CESAN
qualidade em saneamento



CONTRATO 0190/2022
OF Nº E-GPJ-016-001-2022

MUNICÍPIO DE DOMINGOS MARTINS

IMPLANTAÇÃO DA BARRAGEM DOS IMIGRANTES DO RIO JUCU

PROJETO GERAL

GEOLOGIA E GEOTECNIA - RELATÓRIO TÉCNICO

A-062-000-00-0-RT-0084

Intertechne CONSULTORES S.A.

Julho / 2023

IMPLANTAÇÃO DA BARRAGEM DOS IMIGRANTES DO RIO JUCU
PRJETO GERAL
GEOLOGIA E GEOTECNIA - RELATÓRIO TÉCNICO

Nº	Descrição	Prep.	Aprov.	Data
2	ALTERAÇÃO DE CÓDIGO			
1	EMISSÃO FINAL	JHP	RM	ABR/23
0	VERSÃO APROVADA	JHP	RM	MAR/23
B	INCLUSÃO DAS ANÁLISES DE ESTABILIDADE E MATERIAIS NATURAIS	JHP	RM	FEV/23
A	EMISSÃO INICIAL	JHP/ FAAB	RM	DEZ/22

REVISÕES

Intertechne CONSULTORES S.A.

CESAN
qualidade em saneamento

BARRAGEM DOS IMIGRANTES DO RIO JUCU
PROJETO BÁSICO

Elaborado por	JHP/FAAB	Monica Carvalho Gerente do Projeto
Verificado por	FAAB	
Supervisor	RM	José F. Pinheiro Machado
Data	DEZ/22	Resp. Técnico CREA PR 20532/D

CÓDIGO INTERTECHNE	Rev.
22AL-BI-4-GE-G00-00-C-12-RT-0001	2

CÓDIGO UNIFICADO	Rev.
A-062-000-00-0-RT-0084	2

JOSE FRANCO PINHEIRO MACHADO:56752890978
Assinado de forma digital por JOSE FRANCO PINHEIRO MACHADO:56752890978
Dados: 2023.07.20 09:14:25 -03'00'

IMPLANTAÇÃO DA BARRAGEM DOS IMIGRANTES DO RIO JUCU
PRJETO GERAL
GEOLOGIA E GEOTECNIA - RELATÓRIO TÉCNICO

ÍNDICE

1. ESTUDOS GEOLÓGICOS GEOTÉCNICOS 3
1.1. INFORMAÇÃO EXISTENTE 3
1.2. GEOLOGIA REGIONAL 6
1.2.1 Contexto Estrutural 6
1.2.2 Estratigrafia 7
1.3. ASPECTOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS 10
1.3.1 Arranjo geral 10
1.3.2 Critérios preliminares de suporte da fundação 12
1.3.3 Critérios preliminares de escavação 12
1.3.4 Materiais Naturais de Construção 13
2. ANÁLISE DE ESTABILIDADE 15
2.1. BARRAGEM DE TERRA 15
2.2. SEÇÕES DE ANÁLISE 15
2.3. PARÂMETROS GEOTÉCNICOS DE ANÁLISE 17
2.3.1 Parâmetros de resistência e condutividade dos materiais 17
2.4. CONDIÇÕES DE SOLICITAÇÃO 17
2.5. METODOLOGIA E CRITÉRIOS DE ANÁLISE 18
2.6. RESULTADOS 18
3. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 19

IMPLANTAÇÃO DA BARRAGEM DOS IMIGRANTES DO RIO JUCU
PRJETO GERAL
GEOLOGIA E GEOTECNIA - RELATÓRIO TÉCNICO

1. ESTUDOS GEOLÓGICOS GEOTÉCNICOS

1.1. INFORMAÇÃO EXISTENTE

Durante as etapas de projeto anteriores foi realizada uma quantidade adequada de investigações geológicas e geotécnicas. As campanhas de investigações consistiram na execução de sondagens mistas e a percussão, além da realização de ensaios de perda d'água sob pressão em rocha e ensaios de infiltração dos solos.

A área de implantação do empreendimento foi objeto de 3 (três) campanhas de investigações, conforme dados apresentados na Tabela 1-1 a Tabela 1-3.

Tabela 1-1. Resumo das sondagens do anteprojeto

Sondagens	Cota da Boca (m)	Coordenadas (m)		Espessura de Solo (m)	Espessura de Rocha (m)	Profundidade Total (m)	Ensaios		
		E	N				SPT	INF	EPA
PRIMEIRA ETAPA									
SM-01	117,53	336.635	7.746.094	8,16	7,04	15,20	8	4	3
SM-02	104,44	336.618	7.746.107	2,96	9,94	12,90	2	1	3
SM-03	85,34	336.546	7.746.172	5,76	15,84	21,60	4	3	5
SM-04	131,89	336.452	7.746.239	12,21	5,43	17,64	12	6	3
SM-05	123,59	336.582	7.746.000	7,56	9,47	17,03	7	4	3
SM-06	85,51	336.946	7.745.897	4,07	6,77	10,84	4	2	3
SM-07	65,57	336.930	7.745.890	2,41	7,80	10,21	2	1	3
SM-08	111,73	336.606	7.746.077	11,84	2,00	13,84	11	6	/
SM-09	129,13	336.487	7.745.943	12,78	1,09	13,87	12	7	/
SP–10	81,04	336.509	7.746.064	0,90	/	0,90	/	/	/
SP–10A	81,04	336.509	7.746.060	0,90	/	0,90	/	/	/
SP–10B	81,04	336.513	7.746.064	0,76	/	0,76	/	/	/
SP– 10C	81,04	336.509	7.746.068	0,80	/	0,80	/	/	/
SP-11	76,94	336.488	7.746.135	1,65	/	1,65	/	/	/
SP–11A	76,94	336.488	7.746.139	1,76	/	1,76	/	/	/
SP–11B	76,94	336.484	7.746.135	1,04	/	1,04	/	/	/
SP– 11C	76,94	336.488	7.746.131	1,55	/	1,55	/	/	/
SM-12	123,33	336.474	7.746.331	14,82	7,83	22,65	14	8	3
SM-13	108,34	336.450	7.746.405	1,19	8,93	10,12	1	/	3
TOTAIS FINAIS (1ª + 2ª ETAPA)				**93,12**	**82,14**	**175,30**	**77**	**42**	**29**

Fonte: Relatório CESAN E-062-000-00-RT-0002

Tabela 1-2. Resumo das sondagens das Séries 100, 200, 300 e 400

ESTRUTURA	SONDAGEM	COORDENADAS EXECUTADAS		COTA DE BOCA (m)	ESP. SOLO (m)	ESP. ROCHA (m)	PROF. EXECUTADA (m)	ENSAIO DE INFILTRAÇÃO	ENSAIO DE PERDA D'ÁGUA
		N (m)	E (m)						
Túnel de Adução	SM-101	7.745.970, 829	336.438,325	118,87	12,65	12,65	25,30	-	-
	SM-102	7.745.951,396	336.453,407	126,70	16,70	15,50	32,20	-	-
Barragem	SM-103	7.746.032,522	336.445,902	101,32	15,15	12,60	27,75	5	-
	SM-104B	7.746.091,291	336.452,477	72,14	4,11	9,8	13,91	-	2

BARRAGEM DOS IMIGRANTES DO RIO JUCU

ESTRUTURA	SONDAGEM	COORDENADAS EXECUTADAS		COTA DE BOCA (m)	ESP. SOLO (m)	ESP. ROCHA (m)	PROF. EXECUTADA (m)	ENSAIO DE INFILTRAÇÃO	ENSAIO DE PERDA D'ÁGUA
		N (m)	E (m)						
	SM-105	7.746.147,017	336.445,835	76,65	3,90	12,10	16,00	1	3
	SM-106	7.745.980,993	364.484,224	114,88	18,30	13,60	31,90	6	-
	SM-107	7.746.033,865	336.482,256	93,44	11,80	9,00	20,80	4	3
	SM-108	7.746.091,909	336.479,941	72,13	5,73	7,77	13,50	-	2
	SM-109	7.746.143,495	336.479,763	76,50	1,85	6,10	7,95	1	2
	SM-110	7.746.190,139	336.477,049	104,18	4,53	8,35	12,88	2	2
	SM-111	7.746.033,655	336.519,797	91,20	3,10	5,95	9,05	1	2
	SM-112	7.746.092,522	336.519,029	72,65	3,60	12,96	16,56	-	-
	SM-113	7.746.148,934	336.518,554	77,15	6,05	8,05	14,10	2	3
Túnel de Desvio - Tomada	SM-114	7.746.220,348	336.376,507	92,80	20,11	5,89	26,00	-	-
	SM-115	7.746.224,890	336.396,152	101,37	22,50	9,50	32,00	-	-
Eixo - Vertedouro - Opção 1	SM-116*	7.746.312,686	336.432,057	126,07	32,20	8,25	40,45	10	3
	SM-117	7.746.362,656	336.424,591	121,09	25,25		25,25	13	-
	SM-118*	7.746.410,497	336.410,058	124,27	11,15	5,03	16,18	4	1
Canal de Restituição - OPÇÃO 1	SM-119	7.746.379,808	336.485,505	102,23	12,45	6,25	18,70	-	-
	SR-201	7.746.329,597	336.474,210	123,03	13,85	17,25	31,10	-	-
Túnel de Desvio - Descarga	SM-120	7.746.215,884	336.560,553	94,70	3,05	6,05	9,10	-	-
	SM-120A	7.746.276,556	336.550,964	88,79	4,45	7,60	12,05	-	-
	SM-121	7.746.280,927	336.565,314	80,05	2,40	10,10	12,50	-	-
	SM-123	7.746.218,688	336.567,642	90,70	0,95	11,75	12,70	-	-
Pedreira	SM-122	7.746.560,561	336.571,108	161,12	3,50	6,56	10,06	-	-
Vertedouro - Opção 2	SM-202	7.746.221,028	336.465,003	124,64	21,00	6,15	27,15	8	2
	SR-203	7.746.241,719	336.459,781	132,26	32,30	5,15	37,45	-	3
	SR-204	7.746.265,640	336.452,515	132,38	26,50	-	26,50	-	-
	SM-205	7.746.244,603	336.484,204	126,40	23,01	8,61	31,62	8	2
	SM-206	7.746.240,227	336.441,229	128,61	23,60	6,12	29,72	8	2
	SP-207	7.746.259,147	336.521,577	105,88	8,75	-	8,75	-	-
	SM-208	7.746.265,640	336.457,515	132,20	35,15	9,90	45,05	13	4
	SM-209	7.746.236,718	336.449,955	130,52	24,50	5,67	30,17	10	2
EIXO - VERTEDOURO - OPÇÃO 3	SM-301	7.746.371,834	336.410,964	120,329	21,70	6,10	27,80	-	-
	SM-303*	7.746.394,787	336.401,608	121,091	14,00	5,90	19,90	6	1
	SM-308*	7.746.431,420	336.397,833	129,22	6,10	7,95	14,05	2	1
CANAL DE RESTITUIÇÃO - OPÇÃO 3	SM-302	7.746.376,761	336.456,199	108,925	23,00	5,67	28,67	-	-
	SM-304*	7.746.403,487	336.542,453	80,20	9,10	11,02	20,12	4	3
	SM-305*	7.746.416,719	336.510,060	95,32	14,00	5,95	19,95	5	2
	SM-306	7.746.412,983	336.588,197	73,83	8,45	7,16	15,61	6	2
	SM-307*	7.746.400,951	336.425,842	110,44	2,09	8,76	10,85	-	1
Ensecadeira de Montante	SP-301	7.746.079,384	336.420,272	78,12	3,44	-	3,44	-	-
	SP-302	7.746.148,738	336.422,485	73,86	1,10	-	1,10	-	-
Sondagens Confirmatórias	SM-401	7745944,226	336486,606	128,94	20,50	6,85	27,35	-	-
	SP-402	7746063,212	336509,030	80,92	1,85	-	1,85	-	-
	SM-403	7746173,363	336546,392	85,55	0,80	5,7	6,50	-	-

Fonte: Relatório CESAN E-062-000-00-RT-0002

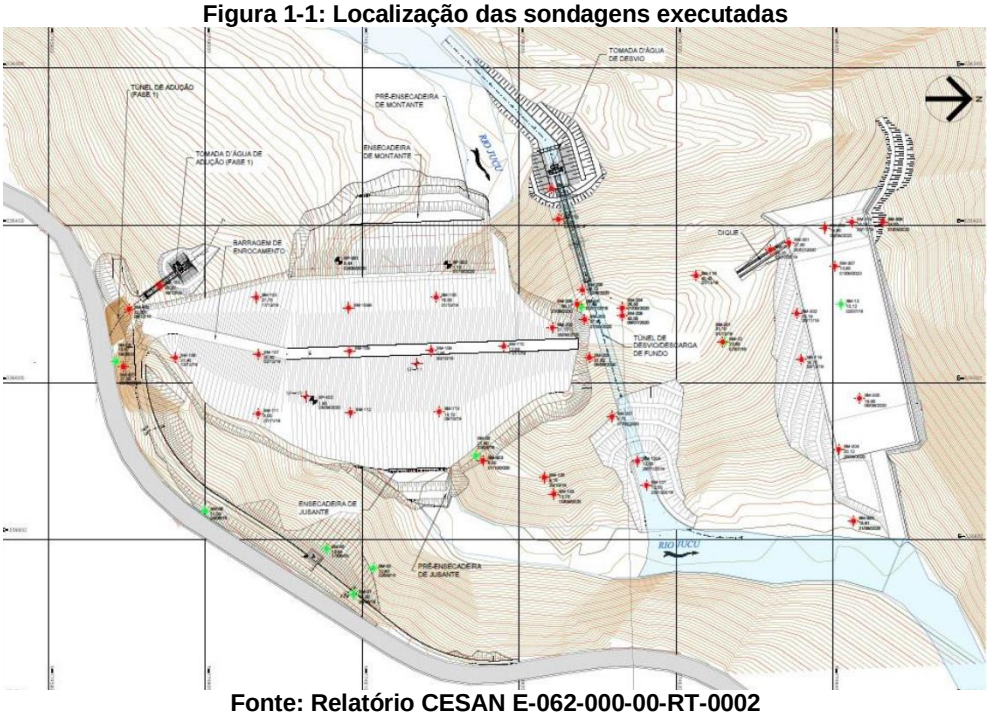
Tabela 1-3. Síntese das investigações executadas – Sondagem a trado (ST)

ÁREA	SONDAGEM	COORDENADAS EXECUTADAS		COTA DE BOCA (m)	PROF. EXECUTADA (m)
		N (m)	E (m)		
AE-01	ST-01	7.746.299,374	336.169,359	155,70	5,00
	ST-02	7.746.295,170	336.221,525	136,35	5,00
	ST-03	7.746.195,062	336.178,936	122,08	6,00
	ST-04	7.746.094,18	336.136,49	75,45	4,80
	ST-05	7.746.091,076	336.184,458	87,97	6,00
AE-02	ST-06	7.746.327,009	336.441,807	127,27	6,00
	ST-07	7.746.276,963	336.441,783	130,21	3,00
	ST-07A	7.746.276,963	336.441,783	130,21	3,00
	ST-08	7.746.289,146	336.475,750	132,17	3,30
	ST-08A	7.746.289,146	336.475,750	132,17	2,00
	ST-09	7.746.232,536	336.448,470	129,60	3,00
	ST-09A	7.746.232,536	336.448,470	129,60	2,00
	ST-10	7.746.242,066	336.475,042	131,65	6,00
AE-04	ST-16A	7.746.014,068	336.357,941	88,11	6,00
	ST-17	7.745.976,327	336.403,961	105,17	6,00
	ST-18	7.745.942,991	336.339,289	101,02	6,00
	ST-19	7.745.909,654	336.274,618	102,25	6,00
	ST-20	7.745.871,914	336.320,637	131,29	6,00

Fonte: Relatório CESAN E-062-000-00-RT-0002

A localização das sondagens é ilustrada na Figura 1-1.

