

## GERMANO - GERAL

## ÁREA EXTERNA

## UHE CANDONGA – DRAGAGEM RESERVATÓRIO

## MEMORIAL DESCRITIVO GEOTÉCNICO – BACIAS 1 E 2

## ÁREA 11 – FAZENDA FLORESTA – PROJETO EXECUTIVO

R E V I S Õ E S								
	1	APROVADO – LIBERADO PARA CONSTRUÇÃO	E	23/08/17	P.P.	S.G.	F.R.	S.G.
	0	EMIÇÃO INICIAL	B	25/05/17	P.P.	S.G.	F.R.	S.G.
	Nº	DESCRIÇÃO	T.E.	DATA	PREP.	VERIF.	APROV.	LIBER.

### T.E – TIPOS DE EMISSÃO

A – Preliminar      C – P/ Conhecimento      E – P/ Construção      G – Conforme construído      L – Aprovado  
B – P/ Aprovação      D – P/ Cotação      F – Conforme comprado      H – Cancelado

Preparado P.P.	Verificado S.G.	Aprovado F.R.	Liberado S.G.	Data 25/05/17	O.S.
-------------------	--------------------	------------------	------------------	------------------	------

	Nº PROJETISTA I.: <b>ALL-4458-E-MD-TRP-001</b>	Rev.:  <b>1</b>	PÁGINA:  <b>01</b>
	PROJETISTA II		
 <b>SAMARCO MINERAÇÃO S.A.</b> DESENVOLVIMENTO COM ENVOLVIMENTO		Nº SAMARCO: <b>G006900-O-1MD002</b>	

**SAMARCO MINERAÇÃO S.A.**

## ÍNDICE:

1. INTRODUÇÃO .....	3
2. SONDAGENS REALIZADAS .....	3
3. ANÁLISE GERAL DOS RESULTADOS DAS SONDAGENS .....	4
3.1 BACIA 1 – FASE DE PROJETO BÁSICO.....	4
3.2 BACIA 2 – FASE DE PROJETO BÁSICO.....	5
3.3 BACIAS 1 E 2 – INCORPORAÇÃO DOS DADOS DO PROJETO EXECUTIVO .....	6
A) ATERRO. ....	6
B) COLÚVIO / ELÚVIO.....	6
A) SOLO DE ALTERAÇÃO .....	6
B) MACIÇO ROCHOSO:.....	7
4. ENSAIOS DE LABORATÓRIO .....	7
5. DESCRIÇÃO DA BACIA 1 .....	10
6. DESCRIÇÃO DA BACIA 2.....	10

## 1. INTRODUÇÃO

O objetivo deste documento é apresentar um resumo dos estudos geotécnicos realizados para a Fazenda Floresta, nas áreas de implantação das bacias 1 e 2.

Foi realizado um programa de sondagens a percussão nas duas áreas, visando avaliar as condições de fundação dos diques, bem como as características dos materiais a serem escavados, com vistas aos seus aproveitamentos nos aterros. O objetivo das bacias num primeiro momento é criar uma área de sedimentação dos rejeitos, para que estes sejam transportados via seca e armazenados em pilhas de aterros acima do reservatório do Dique Principal da Fazenda Floresta, no entanto seu objetivo principal é funcionar como bacias de tratamento dos efluentes de dragagem, evitando que este retorno para o Rio Doce acima da turbidez estabelecida pela legislação. Essas pilhas não são objeto deste projeto.

As informações apresentadas estão complementadas nos demais documentos de projeto.

## 2. SONDAgens REALIZADAS

Foram realizadas, na fase de Projeto Básico, as seguintes sondagens na área de implantação das obras das bacias, indicadas no desenho G006970-O-100027:

- Bacia 1: SMB-01, SMB-02, SMB-03, SMB-04 e SMB-05.
- Bacia 2: SMB-06, SMB-07, SMB-08, SMB-09 e SMB-10

Além dessas sondagens, foram abertas trincheiras em ambas as bacias, tendo sido as mesmas inspecionadas pela Allonda em dezembro de 2016.

