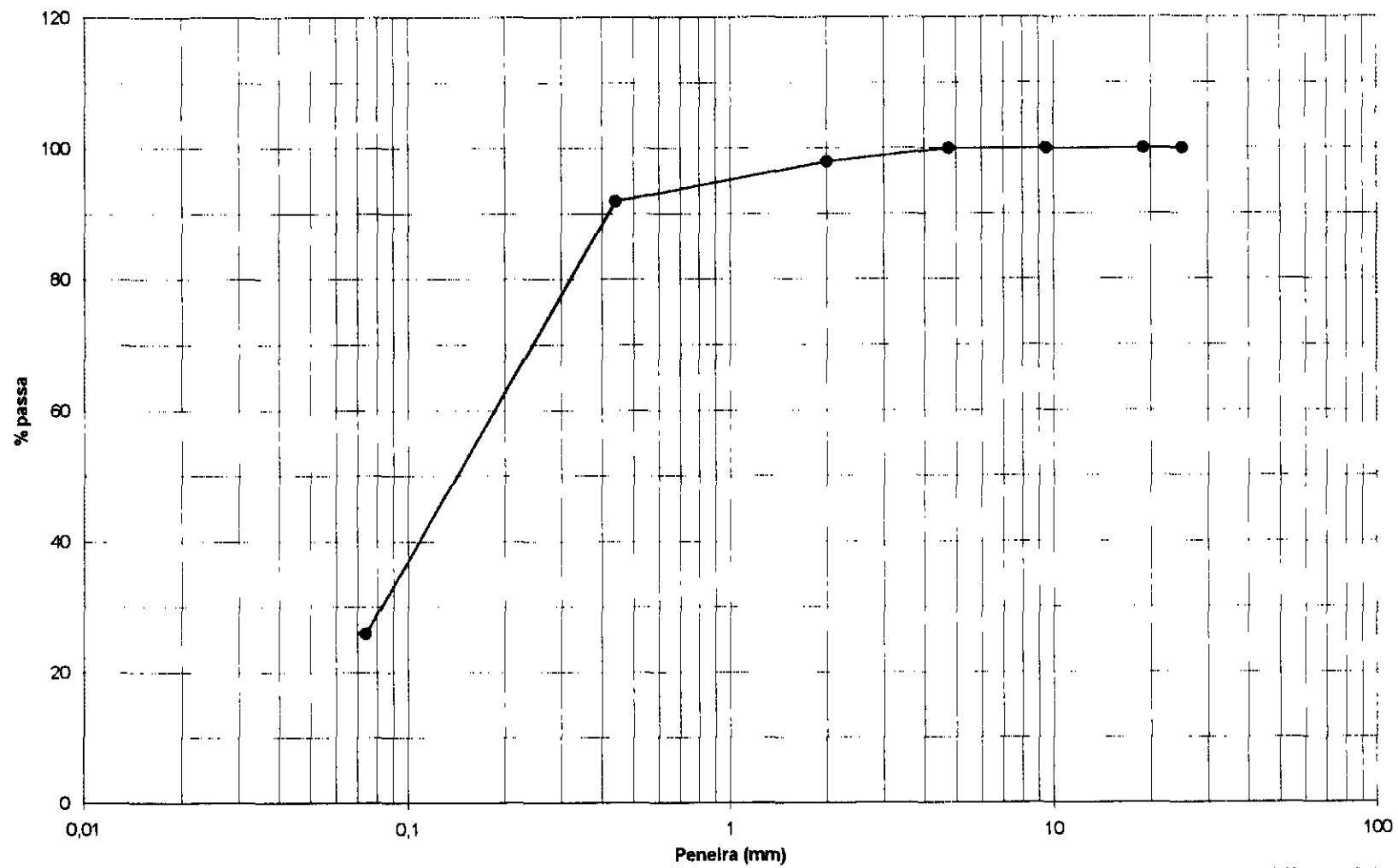
**CURVA GRANULOMÉTRICA**  
**Barragem Mal Cozinhado**  
**Eixo - Amostra 5**