Figura 1-1: Localização das sondagens executadas



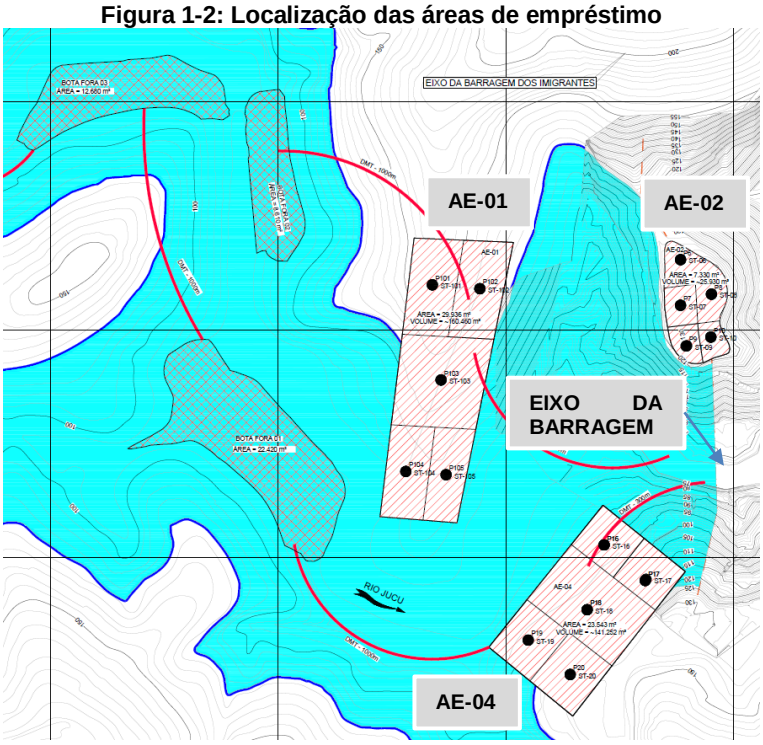
Fonte: Relatório CESAN E-062-000-00-RT-0002

Além das investigações diretas foi realizado um levantamento geofísico por sísmica de refração, que compreendeu a execução de 26 lineamentos sísmicos localizados na área da barragem, pedreira, áreas de empréstimo e vertedouro.

Das investigações resultaram ainda a exploração de 3 (três) possíveis áreas de empréstimo, cujas localizações são apresentadas a seguir na

Figura 1-2.

Figura 1-2: Localização das áreas de empréstimo



É interessante destacar a curta distância entre as áreas de empréstimo até o local de construção indicado pelo eixo da barragem.

1.2. GEOLOGIA REGIONAL

1.2.1 Contexto Estrutural

A área de interesse está situada dentro do Orógeno Araçuaí que se estende do Cráton do São Francisco ao litoral atlântico, aproximadamente entre os paralelos 15º e 21º S. Na altura do paralelo 21º, a passagem do Orógeno Araçuaí para o Orógeno Ribeira é marcada pela deflexão da estruturação brasiliana que muda da direção NNE, a norte, para NE, a sul.

O domínio tectônico interno é, de fato, o núcleo metamórfico-anatético do orógeno, onde ocorre espetacular quantidade de rochas graníticas originadas em estágios diversos da Orogênese Brasiliana. Este domínio inclui também a zona de sutura com remanescentes oceânicos e o arco magmático cálcio-alcalino. O relevo é do tipo "mar-de-morros" com “pães-de-açúcar” frequentes. Ao sul do paralelo 19º está preservada a porção mais profunda do núcleo metamórfico, onde rochas da fácies granulito são comuns. Á norte do paralelo 19º localiza-se uma extensa zona de anatexia sin a pós-colisional, rica em granitos do tipo S, foliados ou isotrópicos.

Na parte ocidental do domínio interno predomina transporte tectônico para sudoeste, mas na sua região oriental registra-se transporte para leste (em particular no extremo leste de Minas Gerais e norte do Espírito Santo).

Parte da área abrangida pela bacia do rio Jucu está localizada sobre rochas de médio grau de metamorfismo por vezes cortadas por rochas intrusivas ácidas e básicas, estando recobertas, na faixa costeira por sedimentos terciários da Formação Barreiras.

As rochas do Complexo Paraíba do Sul, no Proterozóico Superior, foram submetidas à intensa deformação, oriunda de esforços compressivos de direção SE-NO, e certamente de movimentos tangenciais deles resultantes. No mesmo período, sucederam-se também intrusões graníticas, granitização e potassificação generalizadas, eventos esses que transformaram quase por completo as características anteriores das rochas.

O Complexo Paraíba do Sul compreende uma sequência proterozóica de rochas supracrustais de características vulcano-sedimentares, fortemente migmatizada e granitizada.

O padrão estrutural do Grupo Paraíba do Sul é intrincado, com pelo menos uma fase de dobramentos anteriores aqueles que podem ser considerados Brasilianos, como pode se observado na região de São Bento do Sapucaí e Campos do Jordão.

As rochas do complexo Charnockítico seguem a mesma direção da foliação do Complexo Migmatítico, com atitude em torno de N40° - 50°W, com mergulhos para NE, sendo que o aspecto bandeado de alguns charnockitos é função direta da tectônica e as evidências de dobramentos são quase inexistentes.

As rochas da área de interesse apresentada no mapa de geológico regional encontram-se afetadas por duas feições geo-estruturais significativas, sendo uma responsável pelo desenvolvimento da foliação / xistosidade regional. A segunda encarregou-se de gerar zonas de cisalhamento de alto ângulo com direções preferenciais NW-SE, NE-SW e N-S.

1.2.2 Estratigrafia

A Bacia Hidrográfica do Rio Jucu situa-se entre os paralelos 20°S e 30°S, ocupando uma área estimada de 2.000km². Suas cabeceiras estão situadas na Serra do Castelo, na região serrana central do estado do Espírito Santo, com extensão aproximada de 227,0km até sua foz, no Oceano Atlântico.

Fisiograficamente, o rio Jucu apresenta o perfil longitudinal dividido em três partes: trecho superior, com desnível de mais de 300,0m em 35,0km de curso; trecho intermediário, com 30,0km de extensão e 100,0m de desnível; e trecho inferior, com desnível superior a 500,0m em 40,0km de extensão.

É formado por dois braços, Braço Norte e Braço Sul e a jusante desta confluência recebe afluentes em ambas as margens.

O desenvolvimento do Braço Norte até a confluência com o Braço Sul é estimado em 122km, com uma Bacia Hidrográfica com área de cerca de 1.146km2, limitada ao norte com a Bacia do Rio Santa Maria. As cabeceiras estão acima de altitude de 1200m, e até a sua confluência com o Braço Sul, ele vence um desnível de mais de 1.150m. A partir de sua confluência com Braço Sul até o mar tem uma extensão estimada em 46km.

As unidades litoestratigráficas que ocorrem na região da bacia hidrográfica do Rio Jucu, apresentam rochas com variações cronológicas desde o Pré-Cambriano até cenozoico. Essas unidades serão descritas abaixo, tomando-se em conta a sequência estratigráfica, os hiatos cronológicos correspondem a unidades geológicas não presentes na bacia hidrográfica e por isso não são descritos. Para as descrições que se seguem foram utilizados os trabalhos publicados pela CPRM: Geologia e Recursos Minerais do Estado do Espírito Santo – Programa Geologia do Brasil – Integração, Atualização e Difusão de Dados da Geologia do Brasil – Mapas Geológicos Estaduais – Escala 1:400.000 – 2015

e Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil – Domingos Martins – Folha SF.24-v-A-III – Estado do ESPÍRITO SANTO – Brasília 1993.

- Coberturas Superficiais

  Depósitos fluviais argilo-arenosos e arenosos recentes - Q2a

  São constituídos por areias quartzosas de granulação média a grossa, de grãos angulosos mal selecionados, conglomeráticas, micáceas, por vezes com cascalhos e intercalações argilosas.

  Ocorrem na costa leste do estado, porém sua maior ocorrência é na foz do Rio Doce e nas suas respectivas planícies de inundação.

- Cordões litorâneos recentes - Q2cl

  A origem dos cordões litorâneos está relacionada com abaixamento do nível do mar, e consequente progradação da linha de costa, que resultou em extensas planícies de cordões litorâneos ao longo da costa.

  Os cordões litorâneos são constituídos por areia quartozosa de granulometria variável, por vezes, apresentam-se com textura fina, boa seleção e ausência de minerais micáceos.

- Grupo Barreiras - Enb

  O Grupo Barreiras se estende desde o litoral norte do Amapá, até o litoral sudeste do Rio de Janeiro, recobrindo o embasamento pré-cambriano. Essa formação é constituída predominantemente de arenitos quartzosos, cauliníticos, maciço ou com estratificações, de coloração vermelha a alaranjado. No Estado do Espírito Santo, o Grupo Barreiras possui bastante destaque no norte do estado, porém na região sul a ocorrência é bem restrita.

  Os depósitos do Grupo Barreiras estão relacionados a associações faciológicas de ambiente fluvial entrelaçado, com menor participação de sedimentos depositados por fluxos de detritos e fácies de planície de inundação.

- Suíte Intrusiva Espírito Santo

  Maciço Viana - εγ5lesvi(gr) - εγ5lesvi(ck)

  Os corpos de granito (gr) localizados no sul da cidade de Vitória são classificados como alcalinos de granulação fina a média por vezes porfiríticos, tipo I. O corpo de charnockito (ck) localizado nas proximidades da cidade de Viana é caracterizado como porfirítico, metaluminoso, calcioalcalino de alto K.

  Maciço Vitória - εγ5les (vit)

  O maciço é composto predominantemente por granito porfirítico (vit), de granulação média e por vezes com foliação de fluxo magmático. Observa-se ainda em afloramentos localizados em ilhas e costões rochosos, a presença de migmatitos e leucogranitos.

  Maciço Mestre Alváro - εγ5les (ma)

  Granito porfirítico de composição heterogênea, localizado predominantemente a norte de Vitória, na cidade de Serra.

- Província Mantiqueira

Granitoides foliados a gnáissicos dominantemente metaluminosos, Calcialcalinos, Tipo I - NP3γ1l (jqt) - NP3γ1l (st) - NP3γ1l (ac)

Os ortognaisses Jequitibá (jqt) de composição tonalítica possuem variações para quartzodiorítica e granodiorítica, raramente granítica ou quartzo-monzodiorítica. Geralmente possuem cor cinza-clara a esbranquiçada, às vezes cinza-escura, granulação grosseira e são compostos de quartzo, feldspato, biotita, pouca granada e, localmente anfibólio. São descritos veios de quartzo, aplíticos e pegmatíticos, que cortam estas rochas ou preenchem fraturas.

Os ortognaisses enderbíticos Santa Tereza (st) compõem-se de quartzo, feldspato, biotita, hiperstênio, subordinadamente anfibólio e granada. Possuem granulação média a grossa, geralmente possuem foliação incipiente bem pronunciada e cor cinza-escura, esverdeada e amarelada quando alterada.

Os ortognaisses Alfredo Chaves (ac) ocorre nas proximidades das cidades de São Miguel e Alfredo Chaves. Englobam rochas de coloração cinza e esbranquiçada, leucocráticas e de granulação grosseira. Possuem estruturas gnáissicas com porções maciças e foliações de baixo ângulo.

Complexo Nova Venécia - NP3nv

O Complexo Nova Venécia é constituído de paragnaisses peraluminosos, ricos em biotita, cordierita, granada e/ou sillimanita, com intercalações de cordierita granulito e rocha calcissilicática.

No Mapa Geológico do Estado do Espírito Santo estes gnaisses ocorrem primeiramente na porção noroeste, na divisa com estado de Minas Gerais, depois torna a ocorrer mais a sudeste em Nova Venécia, cidade que deu o nome, e se estende continuamente sentido norte-sul até as proximidades da cidade de Iconha.

Vieira (1993), e Baltazar (2010) individualizaram gnaisses quartzosos. Trata-se de uma sequência pelito-areno-carbonática constituída predominantemente por granadasillimanita (cordierita) gnaisses, localmente deformados, com intercalações de gnaisses calcissilicáticos, biotita-granada xistos, muscovita-xistos e quartzitos.

Os granada-sillimanita (cordierita) gnaisses representam a sequência originalmente pelítica. Existem pequenas variações composicionais, que podem refletir variações faciológicas, determinadas não só pelo conteúdo de seus componentes mineralógicos essenciais, tais como quartzo, granada, biotita, sillimanita e plagioclásio, mas também pela variação granulométrica local ocorrendo mobilizados quartzo-feldspáticos denunciando migmatização localizada.

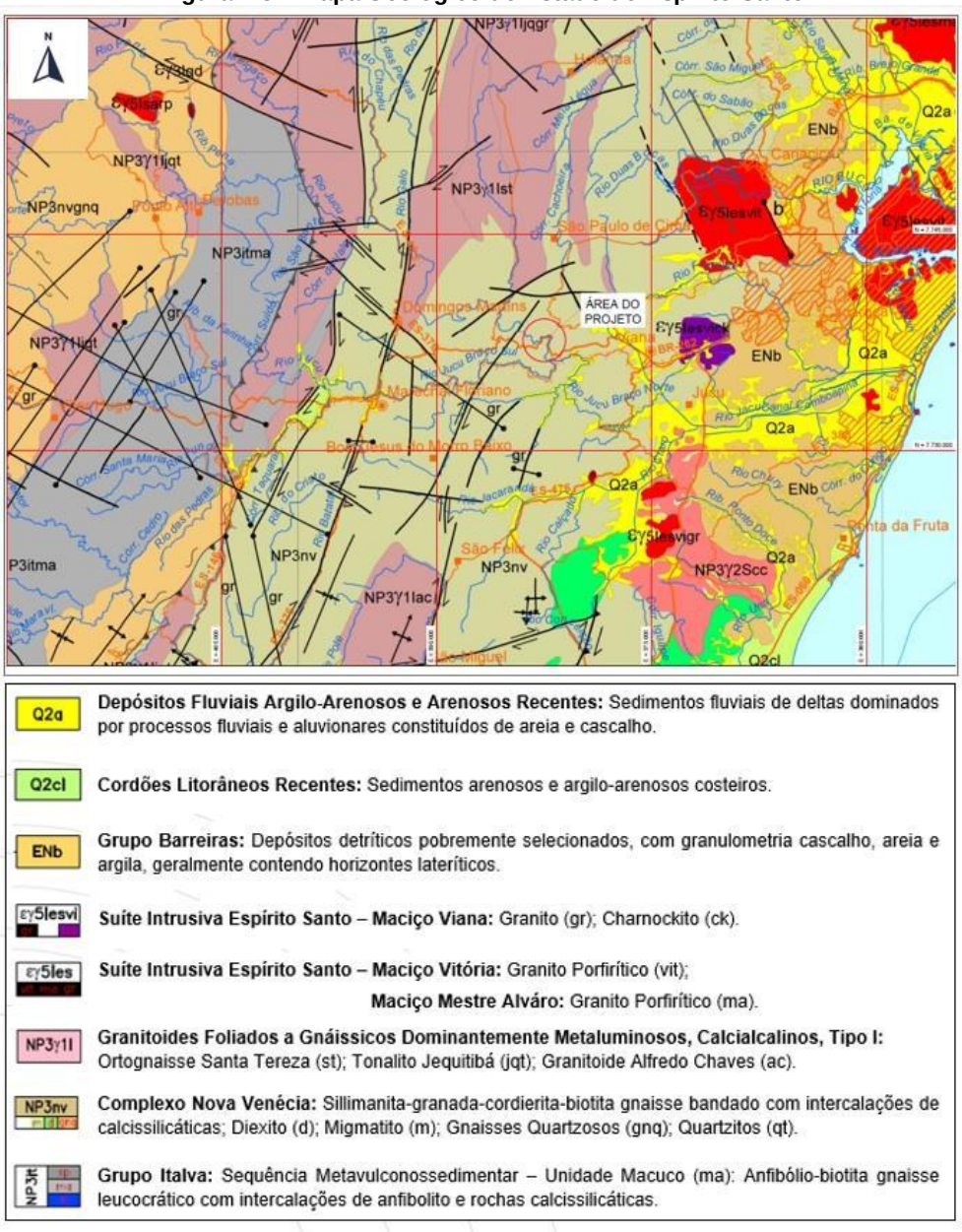
Grupo Italva - NP3it (ma)

A Unidade Macuco foi individualizada a leste dos maciços Mimoso do Sul, Castelo e Aracê, aparece no mapa na parte central de forma alongada. É formada por um conjunto de gnaisses homogêneos, cujas características e associações com outros litotipos, sugerem origem vulcanossedimentar.

