

3 Investigações Desenvolvidas no AMG

O presente capítulo apresenta o conjunto de investigações de campo e laboratoriais, tratamento dos dados das sondagens feitas, e aspectos geológicos do local do AMG.

3.1. Ensaio do campo

3.1.1. Ensaio de SPT, Palheta, CPTU e Amostragens Shelby

Nas sondagens da campanha de 2009 (à percussão) foram realizados ensaios de penetração padrão (SPT) empregando as normas NBR-6484/01 (Execução de sondagens de simples reconhecimento de solos) e NBR 7250/82 (Identificação e descrição de amostras de solos obtidas em sondagens de simples reconhecimentos de solos). A tabela 3.1 apresenta as coordenadas dos ensaios SPT. Os resultados destes ensaios são apresentados no Anexo I (Resultados dos ensaios do campo). A localização dos furos executados de 1992 até 2009 são mostrados na Figura 3.1.

Tabela 3.1: SPT-2009

Nome	Coordenadas UTM		Cota (m)	N.A. (m)
	Norte	Leste		
BW-01	7483400	677934	1,61	0,95
BW-02	7483594	678007	1,77	0,45
BW-03	7483892	678676	2,19	0,70
BW-04	7483818	678953	2,04	0,55
BW-05	7483644	679296	2,51	0,70
BW-06	7483436	679593	3,11	1,05
BW-07	7483271	679706	2,37	0,40
BW-08	7483045	679575	3,10	0,58
BW-09	7482841	679189	4,23	0,20
BW-10	7482655	678894	3,07	0,90
BW-11	7482765	678676	3,36	0,90
BW-12	7482794	678477	1,84	0,50
BW-13	7482680	678272	2,42	1,90
BW-14	7483067	678042	2,03	1,50

Nos ensaios de palheta de 2009 (Vane) foram empregadas as normas NBR-10905/89 (Ensaio de palheta in situ) e ASTM D2573-08 (Standard test method for field vane shear test in cohesive soil). Na tabela 3.2 é apresentada a relação de ensaios realizados, sendo os resultados destes ensaios mostrados no Anexo I.

Tabela 3.2: Ensaio da Palheta-2009

Nome	Coordenadas UTM		Cota (m)
	Norte	Leste	
EP-3A	7483379	678380	32,46
EP-3B	7483603	678335	26,29
EP-3C	7483813	678290	2,57
EP-3D	7483896	678274	-0,05
EP-4A	7483719	678496	20,56
EP-4B	7483854	678479	5,00
EP-7	7483730	679150	2,77
EP-14A	7483244	679219	27,50
EP-14B	7483066	679300	16,80
EP-14C	7483907	679378	5,00
EP-17A	7483322	678742	49,40
EP-17C	7482764	679001	4,20
EP-23A	7482942	673404	20,17
EP-23B	7482824	678196	2,00
EP-23C	7482901	677999	0,17

No ensaio do piezocone, feito em 2009, empregou-se a norma NBR-12069/91 (Ensaio de penetração de cone in situ) e ASTM D5778-07 (Standard test method for electronic friction cone and piezocone testing of soil). A relação dos ensaios realizados é apresentada na Tabela 3.3. Os resultados destes ensaios são mostrados no Anexo I.

Tabela 3.3: Ensaio de Piezocone (CPTU)-2009

Nome	Coordenadas UTM		Cota (m)	N.A. (m)
	Norte	Leste		
EC-03	7483811	678291	2,00	-
EC-07	7483730	679150	2,50	1,40
EC-14	7483907	679378	5,00	-
EC-23	7482824	678196	2,00	-

Amostras indeformadas foram tiradas do campo a profundidades diferentes, aproximadamente a cada metro. Aqui, empregou-se a norma NBR-9820/97 (Coleta de amostras indeformadas de solos de baixa consistência em furos de sondagem).

Na tabela 3.4 é apresentada a relação das amostragens realizadas. Detalhes das mesmas são apresentados no Anexo I.

Tabela 3.4: Amostragens Shelby-2009

Nome		Quantidade	Coordenadas UTM		Cota (m)
Inicial	Final		Norte	Leste	
AS-03	E01/S03	5	7483811	678291	2,00
AS-07	E02/S07	16	7483730	679150	2,50
AS-14	E03/S14	15	7483907	679378	5,00
AS-23	E04/S23	9	7482824	678196	2,00

Nas Tabelas 3.1 a 3.4, a cota indicada corresponde à boca dos furos executados nas respectivas investigações.

3.1.2. Resistividade elétrica

O método geofísico de resistividade elétrica também foi empregado nas investigações de campo. Após avaliar a informação das sondagens e geologia do local foi possível, assim, a identificação e caracterização dos materiais mais profundos da base do AMG. Nesta investigação, após a coleta de dados, foi efetuado um processo de filtragem (pontos com erro maior que 8%), e uma posterior correção pela topografia do local. A localização das linhas geofísicas está apresentada na Figura 3.1.