001071



**CURVA GRANULOMÉTRICA**  
**Barragem Mal Cozinhado**  
**Eixo - Amostra 6**



001722





## QUADRO 3.12

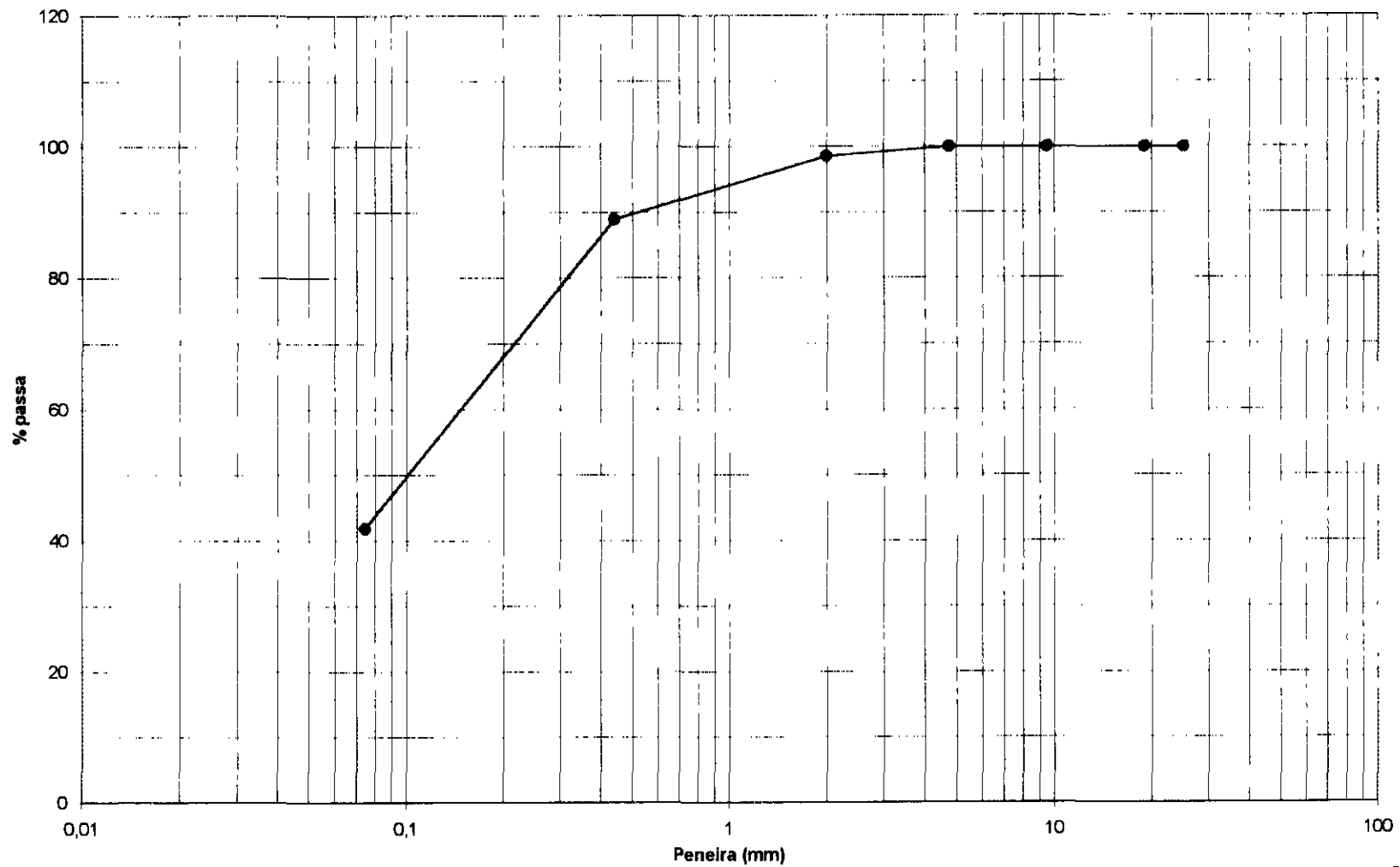
## Resumo dos Ensaios "Los Angeles"- Pedreira P1