Dois tipos principais de gnaisses constituem a Unidade Macuco: hornblenda-biotita gnaisse, com intercalações anfibolito, muscovita-sillimanita-(granada)-biotita gnaisses, rochas calcissilicáticas, mármore e rochas metaultramáficas; e granada-biotita gnaisse. Essa unidade segundo Duarte (2012), o hornblenda-biotita gnaisse tem coloração cinza clara, granulação dominantemente fina, sendo

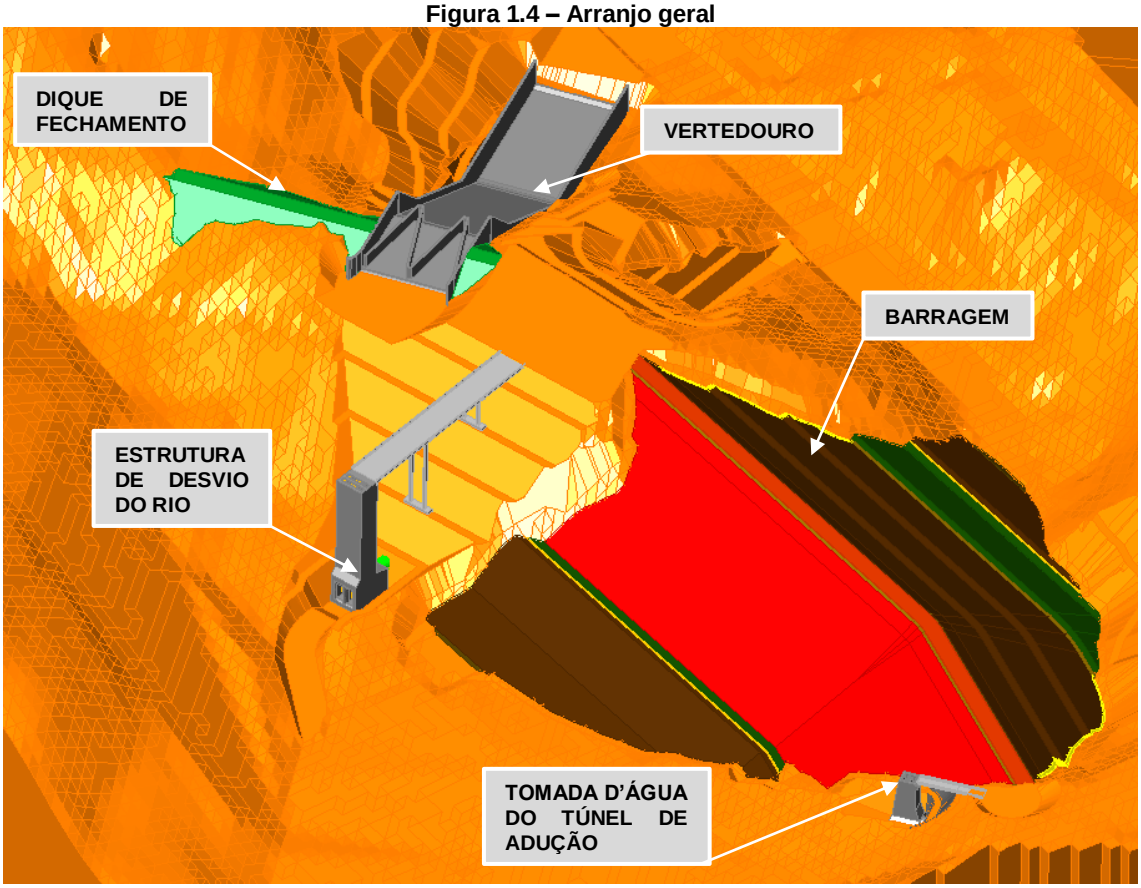
localmente, fina a média, e composição variando de granítica a granodiorítica. É comumente anisotrópico, apresentando bandeamento fino dado pela alternância de bandas milimétricas a centimétricas quartzofeldspáticas e filmes ricos em biotita e, localmente, granada. Xistosidade grossa pouco penetrativa é definida pela orientação incipiente de cristais de biotita e, localmente, também de porfiroblastos de feldspato.

Figura 1-3 – Mapa Geológico do Estado do Espírito Santo


N
ÁREA DO PROJETO
NP3γ1ljqgr
NP3γ1ljqt
NP3γ1lst
NP3nvgnq
NP3itma
NP3γ1lqt
NP3nv
NP3γ1lac
P3itma
Q2a
ENb
Q2cl
Ponta da Fruta
NP3γ2Scc
Rio Jucu Braço Sul
Rio Jucu Braço Norte
Rio Jucu
Rio Santa Maria
Rio das Pedras
Rio Formate
Rio Crubixá
Rio Claro
Rio Ribeirão Fundão
Rio Ribeirão Duas Bocas
Rio Ribeirão Carapina
Rio Ribeirão Santa Luzia
Rio Ribeirão Jacaraípe
Rio Ribeirão Formate
Rio Ribeirão Jacu
Rio Ribeirão Ponta da Fruta
Rio Ribeirão Ponta Grande
Rio Ribeirão Ponta Pequena
Rio Ribeirão Ponta Pequena
Rio Ribeirão Ponta Pequena

tipo labirinto com crista na elevação 120,00 m posicionado na ombreira esquerda. O desvio do rio para a construção do barramento está posicionado na margem esquerda, e será realizado por um túnel.

Figura 1.4 – Arranjo geral



Barragem

a) Fundação

Neste local contou-se com as informações de 17 sondagens mistas. A partir das sondagens apresentadas, na região da barragem e tomada d'água do túnel de adução é observada a presença de camadas de solo na ordem de 10 m na ombreira direta, e 4 m na ombreira esquerda da barragem.

A permeabilidade do solo residual e rocha alterada é da ordem de $1x10^{-4}$cm/s.

As camadas superficiais são constituídas de solos coluvionares, residual maduro, com NSPT médio de 8 golpes. A camada subjacente é constituída de solos de rocha alterada, com NSPT acima de 40 para as camadas inferiores, antes de se alcançar os patamares de rocha. Esses solos apresentam valores de permeabilidade na ordem de 10^{-4} cm/s.

De maneira geral é esperado que os solos apresentem capacidade de carga na ordem de 300 kPa, o que a princípio garante as condições de estabilidade das fundações para as estruturas avaliadas, onde são esperadas cargas na ordem de 100 kPa no vertedouro, e de até 1.000 kPa na barragem, onde as escavações permitirão atingir camadas de fundação em rocha e com maior capacidade de carga, com resistências estimadas em 20 MPa.

Para a barragem, o eixo estudado visa a utilização de materiais de construção provenientes das escavações obrigatórias durante a obra. As sondagens realizadas nas

áreas de empréstimo indicam materiais terrosos que a princípio atendem aos critérios de boa prática da engenharia para sua utilização como núcleo impermeável para o caso de barragem de enrocamento com núcleo de argila.

b) Seção da barragem

A seção da barragem será composta por maciço homogêneo de solo compactado, com espaldar em enrocamento compactado no talude de jusante.

Está previsto a construção de filtro vertical até a cota 120,50 m, além de tapete drenante ao longo da base da barragem.

Os parâmetros de resistência dos materiais foram definidos em função dos resultados dos ensaios de laboratório apresentados nos documentos E-062-000-00-0-MC-0012-0, parâmetros geológicos geotécnicos, e E-062-000-00-0-MC-0012-0, referente à memória de cálculo de estabilidade da barragem do projeto executivo.

Estruturas de concreto

a) Fundação

Na região do túnel de desvio, as investigações apontam boas características dos solos, com NSPT na ordem de 15 golpes nas camadas abaixo de 5 m. Os horizontes de material terroso nessa região se aprofundam até aproximadamente 20 m. Não foram realizados ensaios de permeabilidade, porém, é provável que os solos apresentem valores de condutividade na ordem de 10^{-4} cm/s, assim como observado nas investigações realizadas no eixo da barragem do projeto executivo apresentado.

As características da fundação do vertedouro são similares das demais regiões analisadas, com NSPT médio acima de 20 golpes, e coeficiente de permeabilidade de aproximadamente 10^{-4} cm/s.

1.3.2 Critérios preliminares de suporte da fundação

Em termos de capacidade de suporte, como critério geral tem-se:

- Estruturas de concreto: Nspt > 30 golpes;

- Barragem de enrocamento > 20m: Nspt > 20 golpes;

- Barragem de terra homogênea >20m: Nspt > 8 golpes.

Tais critérios servem como guia mas são ajustados caso a caso, em função das possibilidades e condições topográficas e geológicas em cada situação.

1.3.3 Critérios preliminares de escavação

Os taludes de corte a serem realizados durante as escavações em solo e em rocha, na fase do projeto básico, terão as seguintes geometrias:

- Taludes temporários em solo, com posterior reaterro: Inclinação máxima de 0,75:1,0 (H:V);

- Taludes permanentes em solo: Inclinação máxima de 1,2:1,0 (H:V) bancada máxima 12m e largura de berma mínima 3m; e

- Taludes em rocha: Inclinação máxima de 0,25:1,0 (H:V) com berma de 3,0m a cada 10m de altura.

As condições de estabilidade, entretanto, foram ajustadas ao longo do desenvolvimento do projeto básico em função de análises específicas de estabilidade.

Os critérios de estabilidade serão definidos ao longo do desenvolvimento do projeto, devendo, entretanto, os fatores de segurança atenderem aos critérios de projeto civil da Eletrobrás, além dos critérios da Agência Nacional de Águas (ANA), NBR 11.682 e critérios de barragens de terra e enrocamento da USACE.

1.3.4 Materiais Naturais de Construção

Na Tabela 1-4 está apresentado um resumo das necessidades de materiais naturais de construção para a Barragem dos Imigrantes.

Tabela 1-4 – Necessidades de materiais naturais

	volume na seção (m³)	Volume no corte (m³)	observações
Solo silto argiloso	**508.300**	**660.790**	
Barragem	485.800	631.540	
Ensecadeiras	22.500	29.250	
Areias	**30.500**	**36.600**	
Areia Filtros	16.400	19.680	
Areia Concretos	14.100	16.920	0,65m³/m³
Transições naturais (cascalho)	**18.020**	**21.624**	
Rocha	**197.140**	**197.140**	
Transições processadas aterros	540	540	
Brita para concreto	14.700	14.700	0,65m³/m³
Enrocamento	181.900	181.900	

Áreas de empréstimo de solo

As sondagens executadas na área de implantação do empreendimento, bem como a observação dos diversos cortes estradais, indicam a ocorrência de solos residuais de ganisses com características tátil-visuais que indicam o uso adequado para as obras de terraplenagem da barragem e ensecadeiras.

Tais solos caracterizam um perfil típico de alteração das rochas gnáissicas, que varia desde rocha sã até os solos residuais maduros. Tais perfis podem facilmente atingir espessuras totais superiores a 10 m.

Foram identificadas 3 áreas de empréstimo para solos finos, denominadas como AE-01; AE-02 e AE-04. A localização dessas áreas está indicada no desenho 22AL-BI-4-GE-G00-00-C-12-DE-0003/A-062-000-00-0-XX-0212.

Investigações por sondagens a trado foram executadas nessas áreas para a caracterização dos materiais disponíveis para uso no empreendimento. Os resultados dos ensaios realizados nas amostras coletadas nesses furos podem ser encontrados no Anexo II.

Na área de empréstimo AE0-01 foram perfuradas as investigações ST-101; ST-102; AT-103; ST-104 e ST-105. A área total estimada é de 29.936 m², com um volume disponível de aproximadamente 160.460 m³

A AE-02 possui uma área total de 7.330 m², com um volume disponível estimado de aproximadamente 25.930 m³ de solo. Neste local foram realizadas as sondagens a trado ST-06; ST-07; ST-08; ST-09 e ST-10.

A área de empréstimo AE-04 foi investigada com as sondagens a trado ST-16; ST-17; ST-18; ST-19 e ST-20, definindo uma área total de cerca de 23.543 m², resultando em um volume teórico disponível de 141.252m³.

Areia

De acordo com os relatórios elaborados nas fases anteriores de projeto, na área de implantação do empreendimento ocorrem areias naturais na calha do rio Jucu, que durante certo período foram exploradas comercialmente como agregado fino na construção civil.

O relatório final do anteprojeto, elaborado pela PCE (agosto/2017), registra a ocorrência de duas balsas para extração de areia da calha do rio, com origem aluvionar. Tais balsas estariam posicionadas nas coordenadas aproximadas 336.626 O; 7.746.372 S, na região do eixo em estudo, e a outra está mais a montante nas proximidades das coordenadas: 327.450 O; 7.752.520 S, a montante da PCE São Pedro.

De acordo com o registro feito pela PCE, o trecho a jusante da barragem recebe anualmente uma quantidade reduzida de areias cuja exploração atende apenas a pequenas demandas e as atividades de extração de areia praticamente paralisadas.

O trecho de montante apesar de não ser afetado pela barragem, atualmente tem sua disponibilidade de areias também reduzida, pelas condições naturais. Conforme narrativa local, a balsa de montante chegou a extrair cerca de 1200 caminhões de 6 a 7 m3 por ano. Atualmente, devido à falta de grandes cheias no Rio Jucu, não tem havido reposição das areias extraídas e, por isso, estima-se, que o volume disponível não deverá ultrapassar (em 2017) cerca de 200 a 300 caminhões.

Dessa forma, se considera que as areias para uso nos concretos deverá provir da central de britagem (areia artificial).

Por outro lado, pode ser considerada a possibilidade do uso de areias naturais do aluviões como filtros para a barragem de terra. Entretanto a disponibilidade e adequabilidade dessas areias para esse fim deve ser investigada para confirmação dos volumes e atendimento às faixas granulométricas do projeto.

Rocha

Na região ocorrem diversos afloramentos de rochas gnáissicas, que se mostram adequados tanto para produção de material para enrocamento, como para a produção de agregados para confecção dos concretos e areias artificiais. A escolha da frente de exploração estará mais condicionada pela logística de transporte e britagem do que pela disponibilidade desses materiais, que são abundantes e com características adequadas às necessidades da obra.

Na ombreira esquerda, a jusante, ocorre um importante afloramento rochoso que exibe superficialmente boas características geomecânicas.

Para investigar essa potencial pedreira foi executada uma sondagem mista (SM-122) que amostrou a camada superior formada por solo de alteração de rocha (SAR) com espessura de 3,6m constituído por silte arenoso (areia fina).

Abaixo desse horizonte solos residuais foi interceptado o topo do maciço rochoso (El. 157,52 m), composto por granada-biotita-gnaisse com bandeamento sub-horizontal e grau de alteração que varia de medianamente alterado (A3) a muito alterado (A4) nos trechos mais rasos e rocha sã (A1) nos trechos mais profundos. O maciço apresenta-se extremamente fraturado (F4) a fragmentado (F5) nos trechos mais rasos e fraturado (F2) nos trechos mais profundos.

Além do uso de pedreiras, deve ser considerado para produção de enrocamento, filtros e agregados para concreto o volume de rocha proveniente das escavações obrigatórias para implantação do empreendimento.

2. ANÁLISE DE ESTABILIDADE

2.1. BARRAGEM DE TERRA

Este item apresenta as diversas verificações de estabilidade dos taludes de montante e jusante da Barragem dos Imigrantes, diante das condições de solicitação, às quais a mesma estará submetida durante sua vida útil.

2.2. SEÇÕES DE ANÁLISE

Foram verificadas três seções representativas: seção de maior altura no leito do rio, além de duas seções nas margens direita e esquerda do rio, conforme indicado na Figura 2.1 a seguir. O anexo 1 apresenta a geometria das seções analisadas.