Ao longo dos eixos dos diques, o objetivo foi verificar as condições de fundação no que se refere às características de resistência, deformabilidade e de estanqueidade dos solos de fundação.

Nas regiões de escavação para a formação das bacias, o objetivo foi caracterizar os materiais para definir as condições de escavação quanto a: existência de lençol freático, níveis de solo de alteração e do topo rochoso, se existente, bem como a verificação da possibilidade do aproveitamento dos solos de escavação. Na presente fase de Projeto Executivo foram realizadas investigações complementares, estando indicado nas tabelas abaixo um resumo das sondagens feitas nas duas etapas de projeto.

Tabela. 01. Primeira Campanha de Investigação nas Bacias 1 e 2.

SONDAGEM		COORDENADAS		Cota	Prof. (m)	ENSAIOS DE INFILTRAÇÃO
		NORTE	LESTE			
BACIA 1	SMB-01	7.765.688,821	724.596,713	285,190	18,15	-
	SMB-02	7.765.693,954	724.700,209	284,970	12,70	-
	SMB-03	7.765.755,227	724.707,550	287,860	12,35	-
	SMB-04	7.765.753,218	724.786,064	287,000	17,23	-
	SMB-05	7.765.796,018	724.835,176	287,770	14,31	2
BACIA 2	SMB-06	7.765.797,448	724.634,017	296,300	17,25	-
	SMB-07	7.765.801,563	724.718,325	290,190	14,90	-
	SMB-08	7.765.879,733	724.752,251	296,210	19,10	4
	SMB-09	7.765.868,441	724.862,444	296,700	19,05	3
	SMB-10	7.765.917,952	724.891,683	296,800	22,4	1

Tabela. 02. Campanha Complementar de Investigação nas Bacias 1 e 2.

CAMPANHA COMPLEMENTAR				
LOCAL	FURO	NORTE	ESTE	COTA DE BOCA
BACIA 1	STB01	7.765.689,44	724.633,07	285,076
BACIA 2	STB03	7.765.791,81	724.712,59	289,811
BACIA 1	STB05	7.765.732,22	724.702,48	286,102
BACIA 2	STB06	7.765.807,76	724.760,18	289,609
BACIA 2	STB07	7.765.837,04	724.752,92	295,722
BACIA 2	STB08	7.765.849,27	724.801,42	294,279
BACIA 1	STB09	7.765.690,99	724.717,23	285,277
BACIA 1	STB11	7.765.776,79	724.794,80	287,86
BACIA 2	STB12	7.765.821,26	724.807,39	290,356
BACIA 2 (AREIA)	P2A	7.765.826,21	724.700,44	295,649
BACIA 2 (AREIA)	P2B	7.765.851,72	724.742,26	295,787
BACIA 1	PI-08			
BACIA 1	PI-08A			

### 3. ANÁLISE GERAL DOS RESULTADOS DAS SONDAGENS MISTAS

#### 3.1 BACIA 1 – FASE DE PROJETO BÁSICO

A região da Bacia 1, situada em cotas inferiores às da Bacia 2, mostrou condições geotécnicas bastante favoráveis à implantação das obras.

Os resultados das sondagens estão apresentados em detalhe nas Seções Geológicas indicadas nos desenhos de projeto (G006972-O-100012 e G006972-O-100013).

A sondagem SMB-01 mostra uma camada superficial de colúvio/elúvio de características argilosas, com espessura aproximada de 3m e valores de SPT superiores a 9. Abaixo dessa camada ocorre o solo residual constituído por silte areno-argiloso amarelado e elevados valores de SPT, até a cota 273, onde ocorre o paragnaisse.

A sondagem SMB-02 mostrou resultados semelhantes aos descritos para a sondagem SMB-01, estando o paragnaisse ocorrendo em nível mais elevado, cota 278.

A SMB-03 e SMB-04 mostra o mesmo panorama, com o paragnaisse na cota 281 e 275, respectivamente.

A SMB-05 possui a camada de colúvio\elúvio com espessura de aproximadamente 2m sobre o solo residual, que vai até a cota 279.