Amostra	Graduação	Los Angeles
01	"B"	32%
02	"B"	30,6%
03	"B"	31,6%

**QUADRO 3.13  
ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO -SANGRADOURO**

FURO Nº	PROF (m)	y real Particula	K (cm/s)	GRANULOMETRIA (% QUE PASSA)										D60 (mm)	D30 (mm)	D10 (mm)	Cu	Cc	PLASTICIDADE			COMPACTAÇÃO		CLASSIFICAÇÃO (USC)		
				PENEIRAMENTO						SEDIMENTAÇÃO									LL (%)	LP (%)	IP (%)	y seco Máximo (g/cm3)	hot (%)			
				2"	1"	3/4"	3/8"	Nº4	Nº 10	Nº 40	Nº200	-	-												-	-
				50.8mm	25.4mm	19.1mm	9.5mm	4.8mm	2.0mm	0.42mm	0.075mm	0.01mm	0.006mm												0.002mm	0.001mm
1	2,50			100	100	100	100	100	98,6	89	41,9							26,9	12	14,9			SC			
2	2,50			100	100	100	100	100	98,4	88	39,5							23,5	11	12,5			SC			
3	2,50			100	100	100	100	99,3	97,3	88	41,4							28,5	13,1	15,4			SC			
MEDIA						100,0	100,0	99,8	98,1	88,2	40,9															
Desvio Padrão						0,0	0,0	0,4		0,4	1,3															
Valor Máximo						100,0	100,0	100,0	100,0	98,6	88,5	41,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	28,50	13,10	15,40	0,00	0,00		
Valor mínimo						100,0	100,0	100,0	99,3	97,3	87,8	39,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	23,50	11,00	12,50	0,00	0,00		

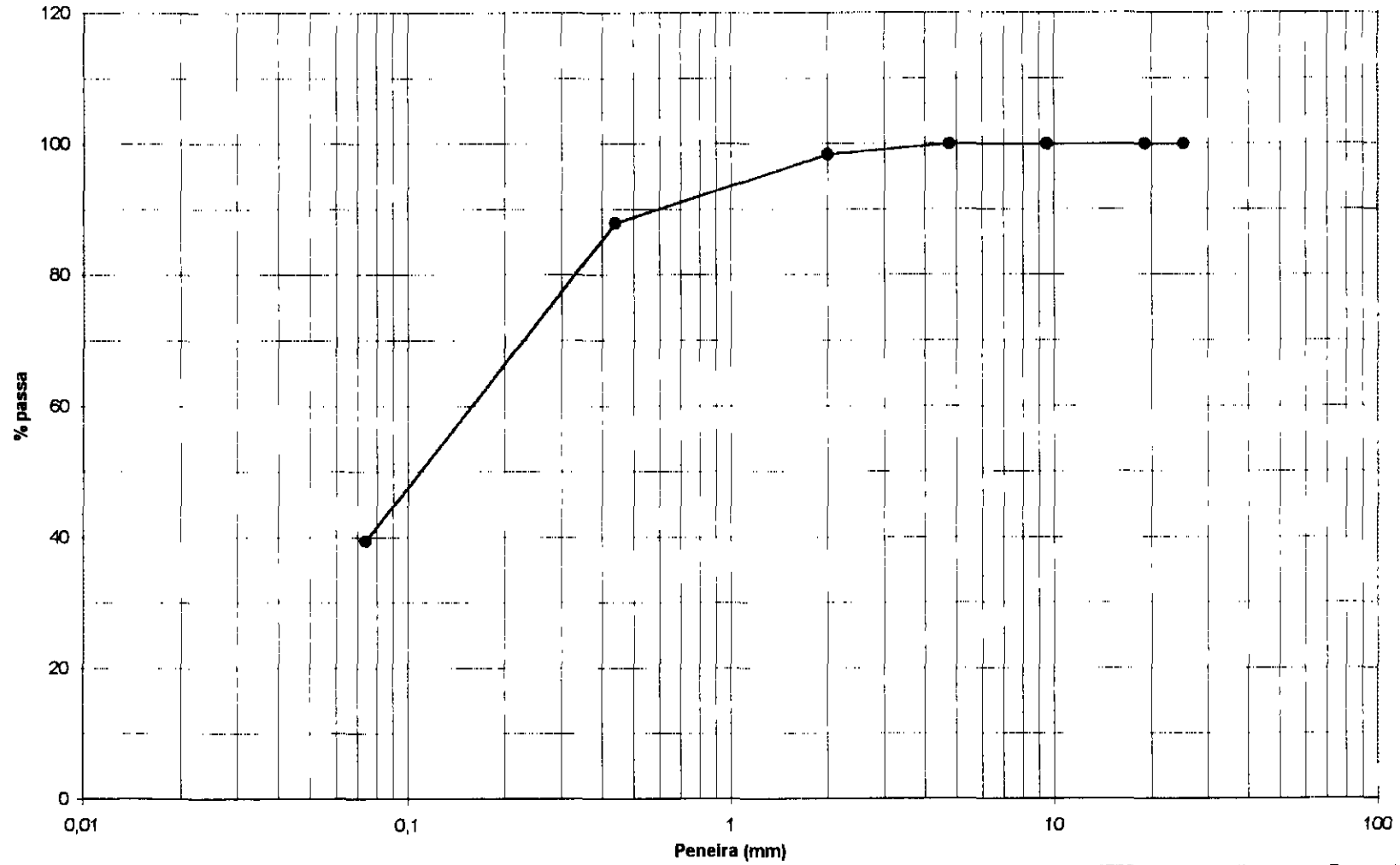
**CURVA GRANULOMÉTRICA**  
**Barragem Mal Cozinhado**  
**Sangradouro - Amostra 1**