Tabela 2-1 – Descrição das seções analisadas

Seção	Descrição
1	Seção na margem esquerda
2	Seção no leito do rio
3	Seção na margem esquerda

Figura 2.1 – Localização das seções analisadas

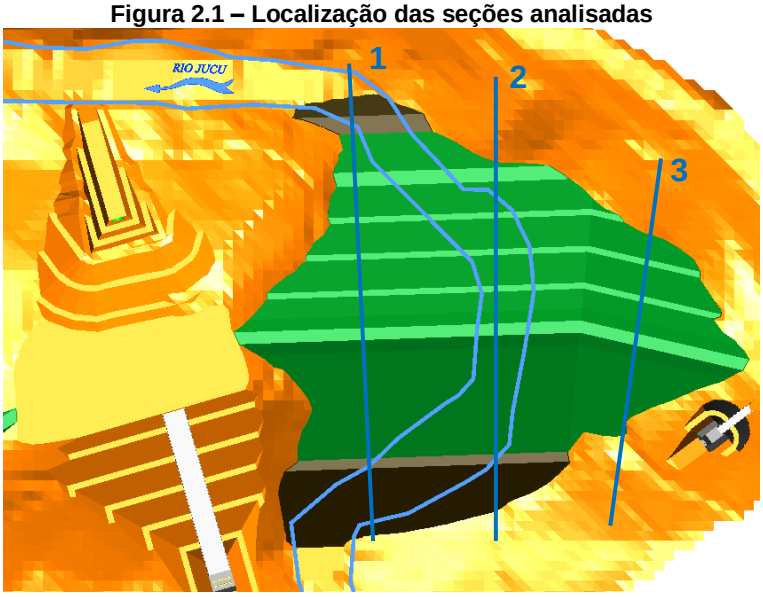
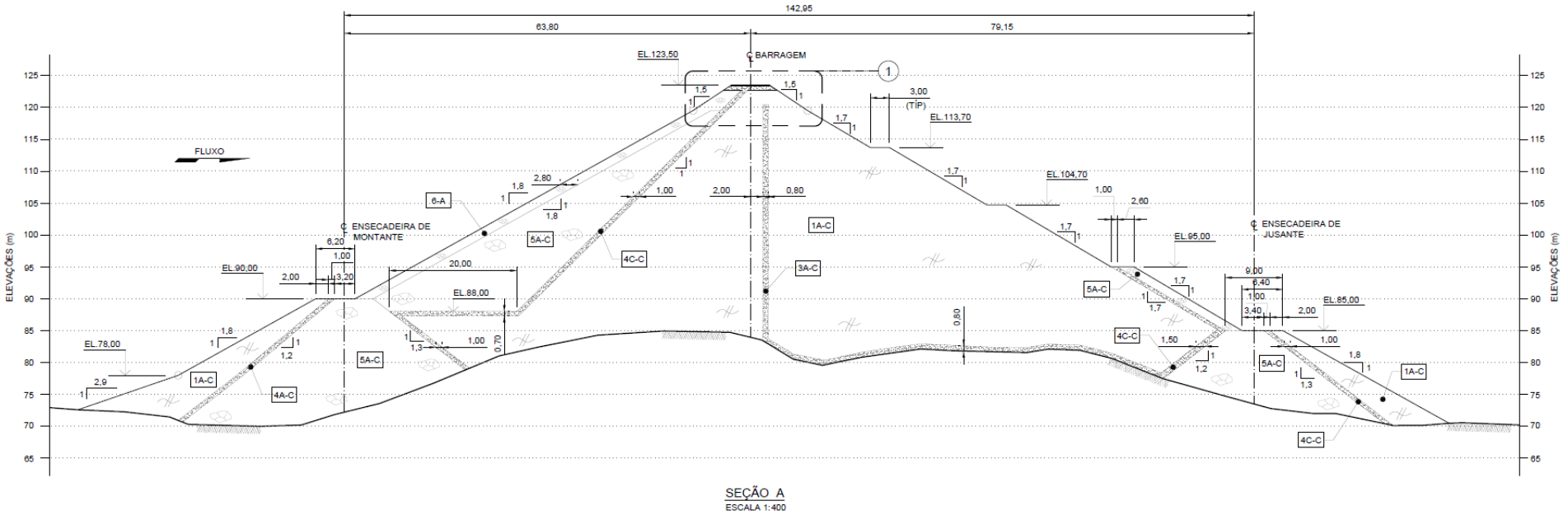


Figura 2.2 – Seção típica da barragem



2.3. PARÂMETROS GEOTÉCNICOS DE ANÁLISE

2.3.1 Parâmetros de resistência e condutividade dos materiais

Os parâmetros de resistência dos materiais de construção adotados nas análises basearam-se em valores obtidos a partir de ensaios de laboratório e valores típicos de parâmetros difundidos na literatura técnica específica.

Tabela 2-2: Parâmetros a adotar nas análises de estabilidade do projeto básico

Material	γ_{sat}	φ'	c'	k
	kN/m³	Graus	kPa	cm/s
1AC – Solo Compactado	19	28	20	10^{-7}
1AL – Solo Lançado	15	25	10	10^{-4}
3A – Material de Filtro	19	33	0	10^{-3}
4A – Transição Fina	19	33	0	10^{-3}
4B – Transição Média	19	35	0	10^{-3}
4C – Transição única	19	35	0	10^{-3}
5AC – Enrocamento Compactado	21,5	45	0	10^{-1}
5AL- Enrocamento Lançado	20	40	0	10^{-1}
Solo Residual – Fundação	18	30	20	10^{-4}
Rocha alterada – Fundação	21	32	60	10^{-4}
Rocha sã - Fundação	25	40	400	10^{-5}

NOTAS: γ: massa específica; c': coesão efetiva; Φ': ângulo de atrito efetivo; K: Coeficiente de permeabilidade.

Para os valores de condutividade hidráulica da fundação foram considerados os resultados dos ensaios de perda d'água realizados nos furos de sondagem.

Para os aterros compactados será considerada anisotropia na permeabilidade, sendo utilizada a relação kh=10kv, ou seja, o kh=$10^{-6} cm/s$.

2.4. CONDIÇÕES DE SOLICITAÇÃO

No presente estudo foram analisadas as condições de Final de Construção, Operação Normal, Operação com Sismo e Rebaixamento Rápido, considerando-se carregamentos estáticos devidos ao peso próprio do maciço e os níveis de água correspondentes a cada situação.

- Final de Construção:

Na condição de Final de Construção admite-se que o aterro em solo compactado apresenta níveis finais de terraplenagem com poropressões geradas na construção, ainda não integralmente dissipadas, sendo estas estimadas pelo parâmetro Ru constante e igual a 0,05.

Para os solos da fundação também foram considerados valores de Ru constante com o objetivo de simular eventual efeito de poropressão. O valor adotado foi de 0,05.

- Operação Normal (Regime Permanente):

A condição de Operação Normal considera nível de água de montante na elevação 120,00 (NA Máximo Normal), e considera poropressões no maciço e fundação associadas às linhas freáticas adotadas.

Não foi considerado nível de jusante nas análises da barragem.

A linha freática adotada considera NA constante a montante do filtro vertical admitindo-se uma perda de carga no aterro até a interseção com o filtro vertical. A partir do filtro vertical, no interior do tapete drenante, adotou-se um gradiente de 10%.

- Operação com Sismo:

Essa condição é semelhante à de Operação Normal, mas considera "Terremoto de Projeto", com aceleração máxima de 0,05g horizontal e 0,03g vertical.

- Rebaixamento Rápido (RR):

Para o caso de rebaixamento rápido, a verificação será realizada considerando a descida instantânea do nível de água máximo normal (120,00 m) ao nível mínimo normal (90,00 m), de modo que o regime de fluxo no interior do núcleo se mantém estacionário, condicionado pelo nível máximo do reservatório. É analisado o talude de montante para esta condição.

Como fator de segurança, uma vez que o barramento tem a função de abastecimento de água e com rebaixamento do reservatório frequente, foi adotado o valor de FS igual a 1,30.

2.5. METODOLOGIA E CRITÉRIOS DE ANÁLISE

Todas as análises foram realizadas em termos de tensões efetivas, através do método de equilíbrio limite (método de Spencer), o qual leva em consideração as forças entre fatias. Foram consideradas superfícies circulares de ruptura.

O cálculo foi realizado por meio do programa computacional Slope/W.

O cálculo para determinação da estabilidade é realizado pesquisando-se dentre as milhares de superfícies potenciais de ruptura, aquela que apresenta o menor fator de segurança.

Os fatores de segurança admissíveis adotados baseiam-se na importância, vida útil da obra e na frequência, tipo e período de solicitação.

Tabela 2-3 – Fatores de segurança admissíveis

Condição de solicitação	Fator de segurança
Final de Construção	1,30
Operação Normal	1,50
Operação com Sismo	1,10
Rebaixamento Rápido	1,30

2.6. RESULTADOS

A tabela abaixo apresenta os resultados das principais análises efetuadas, por talude, diante das diversas condições de solicitação de projeto.

Tabela 2-4 – Resultados das análises efetuadas

Seção analisada	Final de Construção		Operação		Sismo		Rebaixamento rápido
	Montante	Jusante	Montante	Jusante	Montante	Jusante	
Seção 1	1,64	1,44	1,80	1,50	1,54	1,33	1,34
Seção 2	1,62	1,47	1,76	1,52	1,54	1,35	1,34
Seção 3	1,42	1,54	1,82	1,59	1,53	1,41	1,35

Todas as figuras das análises apresentadas nos quadros acima estão presentes no anexo 1.

3. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Para o presente relatório foram apresentados os dados existentes e estudos prévios da barragem dos Imigrantes. Como indicado, até o momento foram executados investigações e ensaios em quantidade adequadas.

Recomenda-se, entretanto, que para as etapas de projeto executivo e construção, novos ensaios de resistência sejam realizados a partir de amostras de solo coletadas na região do entorno da barragem.

Os ensaios triaxiais apresentados são de amostras coletadas nas proximidades do vertedouro, e apresentam valores de coesão com grande variação, com resultados entre 12 a 80 kPa.

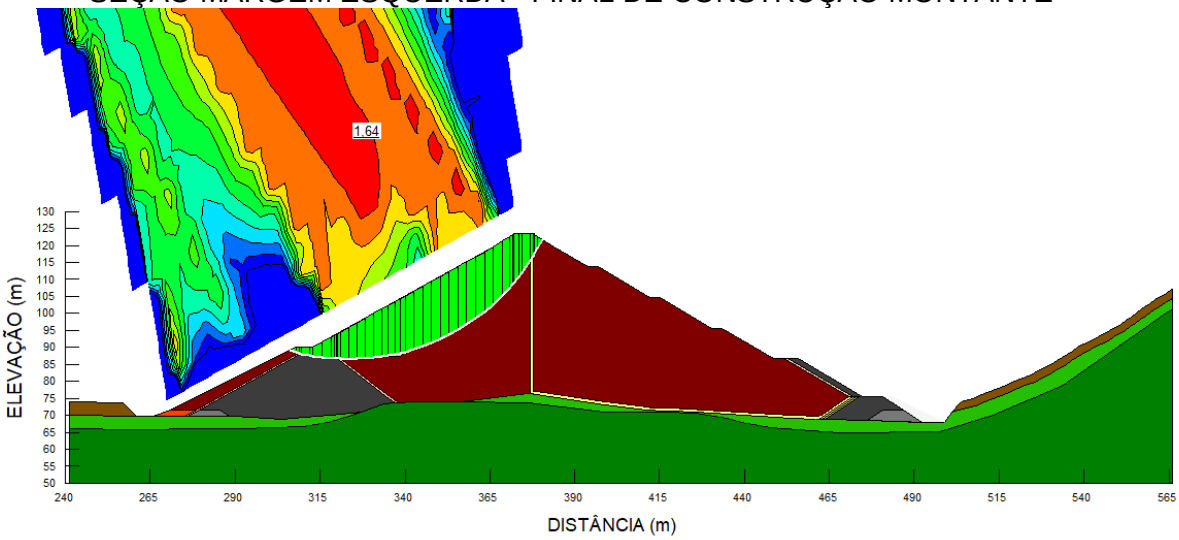
Para as análises atuais, os resultados dos estudos realizados apresentam condições de estabilidade satisfatórias para os taludes de montante e jusante da barragem dos Imigrantes, diante das diversas condições de solicitação, às quais os mesmos estarão submetidos durante a vida útil da obra, considerando os respectivos fatores de segurança admissíveis de projeto.

A solução apresentada para a barragem poderá sofrer ajustes em função dos dados dos novos ensaios de laboratório a serem realizados. Possíveis alterações no dimensionamento serão realizadas no âmbito do Projeto Executivo.