Tabela 3.5: Perfis e metragem

Linha Geofísica	Metragem (m)
L01A	310,00
L01AA	620,00
L01B	350,00
L02	440,00
L03A	350,00
L03B	260,00
L04A	350,00
L04B	250,00
L05A	350,00
L05B	350,00
L06	350,00

A informação usada corresponde ao Relatório Técnico Jardim Gramacho (DOC01-PRJ125) realizado pela empresa Geopesquisa para o Novo Gramacho Energia Ambiental S.A.

3.2. Ensaio de laboratório

Os ensaios de laboratório foram realizados com as amostras extraídas do Shelby. Assim os dados coletados têm nomenclatura similar às amostragens Shelby. No AMG se fez um programa de ensaios de laboratório, cujo resumo é apresentado na tabela 3.6 e abrange a caracterização, medida da sucção mátrica, compressibilidade e resistência.

Caracterização

O conjunto de ensaio de laboratório foi feito para determinar características de tamanho do grão, índices de consistência, teor de matéria orgânica e demais ensaios de caracterização. Estes ensaios são baseados nas seguintes normas:

- ABNT NBR 7181, Análise granulométrica.
- ABNT NBR 5734, Peneiras para ensaio.
- ABNT NBR 6459, Determinação do limite de liquidez.
- ABNT NBR 6508, Determinação da massa específica dos grãos de solo.
- ABNT NBR 7180, Determinação do limite de plasticidade.
- ABNT NBR 13600, Determinação do teor de matéria orgânica por queima a 440 graus Celsius.
- ASTM D2487, Standard Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System).

Os resultados destes ensaios são apresentados no anexo II.

Medida da Sucção mátrica

Para encontrar o valor da sucção mátrica foram empregados os métodos da PUC-Rio (Moncada, 2008) e da ASTM D5298 Standard Test Method for Measurement of Soil Potential (Suction) Using Filter Paper.

No caso do uso do tensiômetro, o procedimento empregado foi o recomendado em Ridley e Burland 1993 e Lourenço et. al. 2008. Os resultados são apresentados no anexo II da presente dissertação.

Tabela 3.6: Programa de ensaios de laboratório

Estação	Prof. Méd. (m)	Cota (m)	Ensaio de laboratório						
			Caracterização	Adensamento	Sução Mática	UU	CIU	CID	Cisa. Direto
E1/S03	5.3	-3.3	√		√(-)	√	√(**) (3)		
	6.3	-4.3	√		√(-)	√			
	7.3	-5.3	√	√	√	√			
	8.3	-6.3	√		√	√			
	9.3	-7.3	√	√	√(-)	√			
E2/S07	3.3	-0.8	√		√(-)	√			
	4.3	-1.8	√		√(-)	√	√(**) (3)		
	5.3	-2.8	√		√	√			
	6.3	-3.8	√		√	√			
	7.3	-4.8	√		√	√			
	8.3	-5.8	√		√	√			
	9.3	-6.8	√	√	√(-)	√	√(***) (2)		
	10.3	-7.8	√		√	√	√(***) (1)	√(2)	
	11.3	-8.8	√	√(*)	√	√			
	12.3	-9.8	√		√(-)	√		√(1)	√(3)
	13.3	-11	√		√(-)	√			
	14.3	-12	√	√	√	√			
	15.3	-13	√		√	√			
	16.3	-14	√		√	√			
17.3	-15	√		√	√				
18.3	-16	√		√	√				
E3/S14	6.3	-1.3	√		√	√			
	7.3	-2.3	√		√(-)	√	√(**) (3)		
	8.3	-3.3	√	√(*)	√	√			
	9.3	-4.3	√		√(-)	√	√(***) (2)		
	10.3	-5.3	√		√	√	√(***) (1)	√(2)	
	11.3	-6.3	√	√	√(-)	√			
	12.3	-7.3	√		√(-)	√		√(1)	√(3)
	13.3	-8.3	√	√(*)	√	√			
	14.3	-9.3	√		√	√			
	15.3	-10	√		√(-)	√			
	16.3	-11	√		√(-)	√			
	17.3	-12	√		√	√			
	18.3	-13	√		√(-)	√			
19.3	-14	√	√	√(-)	√				
20.3	-15	√		√(-)	√				
E4/S23	4.3	-2.3	√		√	√			
	5.3	-3.3	√		√(-)	√	√(**) (3)		
	6.3	-4.3	√	√	√	√			
	7.3	-5.3	√	√(*)	√	√			
	8.3	-6.3	√		√	√			
	9.3	-7.3	√		√	√			
	10.3	-8.3	√		√	√			
	11.3	-9.3	√	√	√(-)	√			
12.3	-10	√		√	√				
Total			45	12	45	45	18	6	6

√(-):Sução mática do papel filtro e medida com tensiômetro, √(*):Com medida do Creep, √(**):CIU a 0,0040mm/min, √(***):CIU a 0,0013mm/min

Compressibilidade

Os testes para obter parâmetros de compressibilidade foram realizados empregando a norma ABNT NBR-12007 (ensaio de adensamento unidimensional).