001075

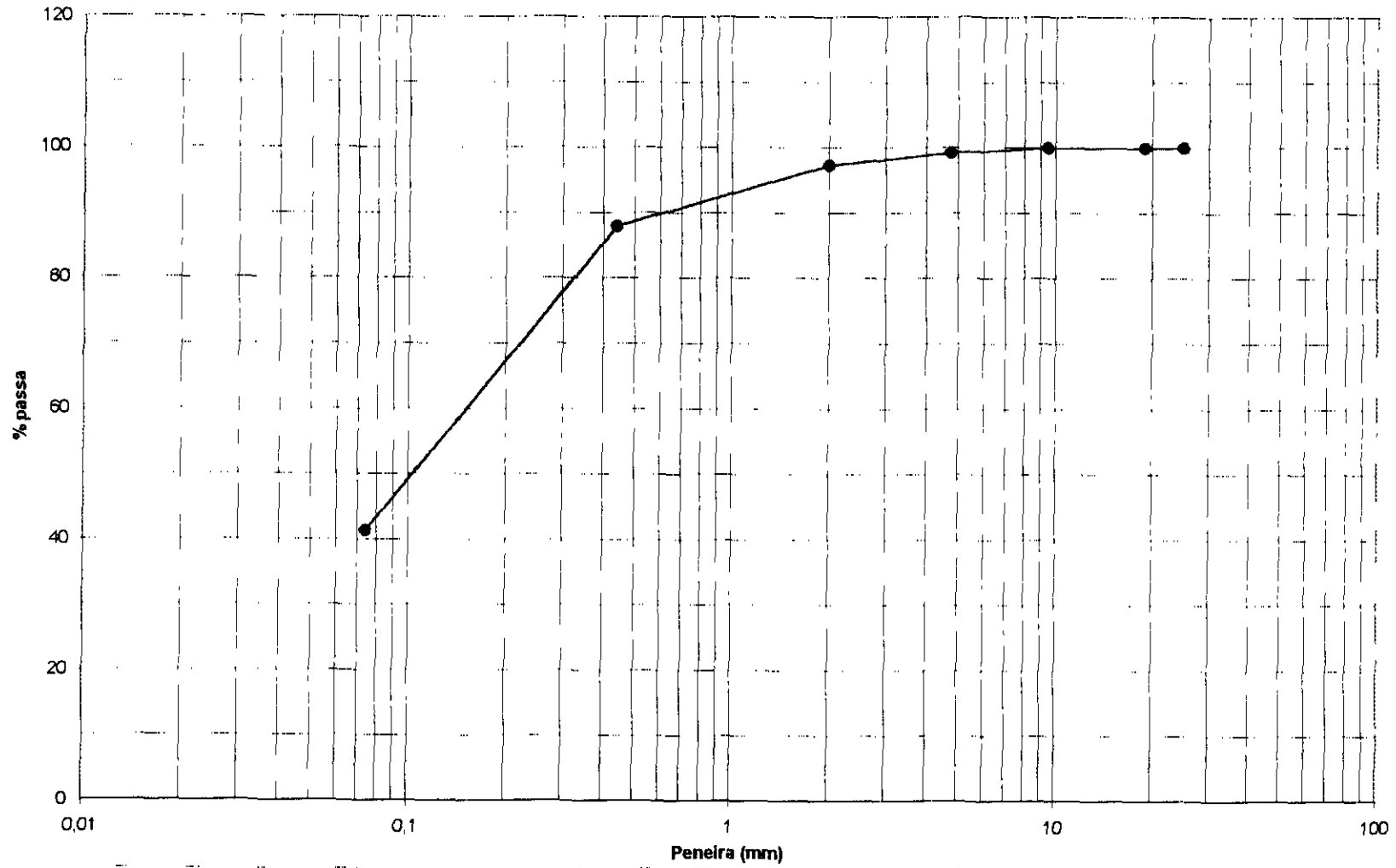


**CURVA GRANULOMÉTRICA**  
**Barragem Mal Cozinhado**  
**Sangradouro - Amostra 2**



065578

**CURVA GRANULOMÉTRICA**  
**Barragem Mal Cozinhado**  
**Sangradouro - Amostra 3**



000077

## 3.6 COMENTÁRIOS GERAIS SOBRE AS INVESTIGAÇÕES

### 3.6.1 - Fundações

Com base nos resultados das sondagens e respectivos ensaios "in situ", pôde-se traçar um provável perfil geotécnico da área do trecho barrável. O termo provável é utilizado, uma vez que se extrapola os dados obtidos nos furos, que por sua vez são pontuais.

O material predominantemente encontrado é constituído por depósitos aluvionares restritos à calha do rio, formados basicamente por areia fina siltosa variando de fofa a medianamente compacta, traduzido por valores de SPT entre 3 e 20/10, e profundidade máxima de 6,50m. Em alguns furos detectou-se pedregulhos. Há, em alguns furos a ocorrência de camada de argila arenosa de mole a média nas imediações da calha do rio, com SPT em torno de 8 a 20, com valores acima "falseados" pela presença de pedregulhos imersos nessas camadas.

Abaixo das camadas supra-citadas, em profundidades médias de 1,10m a 5,0 m começa a se encontrar o maciço rochoso da fundação, representado por gnaisse, ora xistoso, ora quartzoso, muito fraturado nos primeiros metros de sua ocorrência, apresentando recuperações em torno de 8 a 15%. Com a profundidade, a rocha vai diminuindo seu grau de fraturamento, chegando a recuperações em torno de 99%, no máximo.