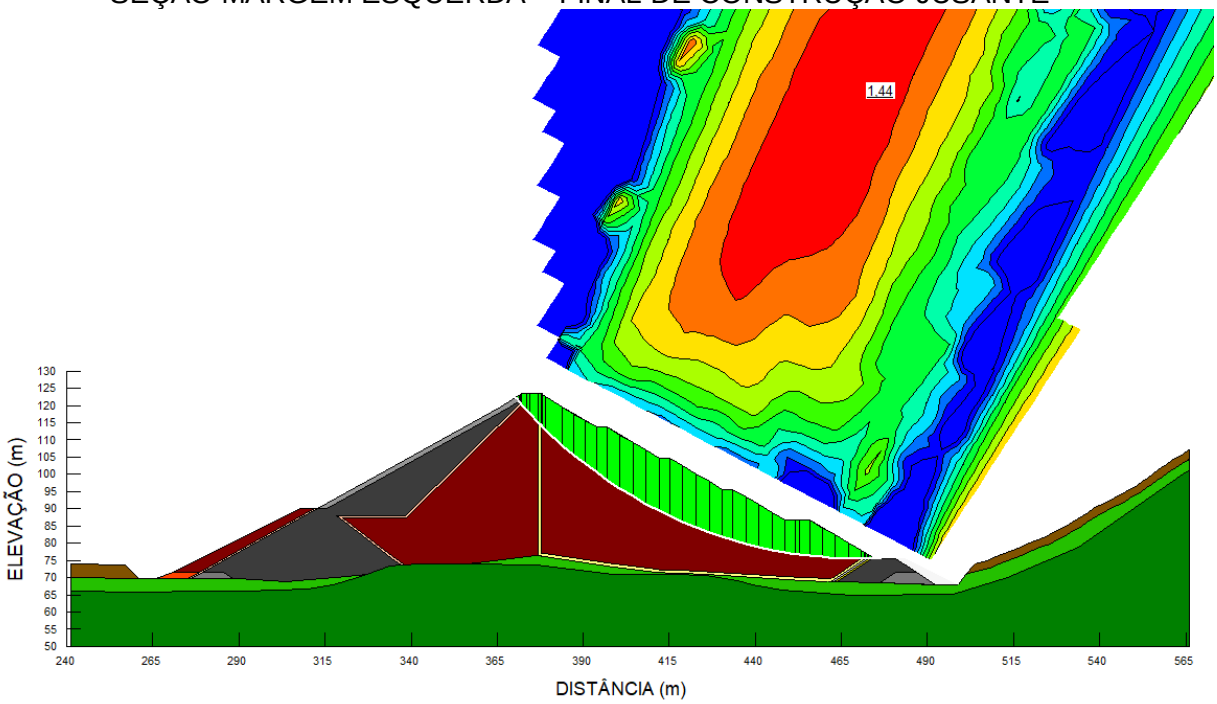
ANEXO 1

Análises de Estabilidade

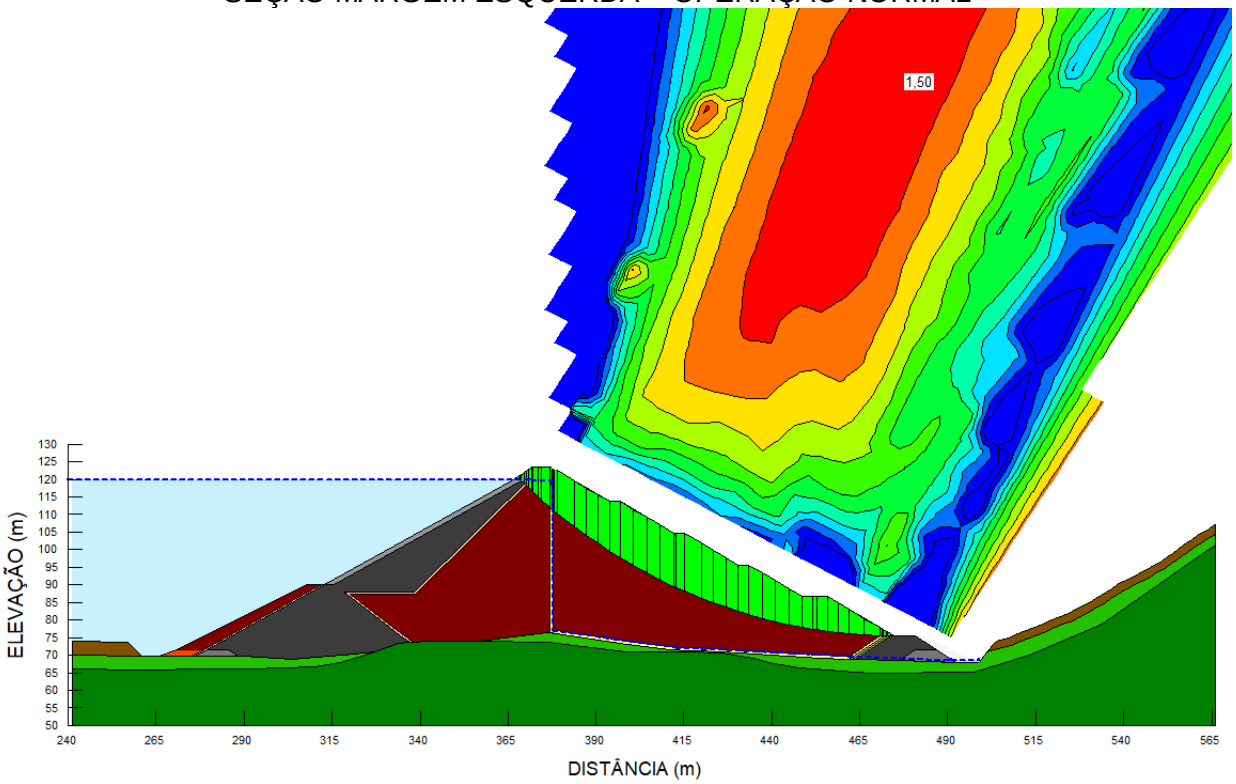
SEÇÃO MARGEM ESQUERDA - FINAL DE CONSTRUÇÃO MONTANTE



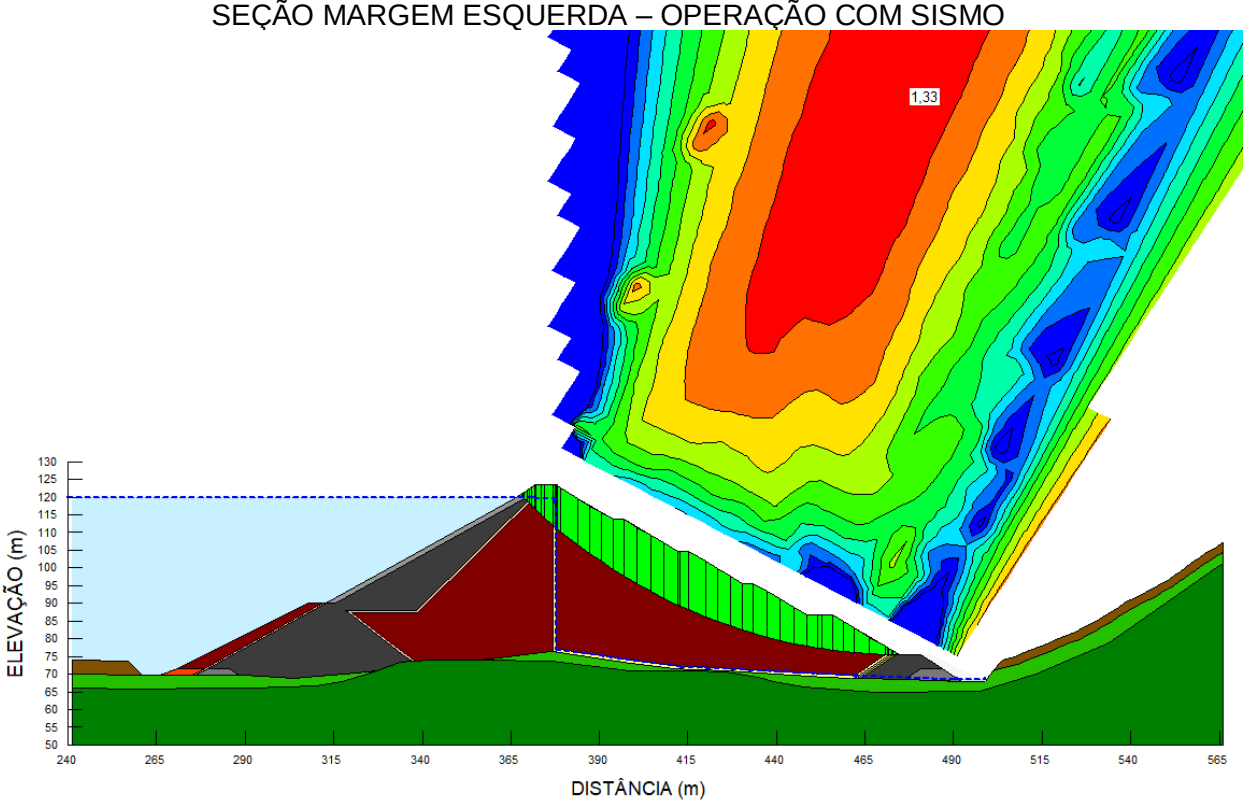
SEÇÃO MARGEM ESQUERDA – FINAL DE CONSTRUÇÃO JUSANTE



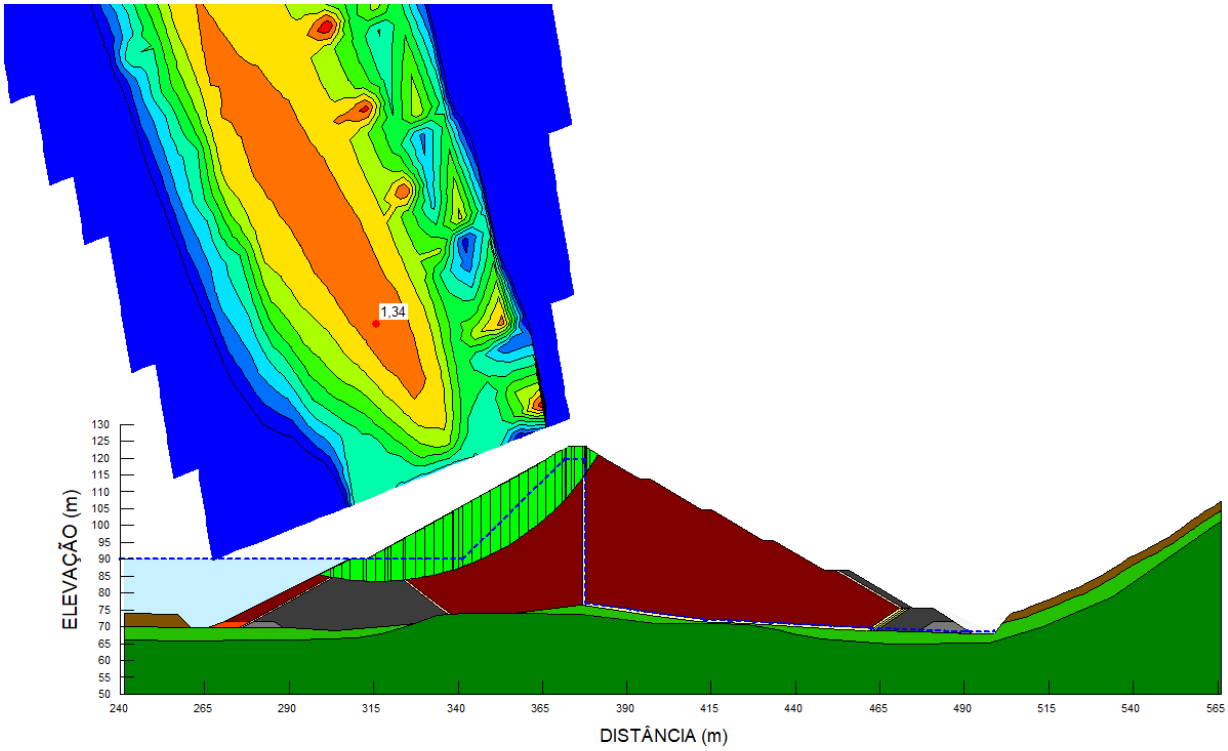
SEÇÃO MARGEM ESQUERDA – OPERAÇÃO NORMAL



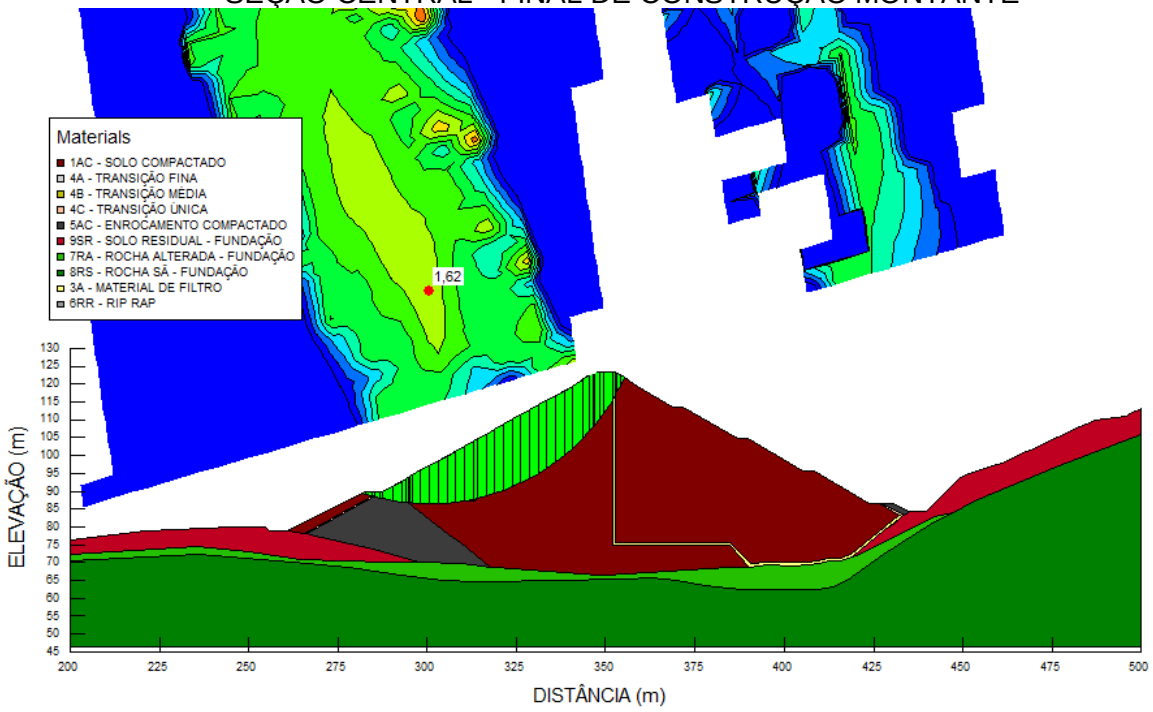
SEÇÃO MARGEM ESQUERDA – OPERAÇÃO COM SISMO



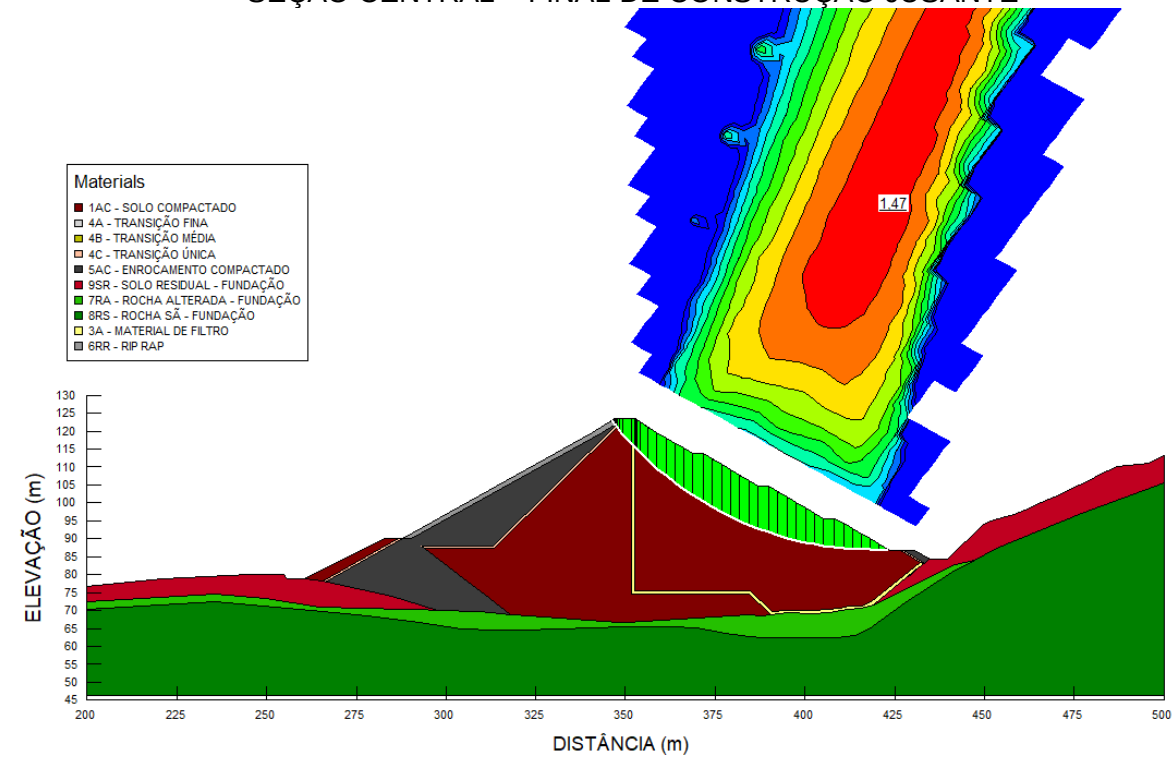
SEÇÃO MARGEM ESQUERDA – REBAIXAMENTO RÁPIDO