Foram abertas e inspecionadas 2 trincheiras na área das bacias e, numa análise geral de todas as investigações acima descritas, pode-se dizer que:

- Toda a zona de escavação obrigatória apresenta solos argilosos adequados para aproveitamento nos aterros de vedação das duas bacias.
- Os materiais a serem expostos nos taludes apresentam características satisfatórias no que se refere às suas condições de estanqueidade.
- Os valores de SPT, no geral, são superiores a 10, indicando boas condições de suporte.
- Não foram observadas passagens de solos aluvionares, em especial areia e argila mole em todas as sondagens realizadas.

### 3.2 BACIA 2 – FASE DE PROJETO BÁSICO

A situação geotécnica da Bacia 2 difere bastante daquela observada na Bacia 1, conforme descrito abaixo. A área é muito plana, havendo sobre a mesma um campo de futebol; a existência de um talude muito bem definido na faixa contígua à via de acesso municipal sugere a implantação de um aterro em toda a área da bacia.

Os resultados das sondagens estão apresentados em detalhe nas Seções Geológicas indicadas nos desenhos de projeto (G006970-O-100028 e G006970-O-100029).

A sondagem SMB-06 apresenta uma importante camada de areia com pedregulhos desde a cota 296 até a cota 285, onde se atinge o solo residual numa espessura de pouco mais de 1 metro e após isso o paragnaisse.

A sondagem SMB-07, já próxima ao pé do talude, mostra uma camada superficial de areia grossa e pedregulhos entre as cotas 290 e 286, onde está o topo do solo residual constituído por silte areno-argiloso. A SMB-08, localizada próximo ao pé de escavação da encosta, apresenta espessa camada de areia, ao longo dos 10 primeiros metros da sondagem; abaixo, ocorre o solo residual na cota 284.

A SMB-09 mantem o mesmo panorama com espessa camada de areia entre as cotas 296 e 287. A SMB-10 é muito semelhante, com a areia ocorrendo entre as cotas 297 e 285.

As trincheiras abertas no local confirmam os aspectos acima; as que foram abertas junto ao acesso municipal mostram a ocorrência de solo residual argiloso muito próximo à superfície do terreno. Uma das trincheiras foi aberta no talude citado, do campo de futebol, contíguo ao acesso municipal e mostrou uma cobertura argilosa sobre a areia com pedregulho.

A região provavelmente é formada por um terraço aluvionar composto por uma grande espessura de areia que foi protegido superficialmente por uma camada de solo argiloso com plantio de grama.

Tal situação condicionou toda a solução de projeto, pois temos ali uma área não estanque, de fundação muito permeável e erodível, inexistindo solos argilosos na zona de escavação obrigatória.

### 3.3 BACIAS 1 E 2 – INCORPORAÇÃO DOS DADOS DO PROJETO EXECUTIVO

As novas sondagens a trado foram incluídas nas seções geológico-geotécnicas interpretadas. Essa nova campanha não trouxe nenhuma mudança efetiva na interpretação já realizada a partir das sondagens da primeira campanha. Sendo assim continuam valendo as cinco unidades geológico-geotécnicas definidas: aterro, colúvio, elúvio, solo de alteração e maciço rochoso. A seguir é apresentado de maneira sucinta as características de cada unidade encontrada.

#### a) Provável Terraço Aluvionar.

Esta unidade ocorre apenas na Bacia 2 e capeia praticamente toda a área de implantação da futura Bacia. É composto por areia média e grossa com seixos rolados de até 15 cm de diâmetro.

#### b) Colúvio / Elúvio.

Ocorrem na área da Bacia 1 em todas as sondagens executadas. É composto por argila siltosa, por vezes pouco arenosa de colorações marrom e marrom amarelado; e por silte arenoso (areia fina), pouco argiloso, marrom amarelado. A diferença entre o colúvio e o Elúvio, nesse caso, está relacionada ao posicionamento no relevo, considerando os colúvios para as encostas suaves e os elúvios para as porções mais planas do terreno, uma vez que a composição granulométrica dos solos é bastante semelhante.