O nível d'água, foi detectado variando entre 0,20m e 4,00m. Em alguns casos, este não foi encontrado (vide SP-J, SP-K, SM-5, SM-6A, SM-7A, SM-7, SM-8, SM-9, SM-10, SM-13).

Os ensaios de permeabilidade "in situ" no aluvião apresentaram valores girando em torno de  $k$  (coeficiente de permeabilidade) =  $1,53 \times 10^{-3}$  cm/s no primeiro metro e passando para  $k = 4,68 \times 10^{-5}$  cm/s em média nos metros seguintes. Encontra-se também, aos 6,00 m aproximadamente valores de  $k = 9,8 \times 10^{-7}$  cm/s no máximo.

Os ensaios de perda d'água específica nas rochas, na calha do rio tiveram valores muito baixos, variando entre  $PA = (\text{Perda d'água específica}) = 0$  e  $0,15$  l/min/m/kg/cm<sup>2</sup>, o que corresponde a  $k = (\text{Coeficiente de Permeabilidade}) = 0$  e  $1,61 \times 10^{-5}$  cm/s respectivamente.

As características da fundação da barragem podem ser visualizadas nos boletins de sondagem, ensaios "in situ", bem como no desenho 03/04 (perfil geológico-geotécnico do boqueirão).

### 3.6.2 – Ombreiras

Na região das ombreiras encontra-se uma capa de solo residual formado por areia fina a média, pouco siltosa, de pouco a medianamente compacta e espessuras variando de 1,50 a 5,00m. Abaixo desta encontra-se a rocha de fundação

A rocha detectada nas sondagens rotativas apresentou-se como gnaiss xistoso, são, de medianamente a pouco fraturado, indicado por recuperações em torno de 73 a 100%

Nos ensaios de permeabilidade “in situ” encontrou-se valores médios para  $k$  (coeficiente de permeabilidade)  $\approx 1,5 \times 10^{-3}$  cm/s a  $1,5 \times 10^{-5}$  cm/s em média