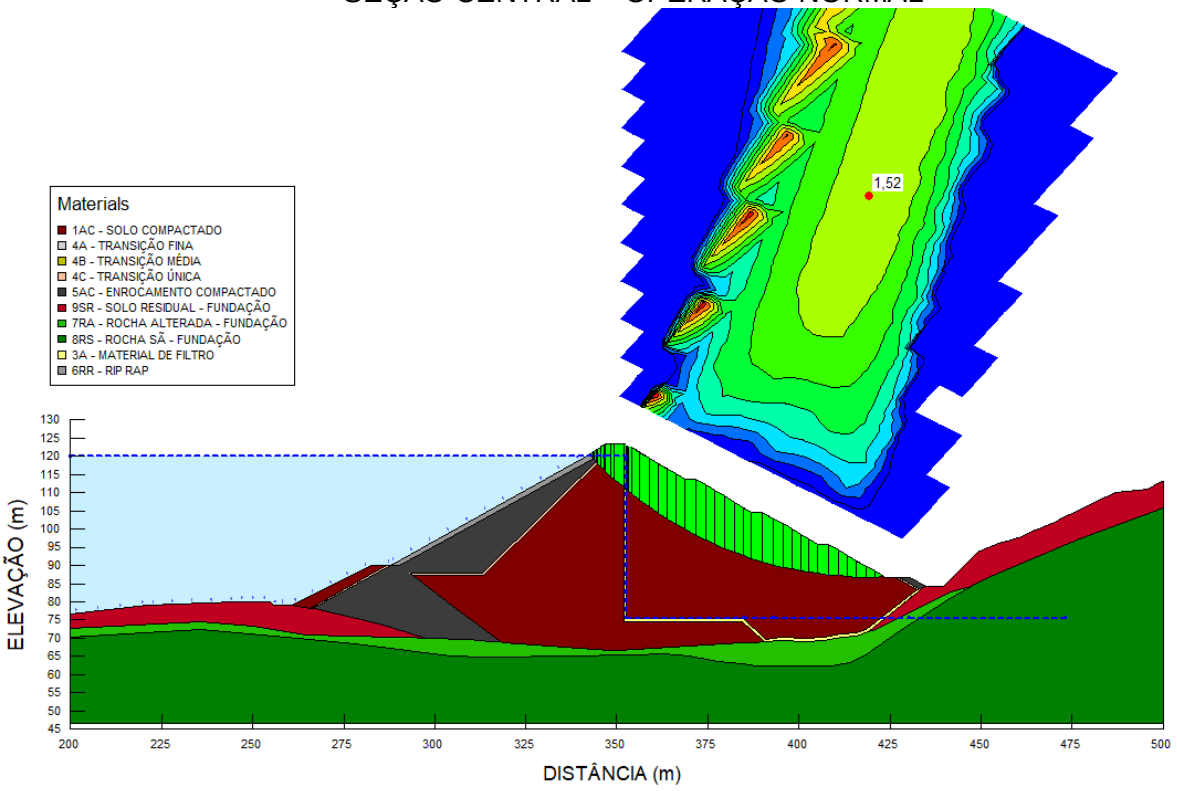
SEÇÃO CENTRAL - FINAL DE CONSTRUÇÃO MONTANTE



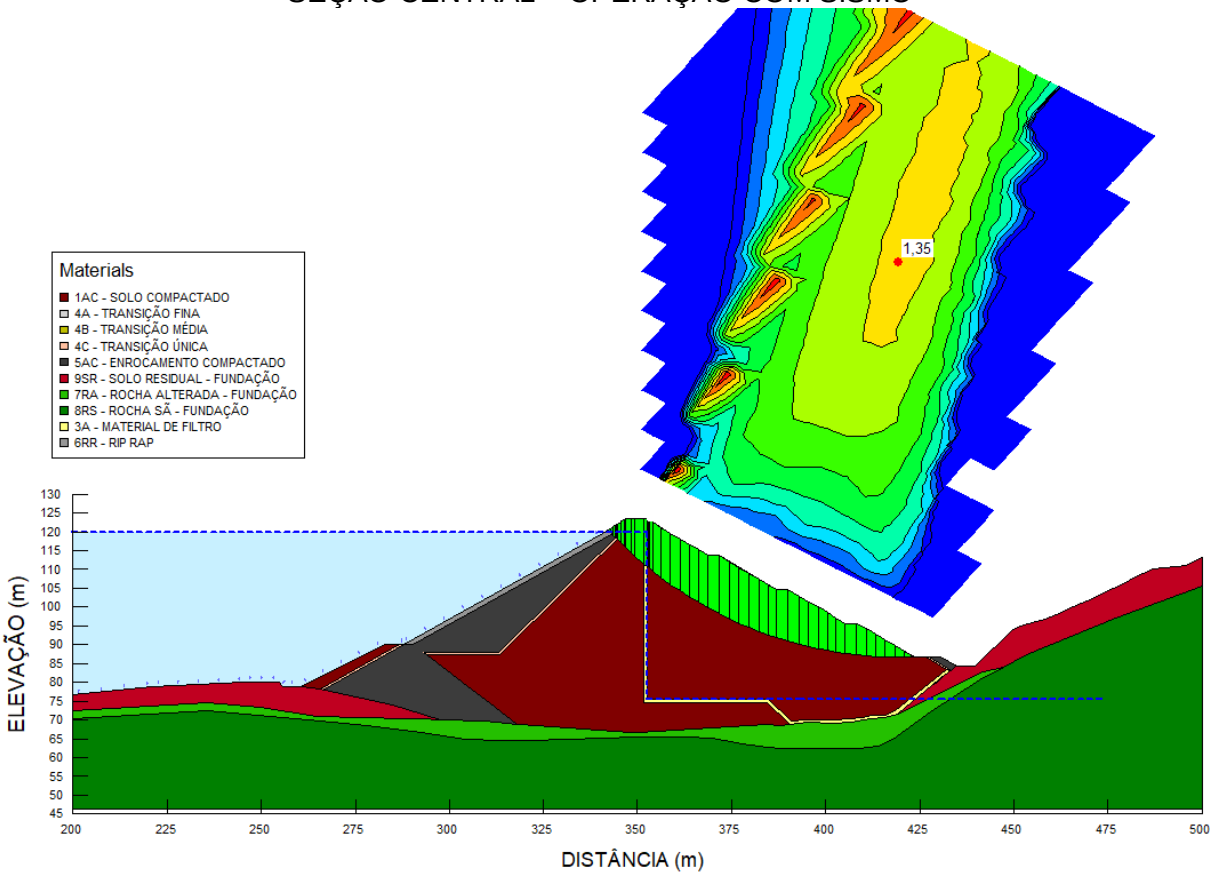
SEÇÃO CENTRAL – FINAL DE CONSTRUÇÃO JUSANTE