#### a) Solo de Alteração

Foram identificados solos de alteração dos ortognaisses e dos paragnaisses. Sotoposto ao colúvio, estão presentes solos residuais, em sua maioria solos jovens (SRJ). Os solos provenientes da decomposição de

ortognaisses caracterizam-se por siltes arenosos (areia fina) micáceos de colorações cinza escura, cinza amarelado e marrom amarelado; silte arenoso (areia fina), marrom amarelado, ambas com estrutura reliquiar preservada. Nos perfis individuais de sondagens são observados vários horizontes compostos excessivamente por areias, ora finas, ora fina e média e por vezes média e grossa, com mica. Esse material na realidade trata-se de amostras lavadas, cuja fração fina (silte) foi perdida pela lavagem durante o processo de perfuração, trata-se de trechos com valores de SPT muito altos, cujas amostras não conseguem serem recuperadas pelo amostrador padrão.

#### **b) Maciço Rochoso:**

O maciço rochoso está caracterizado por ortognaisses de coloração cinza. Apresenta-se com granulação fina a média, com bandamento sub-horizontal, estrutura migmatíticas, intercalado com bandas centimétricas à decamétrica de rocha anisotrófica, cinza escura. Estão presentes veios de quartzo e pegmatíticos de espessuras centimétricas a decimétricas; Paragnaisses marrom amarelados estão presentes intercalados ao ortognaisses. Apresentam granulação fina a média e bandamento subhorizontal, paralelo ao ortognaisses.

## **4. ENSAIOS DE LABORATÓRIO**

Foram realizados ensaios de laboratório sobre os solos das fundações e de áreas de empréstimo argilosas para a construção dos diques.

As sondagens complementares citadas na tabela 2 deste documento, confirmaram a vasta ocorrência de areia na área de escavação obrigatória da Bacia 2. Nas análises apresentadas na tabela 3, releva que essa areia poderá ser aproveitada como material de filtro e também para uso nas obras de concreto, devendo ser novamente ensaiada a medida que for utilizada. Na área de escavação da Bacia 1, onde ocorre a camada superficial de colúvio-elúvio, este solo mostrou-se bastante promissor para uso como área de empréstimo, conforme já havia sido observado na fase de Projeto Básico.

Com isto, foram realizados ensaios de caracterização e proctor normal sobre amostras deformadas obtidas dos furos a trado da área da Bacia 1; ainda na Bacia 1, foram extraídas 2 amostras indeformadas para a realização de ensaios especiais representativos das condições de fundação do Dique 1. Tal tipo de amostragem foi dispensado na área da Bacia 2, por serem previamente conhecidas as condições de resistência e permeabilidade do depósito de areia, com base em dados disponíveis na bibliografia.

A Tabela 3 abaixo mostra um resumo dos resultados dos ensaios convencionais realizados.