Na estimativa da tensão de pré-adensamento, foram empregadas duas técnicas diferentes. A primeira corresponde à técnica convencional relatada na norma ABTN, no gráfico $e - \log \sigma'_v$. A segunda corresponde à técnica recomendada por Martins e Lacerda (1994) em um gráfico $\log(1+e) - \log \sigma'_v$.

Os resumos dos resultados são apresentados nas tabelas 3.7 e 3.8. A determinação dos parâmetros de adensamento secundário (creep) foi feita através de ensaios com estágios de carregamento mínimo de 3 dias. Os resultados em detalhe são apresentados no anexo II do presente trabalho.

Tabela 3.7: Adensamento com estágio de carregamento de um dia.

Estação	Cota (m)	eo	wo (%)	Argila (%)	Finos (%)	IP (%)	G	log(1+e) - log σ'			σ'_{vo} (kPa)	OCR (kPa)
								σ'_{vm}	Cc	Ce		
E03/S14	-6.3	4.53	167.3	54.3	95.6	127.8	2.61	24.6	2.176	0.395	88.34	1.0
E01/S03	-5.3	3.44	128.0	43.8	97.3	110.7	2.64	47.5	1.915	0.498	53.45	1.0
E02/S07	-6.8	3.28	122.9	81.9	98.7	106.4	2.66	43.0	1.624	0.363	52.55	1.0
E04/S23	-4.3	3.21	119.0	39.4	87.0	98.5	2.64	43.0	1.651	0.341	46.89	1.0
E03/S14	-14.3	2.38	89.1	46.6	87.6	79.5	2.53	52.0	1.105	0.252	139.11	1.0
E02/S07	-12.8	2.36	88.3	12.0	91.6	67.0	2.65	52.5	1.274	0.258	78.76	1.0
E01/S03	-7.3	1.15	41.1	75.0	95.7	47.9	2.64	128.0	0.318	0.101	73.52	1.7
E04/S23	-9.3	0.94	33.7	66.2	90.7	35.3	2.65	170.0	0.171	0.059	87.18	2.0

Tabela 3.8: Adensamento com estágio de carregamento mínimo de três dias (medição do creep).

Estação	Cota (m)	eo	wo (%)	Argila (%)	Finos (%)	IP (%)	G	log(1+e) - log σ'			σ'_{vo} (kPa)	OCR (kPa)
								σ'_{vm}	Cc	Ce		
E04/S23	-5.3	2.12	77.1	43.8	76.9	85.4	2.66	42.0	0.987	0.172	52.42	1.0
E03/S14	-3.3	4.06	142.2	62.2	93.4	103.6	2.60	34.3	1.915	0.344	78.20	1.0
E03/S14	-8.3	3.74	142.9	55.4	91.3	100.7	2.61	23.0	1.695	0.294	103.37	1.0
E02/S07	-8.8	3.85	144.3	49.8	93.5	112.4	2.57	29.5	1.856	0.267	60.67	1.0

Resistência

Ensaio de resistência não drenados e drenados foram realizados a diferentes velocidades de deformação axial, sendo empregadas as seguintes normas:

- ASTM D-2850, Standard Test Method for Unconsolidated-Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils
- ASTM D-4767, Standard Test Method for Consolidated Undrained Triaxial Compression Test for Cohesive Soils.
- ASTM D-3080, Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions.

Nos ensaios UU e CIU a 0,0040mm/min, não foi usado o filtro lateral nos corpos de prova. Tal foi usado nos corpos de prova dos ensaios CIU a 0,0013mm/min e CID. Não foram consideradas correções da resistência devido ao uso do filtro (papel filtro Whatman no 42).

Nos ensaios CIU e CID foi efetuada correção de membrana pela expressão de Bishop e Henkel (1954), verificando-se o módulo de elasticidade da membrana e a espessura média da mesma. Correções de membrana foram feitas em todos os ensaios UU.

Tabela 3.10: Ensaio CIU.