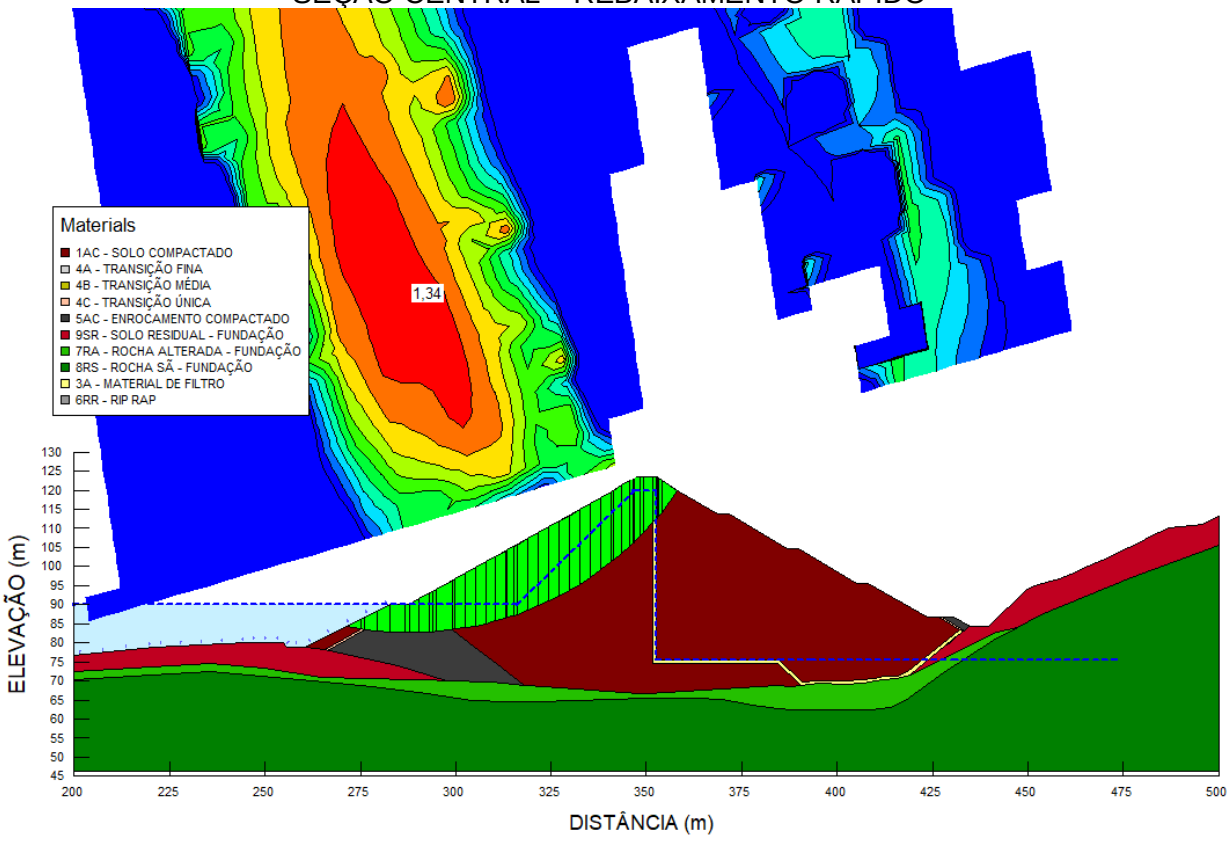
SEÇÃO CENTRAL – OPERAÇÃO NORMAL



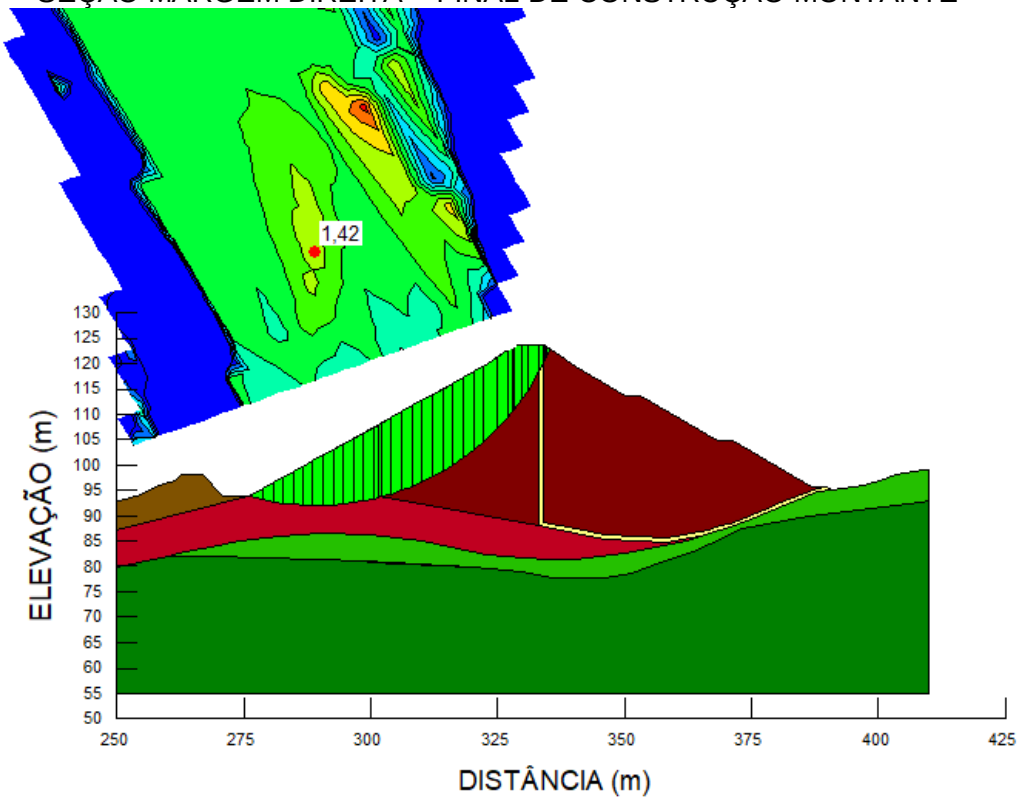
SEÇÃO CENTRAL – OPERAÇÃO COM SISMO



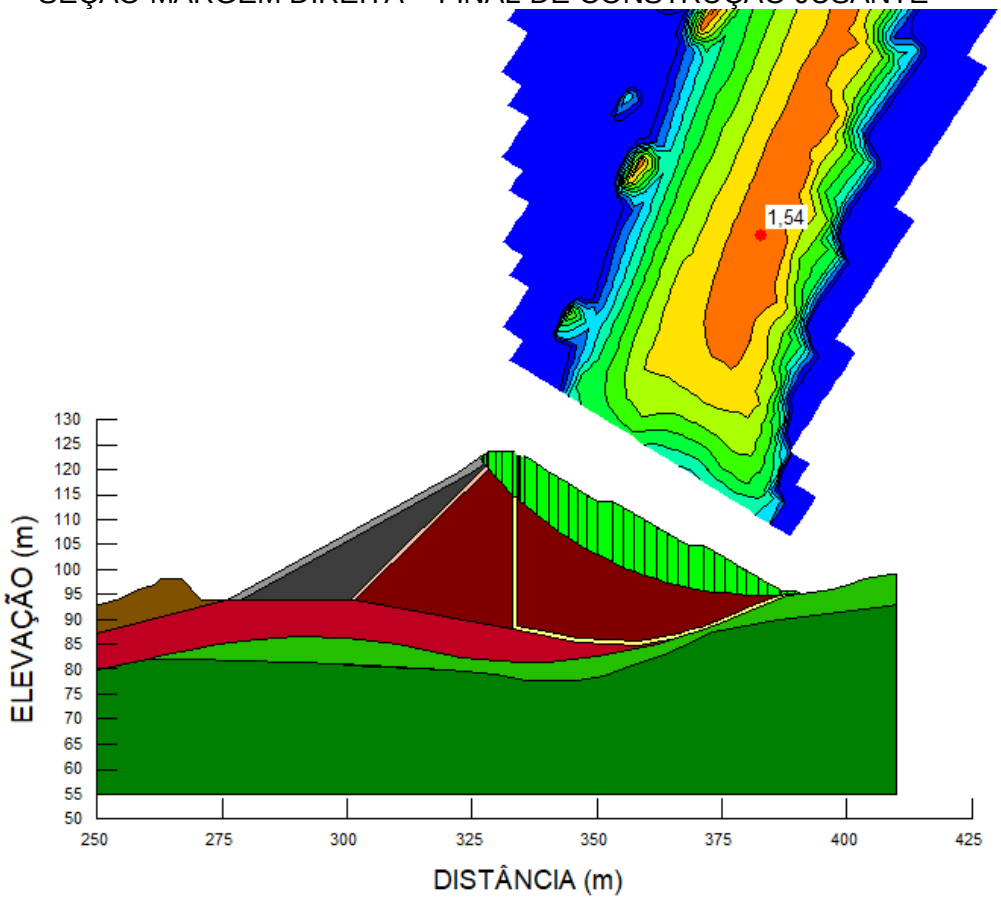
SEÇÃO CENTRAL – REBAIXAMENTO RÁPIDO



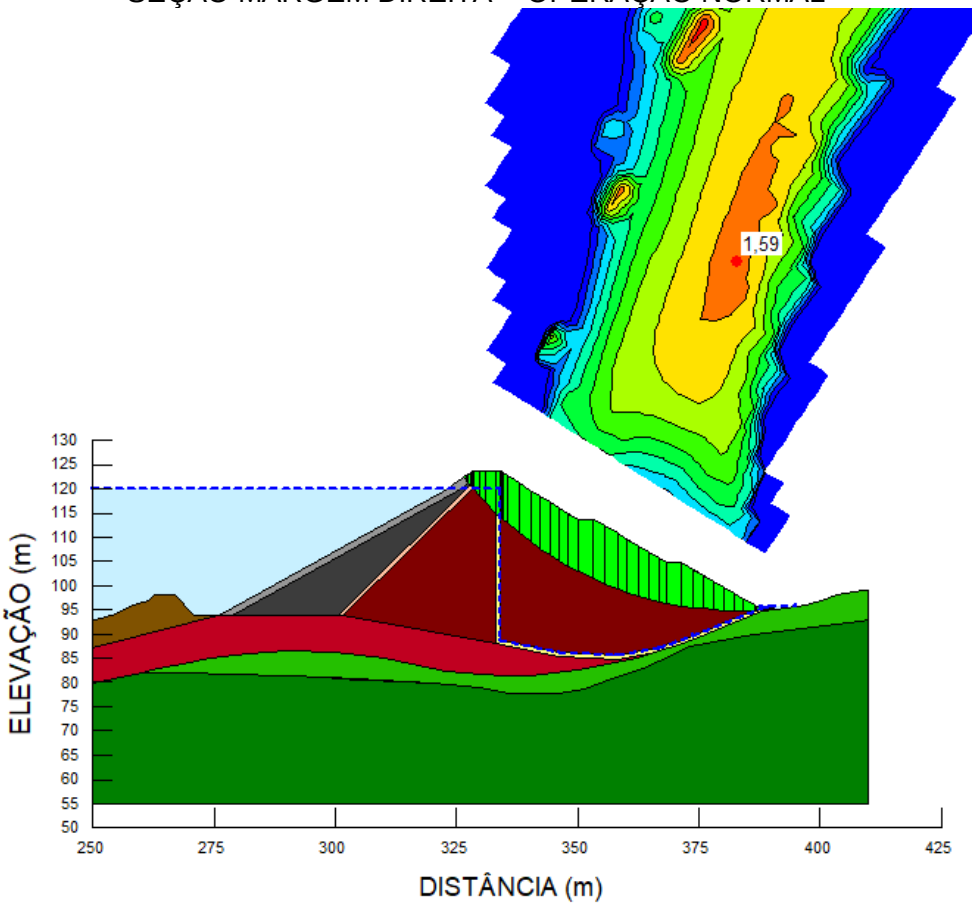
SEÇÃO MARGEM DIREITA – FINAL DE CONSTRUÇÃO MONTANTE



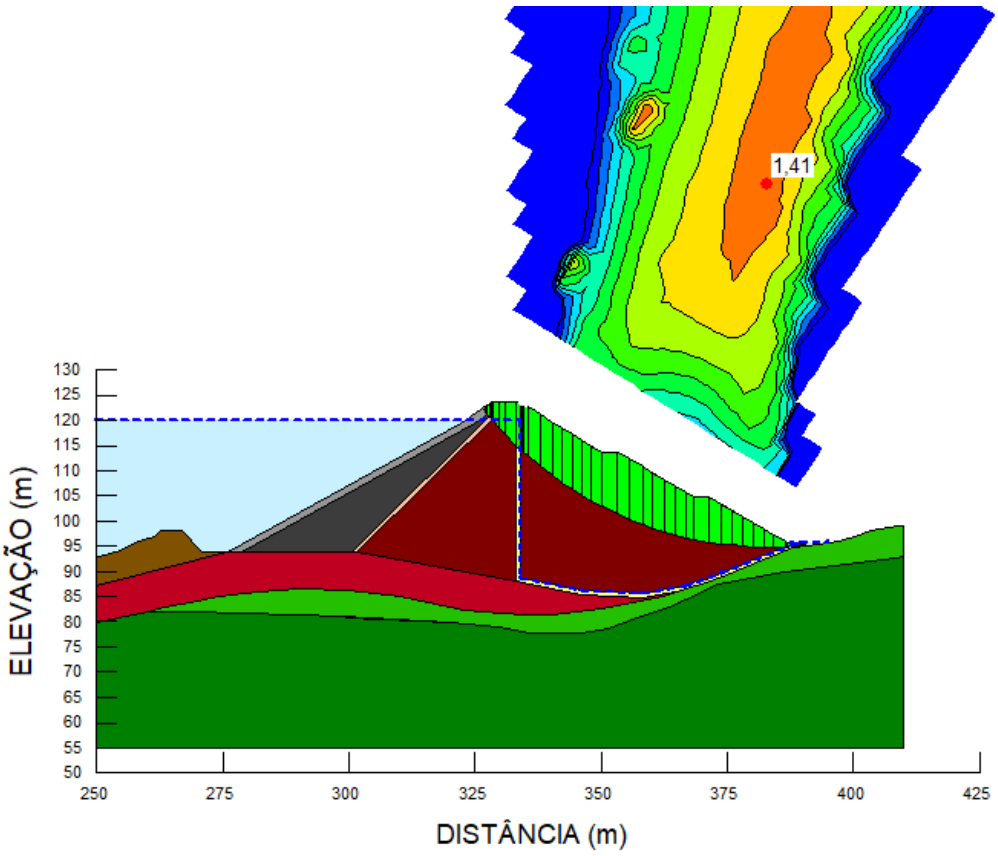
SEÇÃO MARGEM DIREITA – FINAL DE CONSTRUÇÃO JUSANTE



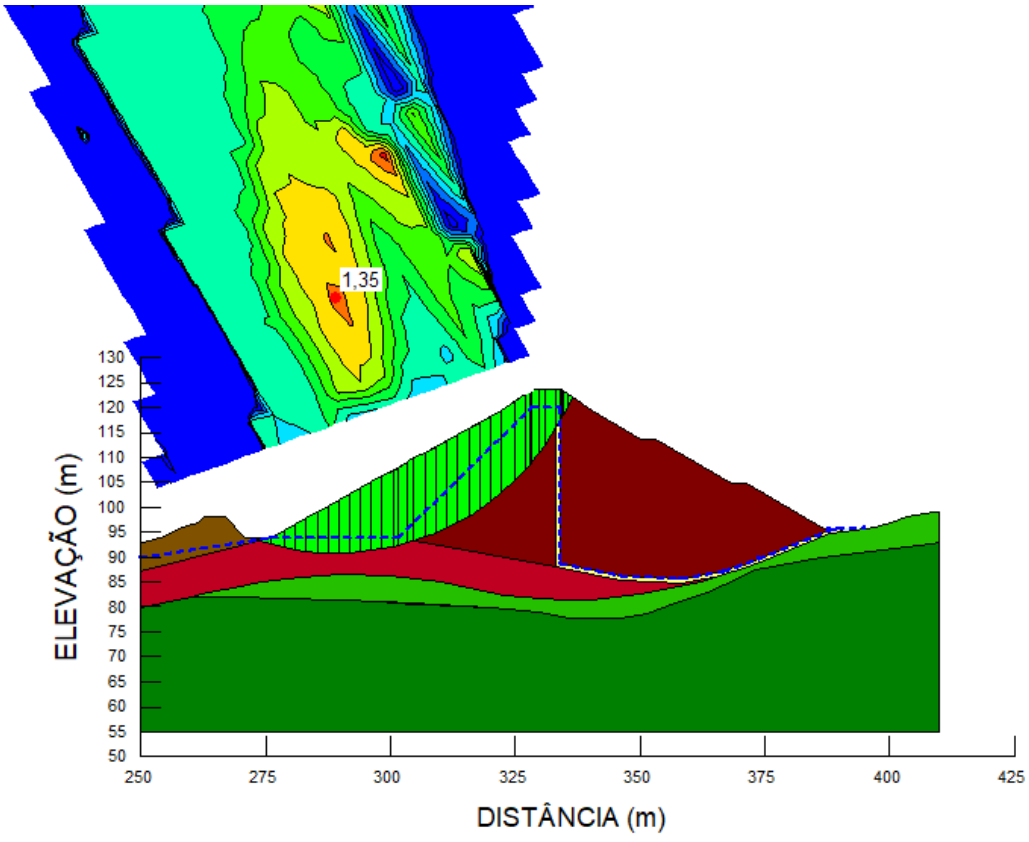
SEÇÃO MARGEM DIREITA – OPERAÇÃO NORMAL



SEÇÃO MARGEM DIREITA – OPERAÇÃO COM SISMO



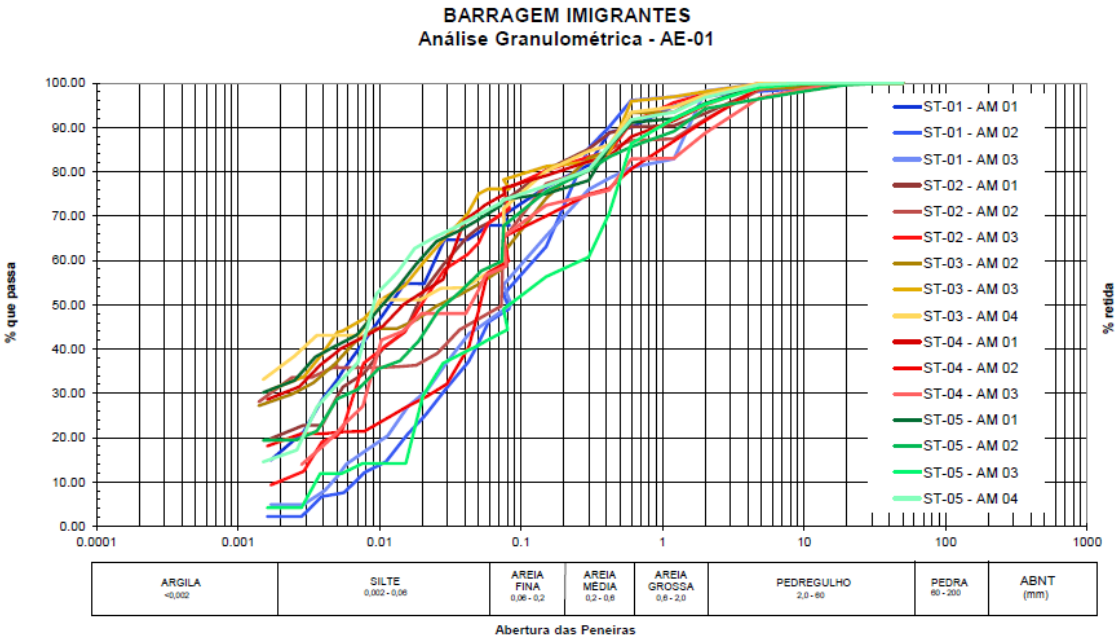
SEÇÃO MARGEM DIREITA – REBAIXAMENTO RÁPIDO

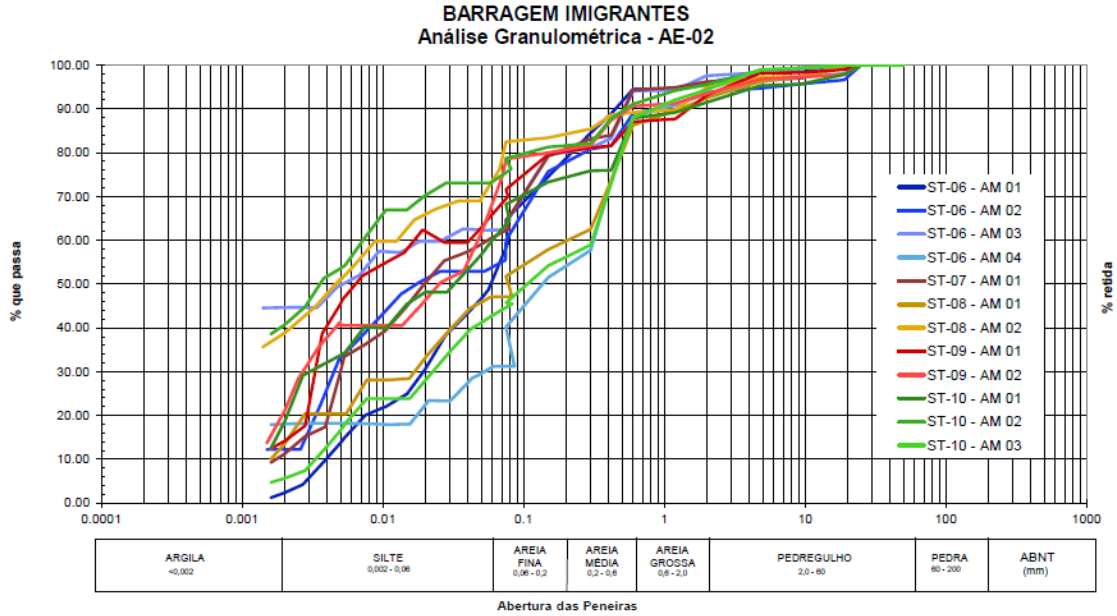


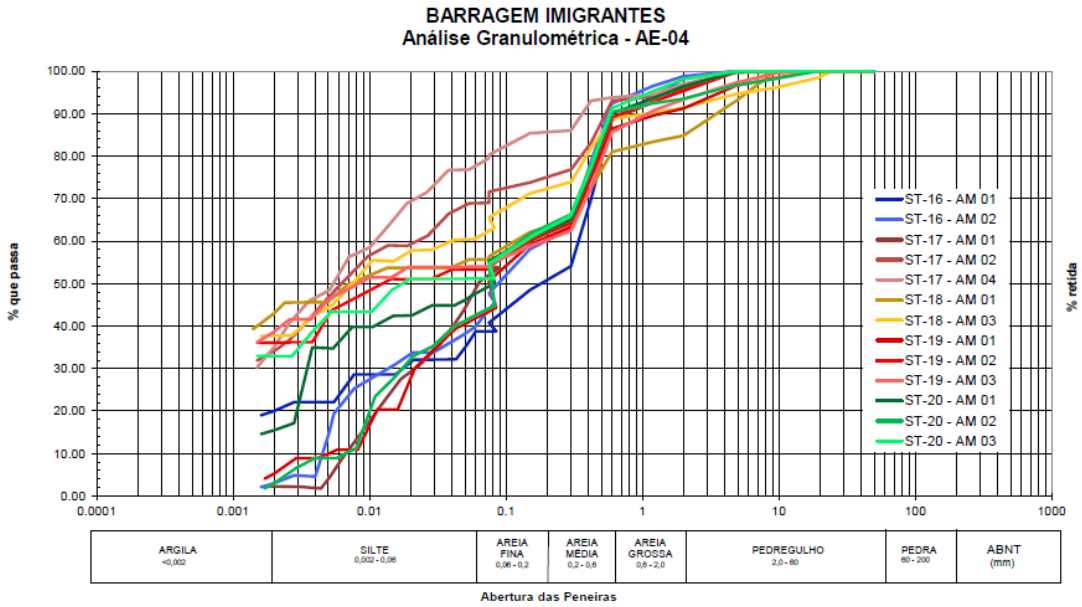
ANEXO 2

Ensaios de Laboratório

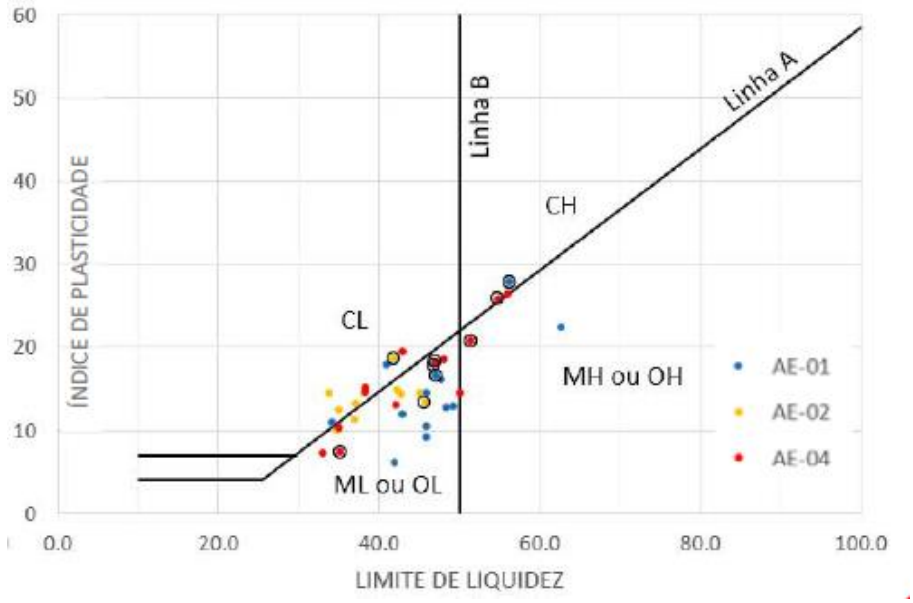
- Granulometria (peneiramento e sedimentação),