Nos ensaios de perda d'água específica, verificou-se uma baixa condutibilidade hidráulica, traduzida por valores de PA (Perda d'água específica)  $= 0$  l/min/m/kg/cm<sup>2</sup> a PA = 0,35 l/min/m/kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente  $k = 0$  cm/s e  $k=3,7 \times 10^{-5}$  cm/s

### 3.6.3 - Sangradouro

A investigação efetuada na região do sangradouro constou de sondagens mistas ( vide SM-7 a SM-12) e poços a Pá e Picareta, para caracterização do material proveniente de escavação

As sondagens mistas tiveram seu trecho em solo variando as profundidades de 7,00 a 10,00 metros, quando então chegou-se à rocha. O solo, como em todo o boqueirão, caracteriza-se como areia fina a média, de pouco a medianamente compacta, com passagens de pedregulhos variegada, possuindo SPT de 4 a 33/25. O maciço rochoso, é formado por gnaiss xistoso, são, de muito fraturado a pouco fraturado (recuperações entre 33 e 100%)

Nos ensaios de permeabilidade encontrou-se valores médios para  $k$ =(coeficiente de permeabilidade)  $= 1,51 \times 10^{-4}$  a  $8,11 \times 10^{-6}$  cm/s em média

Nos ensaios de perda d'água específica, verificou-se uma baixa condutibilidade hidráulica, traduzida por valores de PA  $= 0$  l/min/m/kg/cm<sup>2</sup> a PA = 1,30 l/min/m/kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente  $k = 0$  cm/s e  $k=1,39 \times 10^{-4}$  cm/s

### 3.6.4 - Materiais de Construção

O estudo dos materiais para a construção da barragem, constou inicialmente, de reconhecimento dos empréstimos existentes nas proximidades do local da obra, cujas

características permitissem a utilização na construção do maciço e nas obras de concreto

Foram estudadas duas áreas de empréstimos terrosos, uma jazida de areia e uma pedreira. A locação da posição destes materiais em relação ao contexto da obra pode ser visualizada nos Desenhos 04/04

### 3.6.4.1 - Materiais Terrosos - Área de Empréstimo

Dentro de um afastamento econômico do local da obra em estudo, foram identificados e caracterizados os materiais das áreas de empréstimo denominadas de JT1 e JT2, apresentadas no desenho 04/04

Nas áreas selecionadas, foram executados poços de inspeção com escavação manual, identificando a espessura e as características tácteis-visuais da camada de material aproveitável, conforme mostram os boletins de campo apresentados no Volume 2A – Estudos Geotécnicos - Anexos

Em cada poço de inspeção foi feita uma descrição dos materiais, identificando suas características e quantificando suas potencialidades e distância média de transporte, conforme já comentado

Em tais áreas procedeu-se à coleta de amostras representativas dos materiais, as quais foram submetidas aos seguintes ensaios

- Granulometria (com e sem sedimentação)
- Limites de “Atterberg”
- Ensaio de Compactação (Proctor Normal sem recurso do material)
- Umidade Natural
- Peso Específico Real
- Permeabilidade com carga variável
- Cisalhamento direto lento

O material das áreas de empréstimo em questão é constituído essencialmente por uma camada de solo argiloso. Através da análise da curva granulométrica com sedimentação e dos dados resultantes dos ensaios dos limites de Atterberg (LL, IP e



LP) das amostras, conclui-se que há predominância de materiais classificados como tipo SC, ou seja, areia fina muito argilosa-siltosa, ocorre também SM, areia siltosa

Os valores de  $c'$  e  $\phi'$  obtidos dos ensaios de cisalhamento direto lento, nos quais as amostras de solo foram compactadas na densidade ótima e umidade ótima obtidas do Ensaio do Proctor, receberam tratamento estatístico e indicaram os seguintes valores

Material tipo SC	Material tipo SM
• $c' = 0,54 \text{ kgf/cm}^2$	$c' = 0,34 \text{ kgf/cm}^2$
• $\phi = 28,6^\circ$	$\phi = 33,9^\circ$

Dos resultados obtidos dos ensaio de compactação, após receberem também tratamento estatístico, extraiu-se que o material indica razoáveis condições de compactação e apresentou os seguintes resultados