Tabela 3. Resumo dos Ensaios realizados em amostras da Campanha Complementar

SOND. N°	PROF. (m)	Classificação Granulométrica (ensaio)	Classificação Tátil-visual	LL	LP	IP	Massa Específica dos Grãos. (γs/cm³)	Compactação		Permeabilidade - Carga variável
								Umidade Ótima (%)	Densidade Aparente Seca. (γs/cm³)	
STB-01	1,00	Areia fina e média, argilo-siltosa	Argila Siltosa pouco arenosa (Co)	38	24	14	2,72	19,5	1,65	-
	2,00	Areia fina, Silto-argilosa		45	27	18	2,71	23,0	1,5	-
	3,00	Areia fina e média, Silto-argilosa		54	32	22	2,71			-
	4,00	Areia fina argilo-siltosa	Silte arenoso (areia fina) com micas, marrom amarelada. (SRJ)	53	30	23	2,7			-
STB-05	1,00	Argila Silto-arenosa	Silte argiloso, pouco arenoso, marrom amarelado (Co)	76	26	50	2,76	32	1,35	-
	2,00			65	35	30	2,73	31,1	1,39	-
	4,00	Areia fina e média, silto-argilosa	Areia fina e média, marrom amarelada. (SRJ)	36	21	15	2,67	16	1,74	-
	5,00	Areia média e fina, silto-argilosa		31	10	21	2,73	-	-	-
STB-09	1,00	Areia fina argilo-siltosa	Silte arenoso, pouco argiloso, marrom amarelado. (Co/EL)	36	25	11	2,53	18,1	1,65	-
	2,00	Areia fina silto-argilosa		38	24	14	2,38	19,2	1,61	-
	3,00	Areia fina silto-argilosa		45	29	16	2,48	21	1,56	-
	4,00	Argila Silto-arenosa	Silte arenoso, com micas. Cinza amarelado. (SRJ)	53	33	19	2,44	-	-	-
	5,00	Areia fina e média, silto-argilosa]		NP	NP	-	2,8	-	-	-
STB-11	1,00	Areia finasilto-argilosa	Silte aerenoso, marrom amarelado. (Co)	46	27	19	2,63	-	-	-
	3,00	Areia fina e média Silto-argilosa	Areia fina siltosa, com mica. (amostra lavada) (SRJ)	46	18	28	2,82	19,2	1,46	-
	4,00	Areia média e fina, silto-argilosa		NP	NP	-	2,79	12,6	1,8	-
	5,00			NP	NP	-	2,71			-
PI-08	0,86 - 1,16	Argila Silto-arenosa	Argila Siltosa pouco arenosa (Co)	59	22	37	2,66	28,5	1,42	-
PI-08A	0,70 - 1,00			71	34	37	2,76	32,1	1,35	-
PI-2A	0,00 - 1,00	Pedreguhos com areia grossa emédia	Areia média e grossa com seixos rolados de granulação variada.	NP	NP	-	2,68	-	-	2,1 x 10 <sup>-1</sup>
PI-2B	0,00 - 1,00		NP	NP	-	2,66	-	-	1,1 x 10 <sup>-1</sup>	
STB-03	0,00 - 1,00	Areia média e grossa, argilo-siltosa	Areia média e grossa com seixos rolados de granulação variada.	NL	NP	-	2,75	17,2	1,67	-
	1,00 - 2,00	Argila Silto-arenosa		48,8	33,7	15,1	2,72			-
	2,00 - 3,00	Areia silto-argilosa		48	32,2	15,7	2,84			-
	3,00 - 4,00	Argila Silto-arenosa	Silte arenoso (areia fina), pouco argiloso com pedregulhos de rocha e seixos rolados.	54,3	34	20,3	2,72			-
	4,00 - 5,00	Areia silto-argilosa	Silte arenoso, pouco argiloso, marrom amarelado.	42,6	30,9	11,6	2,72			-
STB-06	0,00 - 1,00	Argila areno-siltosa	Areia média e gorssa. (AT)	43,9	28,7	15,2	2,71	17,2	1,67	-
	1,00 - 2,00		Silte arenoso, pouco argiloso. (AT)	51,1	28,7	22,4	2,70			-
	2,00 - 3,00	Areia silto-argilosa	Silte arenoso, pouco argiloso. (AT)	33,3	27,8	5,5	2,73			-
	3,00 - 4,00		Silte arenoso Micáceo. (SRJ)	33,6	2,4	9,5	2,86			-
STB-07	0,00 - 1,00	Pedregulhos com areia		NL	NP	-	2,66	-	-	-
STB-08	0,00 - 0,80	Pedregulhos com areia	Aria grossa e média com pedreguços e seuxos rolados.	NL	NP	-	2,67	-	-	-
STB-12	0,00 - 1,00	Argila Silto-arenosa	Areia média e gorssa. Com pedregulhos e seixos rolados. (AT)	47,5	32,8	14,7	2,72	20,2	1,64	-
	1,00 - 2,00	Silte areno-argiloso		50,7	35,9	14,9	2,72			-
	2,00 - 3,00			48,1	34,7	13,4	2,72			-



Sobre amostras representativas dos furos a trado da Bacia 1 foram realizados ensaios triaxiais CID e UU. A amostra ensaiada foi extraída do Furo STB-09 nas profundidades de 1 a 3m.