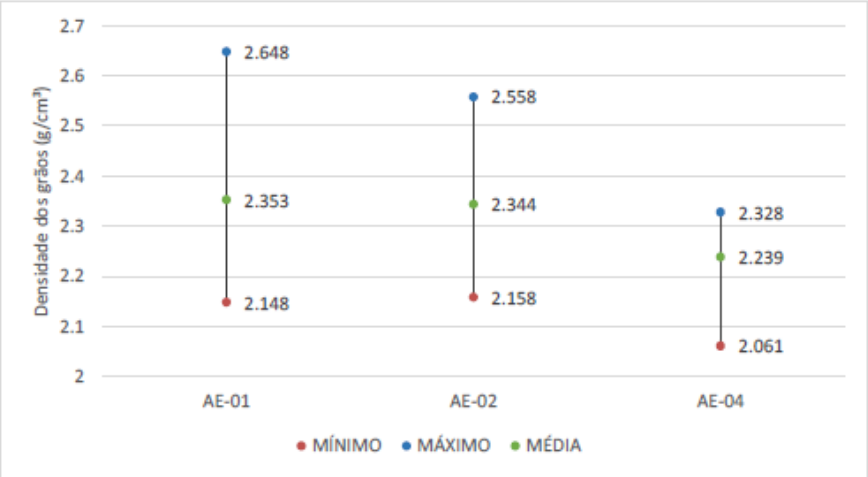




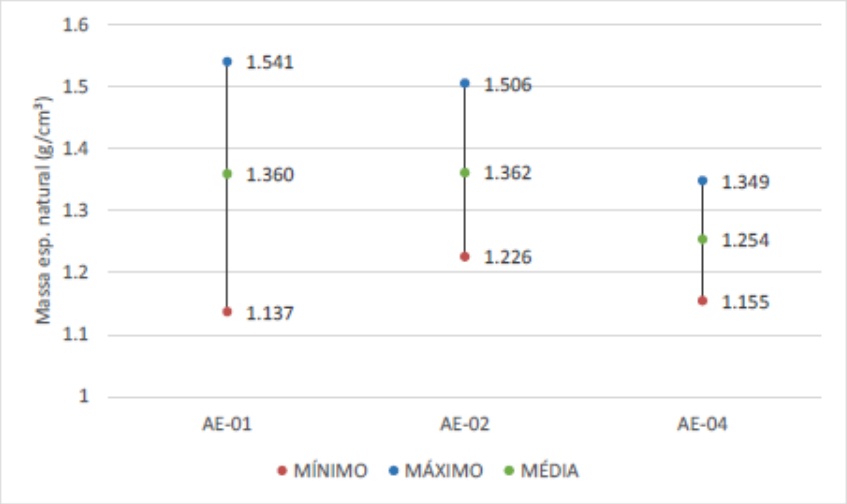
- Limites de Atterberg (LL e LP);



- Pesos específico dos Grãos (γs),



- Peso Específico Natural (γn)



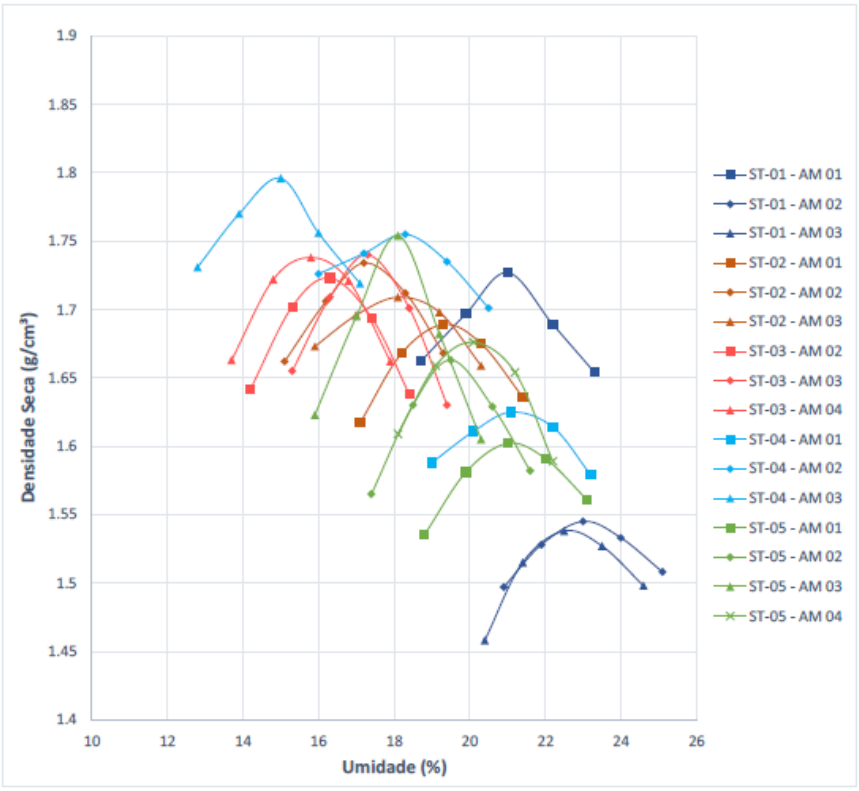
- Índice de vazios (e)

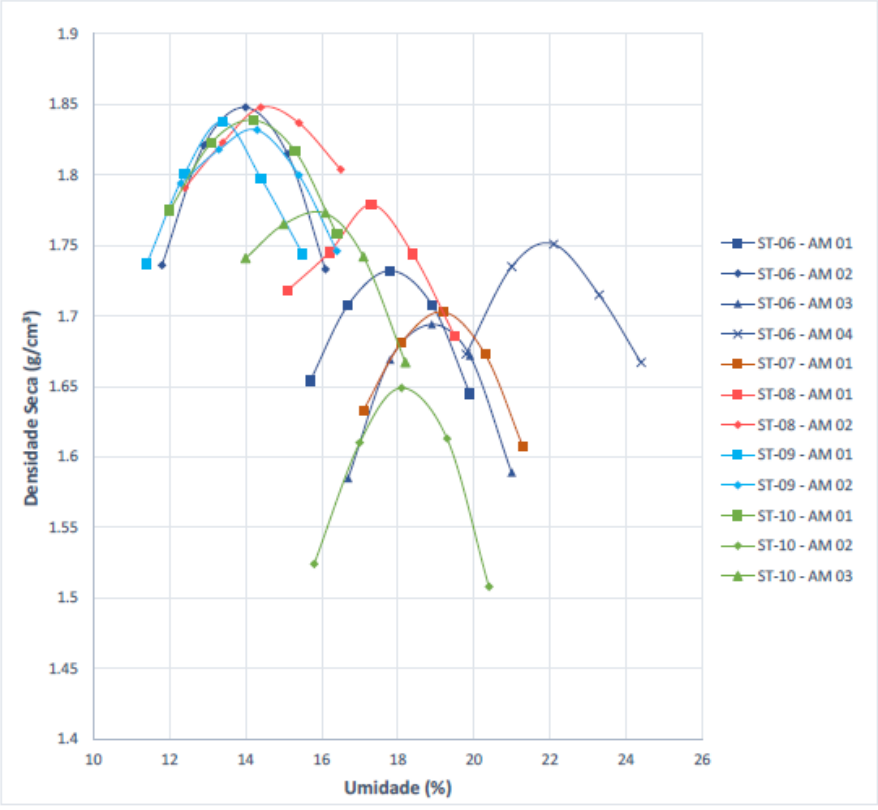
ID	AMOSTRA	PROF. (m)	e mín	e máx	e nat
1	ST-01 - AM 01	0.5 a 2.5	0.29	1.11	1.14
2	ST-01 - AM 02	2.5 a 4	0.50	1.04	0.77
3	ST-01 - AM 03	4 a 5	0.45	0.98	0.85
4	ST-02 - AM 01	0.5 a 2.5	0.37	1.01	0.77
5	ST-02 - AM 02	2.5 a 4	0.53	1.27	1.09
6	ST-02 - AM 03	4 a 5	0.26	0.97	0.79
7	ST-03 - AM 02	2.5 a 3.5	0.49	1.18	1.02
8	ST-03 - AM 03	3.5 a 5	0.34	0.90	0.75
9	ST-03 - AM 04	5 a 6	0.37	1.06	0.78
10	ST-04 - AM 01	0.5 a 1.5	0.39	0.99	0.86
11	ST-04 - AM 02	1.5 a 3	0.28	1.15	1.16
12	ST-04 - AM 03	3 a 4.8	0.24	0.96	1.40
13	ST-05 - AM 01	0.5 a 1.5	0.54	1.15	1.01
14	ST-05 - AM 02	1.5 a 4	0.47	1.29	1.09
15	ST-05 - AM 03	4 a 5.3	0.34	1.31	1.32
16	ST-05 - AM 04	5.3 a 6	0.48	1.12	1.06
17	ST-06 - AM 01	0.5 a 1.4	0.38	1.01	0.98
18	ST-06 - AM 02	1.4 a 3.5	0.35	1.05	1.19
19	ST-06 - AM 03	3.5 a 5	0.45	1.18	1.32
20	ST-06 - AM 04	5 a 6	0.29	1.14	0.99

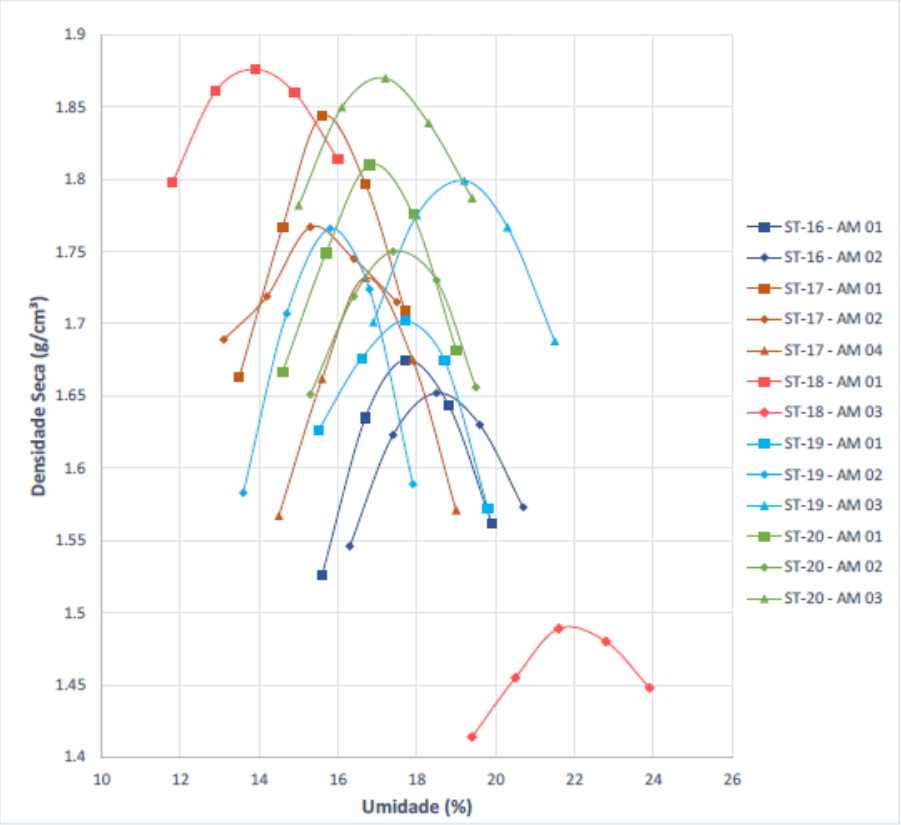
ID	AMOSTRA	PROF. (m)	e mín	e máx	e nat
21	ST-07 - AM 01	0.5 a 2.5	0.34	0.93	0.82
22	ST-08 - AM 01	0.5 a 2.5	0.26	1.09	0.82
23	ST-08 - AM 02	2.5 a 3.3	0.38	1.12	0.92
24	ST-09 - AM 01	0.5 a 2.5	0.23	0.80	0.75
25	ST-09 - AM 02	2.5 a 3	0.35	0.94	0.96
26	ST-10 - AM 01	0.5 a 2.5	0.23	0.98	0.86
27	ST-10 - AM 02	2.5 a 4	0.31	0.98	0.77
28	ST-10 - AM 03	4 a 6	0.27	0.95	0.96
29	ST-16 - AM 01	0.5 a 1	0.35	0.96	1.14
30	ST-16 - AM 02	1 a 6	0.38	1.04	1.00
31	ST-17 - AM 01	0.3 a 1	0.12	0.75	0.81
32	ST-17 - AM 02	1 a 3	0.32	0.90	1.06
33	ST-17 - AM 04	4 a 6	0.31	1.11	1.29
34	ST-18 - AM 01	0 a 2	0.24	0.91	1.34
35	ST-18 - AM 03	4 a 6	0.44	0.95	1.00
36	ST-19 - AM 01	0 a 2	0.29	0.88	1.04
37	ST-19 - AM 02	2 a 4	0.27	0.90	1.02
38	ST-19 - AM 03	4 a 6	0.26	0.91	1.03
39	ST-20 - AM 01	0.5 a 2	0.24	0.91	1.39
40	ST-20 - AM 02	2 a 4	0.28	0.87	1.00
41	ST-20 - AM 03	4 a 6	0.20	0.94	0.89

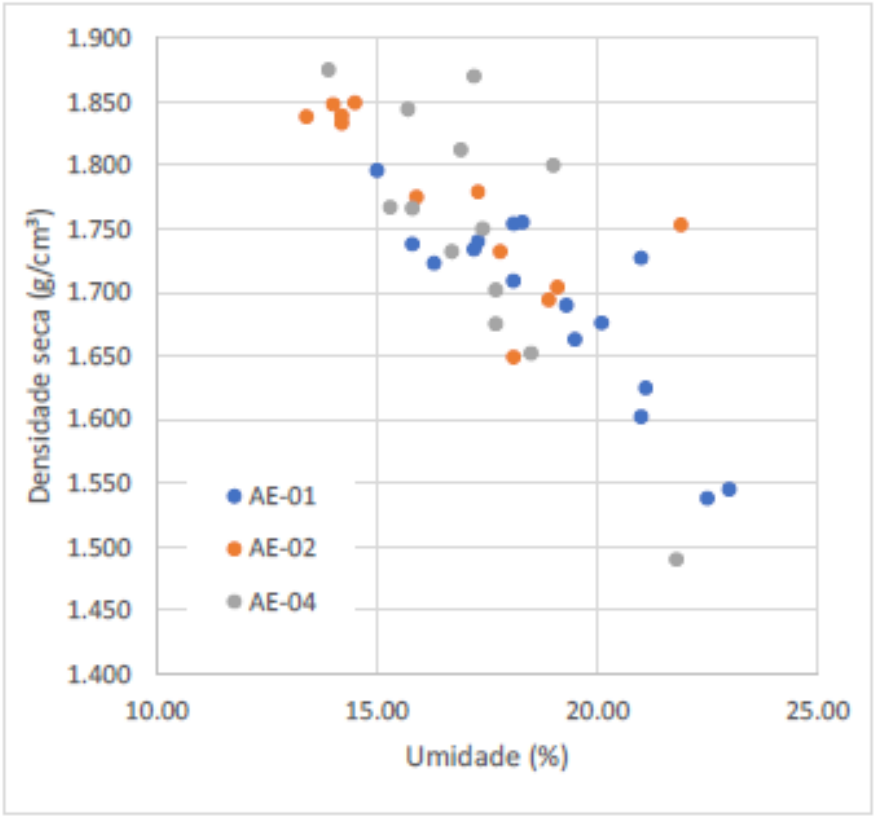
Para as amostras selecionadas que a partir do ensaio de caracterização mostraram potencial de uso no núcleo da barragem foram feitos os seguintes ensaios complementares:

- Ensaios de compactação à energia normal;






Densidade Seca (g/cm³)
Umidade (%)
ST-16 - AM 01
ST-16 - AM 02
ST-17 - AM 01
ST-17 - AM 02
ST-17 - AM 04
ST-18 - AM 01
ST-18 - AM 03
ST-19 - AM 01
ST-19 - AM 02
ST-19 - AM 03
ST-20 - AM 01
ST-20 - AM 02
ST-20 - AM 03


Densidade seca (g/cm³)
Umidade (%)
AE-01
AE-02
AE-04

Ensaio de permeabilidade com carga variável nas amostras compactadas selecionadas, retornaram valores médios de permeabilidade obtidos foram $5,2x10^{-5}$, $5,6x10^{-5}$ e $4,8x10^{-5}$ cm/s para as áreas de empréstimo AE-01, AE-02 e AE-04 respectivamente.