Material tipo SC	Material tipo SM
$\gamma_{s \text{ min}} = 1,790 \text{ g/cm}^3$	$\gamma_{s \text{ min}} = 1,885 \text{ g/cm}^3$
$\gamma_{s \text{ max}} = 1,945 \text{ g/cm}^3$	$\gamma_{s \text{ max}} = 1,955 \text{ g/cm}^3$
$h_{\text{ot min}} = 7,0\%$	$h_{\text{ot min}} = 7,6\%$
$h_{\text{ot max}} = 14,1\%$	$h_{\text{ot max}} = 11,7 \%$

Os procedimentos para execução dos ensaios acima citados foram realizados conforme as recomendações dos métodos e instruções de ensaios da ABNT

### 3 6 4 2 - Materiais Arenosos

Do mesmo modo que se fez a análise da jazida de material terroso, procedeu-se à escolha da jazida de areia dentro de um afastamento econômico do local da obra, foram identificados e caracterizados os materiais da área de empréstimo denominada de JA1, apresentada no Volume 2A – Estudos Geotécnicos - Anexos Deve-se salientar que a jazida de material arenoso encontra-se ao longo do leito do rio nos chamados areais comerciais

Na área selecionada, foram executados poços de inspeção com escavação manual, identificando a espessura e as características tácteis-visuais da camada de material aproveitável

001081

Em cada poço de inspeção foi feita uma descrição dos materiais, identificando suas características e quantificando suas potencialidades e distância média de transporte

Através da análise das curvas granulométricas resultantes dos ensaios de peneiramento, classifica-se o depósito como SP, ou seja, areia de granulação média a grossa mal graduada.

Os ensaios de permeabilidade nas amostras apresentaram valores de  $k = 7,22 \times 10^{-3}$  a  $k = 7,69 \times 10^{-3}$  cm/s

Os resultados dos ensaios de laboratório são apresentados no Volume 2A – Estudos Geotécnicos – Anexos

A localização da jazida de areia pode ser visualizada no Desenho nº 04/04, no anexo A

### 3.6 4.3 - Materiais Rochosos

Os materiais rochosos a serem utilizados na construção das obras da barragem, tais como enrocamentos e agregados deverão ser provenientes da pedreira. No entanto, conforme as condições do material provindo da escavação do sangradouro, ou seja, se este material for considerado rocha sã, eventualmente poderá ser utilizado mediante ensaios adequados

De acordo com o resultado do ensaio “Los Angeles”, o material existente na pedreira apresentou  $LA = 30,6$  a  $32\%$ , sendo considerado resistente à abrasão, podendo portanto ser utilizado para os fins que se destina

O material da pedreira foi classificado como gnaiss

Apresenta-se no Volume 2A – Estudos Geotécnicos – Anexos, os resultados dos ensaios

000082



KL - SERVIÇOS E ENGENHARIA LTDA

## 4 - CONCLUSÕES

#### 4 - CONCLUSÕES

De forma geral, os ensaios foram de grande valia para a investigação de subsuperfície do local da obra em questão, bem como para a caracterização dos materiais a serem explorados e utilizados em larga escala na execução da Barragem do Malcozinhado, cumprindo portanto o objetivo básico proposto neste volume

Com base nas análises feitas e expostas ao longo do presente relatório, pode-se concluir de forma sucinta que o maciço da fundação formado basicamente por gnaisses e migmatitos, encontram-se de forma geral pouco fraturados, em direções diversas, com porcentagem de recuperação de média a alta e pequeno fluxo de água percolando por suas aberturas, não comprometendo a estanquidade da fundação do maciço. Acima do topo rochoso, via de regra, encontra-se material aluvionar na calha do rio e residual nas ombreiras, com permeabilidades também razoavelmente consideráveis. O maciço rochoso possui boa capacidade de suporte ao longo do perfil do boqueirão.

Com relação aos materiais a serem explorados nas jazidas identificadas, estes foram considerados adequados ao fim que se necessita, e são aparentemente encontrados em quantidades suficientes. É importante notar que os materiais são considerados adequados desde que recebam os tratamentos devidos antes do seu uso de acordo com cada caso.



KL - SERVIÇOS E ENGENHARIA LTDA

## ANEXO A - DESENHOS

## RELAÇÃO DAS PLANTAS

01/04 - MAPA FOTOGEOLÓGICO

02/04 - PLANTA GEOLÓGICA - GEOTÉCNICA

03/04 - PERFIL GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO

04/04 - PLANTA DE LOCALIZAÇÃO DAS OCORRÊNCIAS DE MATERIAIS