Os resultados obtidos para as envoltórias de resistência em termos de tensões efetivas (CID) e totais (UU) foram as seguintes:

- $s = 100 + \sigma_{tg} 33^0$  (kPa) – CID
- $s = 100 + \sigma_{tg} 32^0$  (kPa) – UU
- $s = 200 + \sigma_{tg} 20^0$  (kPa) – UU

Os ensaios CID refletem de forma mais representativa as condições de resistência do aterro compactado, para a condição de Funcionamento. Por outro lado, a coesão obtida nos ensaios possui uma parcela de coesão aparente, devido a sucção do solo, que é perdida com a sua saturação, tendo sido aplicada uma redução de 80% de seu valor. A manutenção de um intercepto de coesão de 20% do valor de ensaio se justifica pelas características argilosas das amostras. Com isto, foi adotada a seguinte envoltória de resistência para os aterros argilosos compactados, para a condição de Funcionamento:

- $s = 20 + \sigma_{tg} 32^0$  (kPa)

Para a condição de Fim de Construção poderia ser verificada a estabilidade com as envoltórias dos ensaios UU; todavia, estas se apresentam bem mais favoráveis que a obtida no ensaio CID, pela elevada coesão, que não é perdida por não estar o aterro ainda saturado; dessa forma, como verificação apenas, a condição de Final de Construção deve ser feita apenas com a envoltória acima do ensaio CID.

Para a fundação, foram extraídas amostras nos poços PI-08 e PI-08A, tendo sido obtidas as seguintes envoltórias de resistência:

- $s = 50 + \sigma_{tg} 31^0$  (kPa) – CID – PI-08A – Prof. 0,7-1,0m
- $s = 50 + \sigma_{tg} 25^0$  (kPa) – UU – PI-08A – Prof. 0,7-1,0m
- $s = 50 + \sigma_{tg} 23^0$  (kPa) – CID – PI-08 – Prof. 0,86-1,16m
- $s = 80 + \sigma_{tg} 19^0$  (kPa) – UU – PI-08 – Prof. 0,86-1,16m

Levando-se em conta os aspectos referentes à coesão acima citados, as seguintes envoltórias devem ser utilizadas nas análises de estabilidade para o solo de fundação da Bacia 1:

- $s = 50 + \sigma_{tg} 25^0$  (kPa) – Fim de Construção
- $s = 80 + \sigma_{tg} 19^0$  (kPa) – Fim de Construção
- $s = 10 + \sigma_{tg} 23^0$  (kPa) – Funcionamento

## 5. DESCRIÇÃO DA BACIA 1

Como já destacado, a área da Bacia 1 é bastante favorável à implantação das obras propostas.

O conceito geral para o projeto da Bacia 1, definido no Projeto Básico, foi possível de ser mantido no Projeto Executivo, com base nos resultados das investigações e ensaios realizados, bem como nas análises de estabilidade dos taludes.

Os resultados favoráveis permitiram otimizar os taludes, tanto para a escavação quanto para o aterro do dique. Todos os taludes foram alterados de 1V:2H para 1V:1,5H conforme está justificado em Memória de Cálculo de análises de percolação e estabilidade.

## 6. DESCRIÇÃO DA BACIA 2

O projeto da Bacia 2 foi condicionado pela forte ocorrência de areia em toda a área, o que torna toda a fundação constituída por solo muito permeável e erodível.

As análises de percolação e de estabilidade, conforme apresentado em Memória de Cálculo, mostram que toda a geometria indicada no Projeto Básico deve ser mantida no Projeto Executivo, sem alterações.

Cuidados especiais deverão ser tomados no encontro do dique com a ombreira, nas duas extremidades de forma a remover toda a areia na zona de vedação, de forma que essa vedação feche nas ombreiras em cima do solo residual.

Deve ser enfatizado que, como em toda obra geotécnica, há a necessidade de um permanente acompanhamento das obras por parte do ATO e da equipe de projeto, no sentido de se verificar se as condições reais de campo estarão correspondendo ao que foi previsto no projeto ou se haverá a necessidade de se proceder a algum ajuste corretivo.