Descrição		Cota	Argila	Finos	IP	wo	σ'_{vo}	Argila Média	wf	Af	ϕ últm	C últm	
Veloc. mm/min	Estação	(m)	(%)	(%)	(%)	(%)	(kPa)	(%)	(%)		(°)	(kPa)	
0.004	E01/S03	-3.30	23.4	87.7	93.3	125.1	25.0	23.4	113.3	0.86	33.3	6.0	
		-3.30	23.4	87.7	93.3	123.6	50.0		109.8	1.15			
		-3.30	23.4	87.7	93.3	126.8	99.7		93.6	1.41			
	E02/S07	-1.80	18.4	74.5	57	99.5	24.9	18.4	86.0	1.13	30.0	2.0	
		-1.80	18.4	74.5	57	135.7	50.0		113.6	1.53			
		-1.80	18.4	74.5	57	125.4	100.1		83.2	1.22			
	E03/S14	-2.50	60.6	95.8	111	123.6	50.0	60.6	105.3	1.06	26.8	1.5	
		-2.50	60.6	95.8	111	131.8	100.0		88.4	1.47			
	E04/S23	-3.30	40.4	80.2	103	121.2	25.0	40.4	113.6	1.63	28.0	3.5	
		-3.30	40.4	80.2	103	132.8	100.0		100.3	1.56			
	0.0013	E02/S07	-6.80	81.9	98.7	106	127.3	28.8	68.33	114.1	1.12	28.4	2.0
			-6.80	81.9	98.7	106	126.5	60.3		87.2	1.26		
-7.80			41.2	89.4	99.1	134.2	97.8	83.8		1.75			
E03/S14		-4.30	58.4	93.6	126	149.2	28.9	55.2	132.0	1.06	22.2	0.0	
		-4.30	58.4	93.6	126	142.2	59.6		95.0	1.77			
		-5.30	48.8	88.4	127	161.0	98.0		99.0	2.09			

Tabela 3.11: Ensaios CID.

Descrição		Cota	Argila	Finos	IP	wo	σ'_{vo}	Argila Média	ϕ últm	C últm
Veloc. mm/min	Estação	(m)	(%)	(%)	(%)	(%)	(kPa)	(%)	(°)	(kPa)
8.0E-04	E02/S07	-7.80	41.2	89.4	99.1	134.6	29.8	43.47	18.2	0.0
		-9.80	48	86.4	74.6	122.7	59.7			
		-7.80	41.2	89.4	99.1	129.2	100.3			
	E03/S14	-5.30	48.8	88.4	127	157.6	29.7	52.03	19.4	2.0
		-7.30	58.5	92.8	93.4	114.4	60.3			
		-5.30	48.8	88.4	127	137.2	100.2			

O diâmetro do corpo de prova foi de 1,5 polegadas e a relação H/D (altura/diâmetro) de 2. As amostras extraídas do Shelby são consideradas indeformadas.

No ensaio de cisalhamento direto, os corpos de prova foram de base quadrada de 10cm de largura e 2,5 cm de altura, isto nas amostras amolgadas.

Tabela 3.12: Ensaios de Cisalhamento Direto.

Descrição		Cota	Argila	Finos	IP	wo	σ'_{vo}	τ pico	σ'_v pico	ϕ pico	C pico
Veloc. mm/min	Estação	(m)	(%)	(%)	(%)	(%)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(°)	(kPa)
9.8E-04	E02/S07	-7.80	48	86.4	74.6	121.1	26.3	13.4	29.9	16.0	5.8
		-9.80	48	86.4	74.6	121.1	49.7	23.0	56.4		
		-7.80	48	86.4	74.6	121.1	110.2	40.2	122.7		
	E03/S14	-5.30	58.5	92.8	93.4	141.8	26.3	11.3	29.2	16.8	2.1
		-7.30	58.5	92.8	93.4	141.8	49.7	18.2	55.2		
		-5.30	58.5	92.8	93.4	141.8	110.2	37.7	117.5		

As velocidades de deformação axial teóricas foram estimadas em um primeiro caso pelas expressões sugeridas por Bishop e Henkel (1956), Head (1994), ASTM D-2850, ASTM D-4767, ASTM D-3080, além da sugestão prática feita por Germaine e Ladd (1988) citada por Ladd e Degroot (2003) para velocidades de deformação de 0,50 a 1%/hora em ensaios de compressão anisotrópica. A velocidade final foi a menor das obtidas pelas técnicas anteriores, procurando sempre que os efeitos de equalização das poro-pressões não interfiram com as leituras.

3.3. Modelagem estratigráfica

O tratamento dos dados das sondagens desde 1992 até 2009 (Figura 3.1) é apresentado neste item para obter a configuração atual dos contatos entre a argila-RSU, argila e o solo muito resistente. Nesta parte é usado o termo de argila em geral para solos de baixa resistência em comparação com a base, item 3.4 e 4.0 (argila A e B, argila de transição ou solo de transição).

3.3.1. Metodologia

A seqüência das análises para gerar a informação estratigráfica para o ano de 2009 foi dividida em duas partes:

Interpretação dos dados coletados desde 1992 até 2009

O conjunto de dados coletados tem informação muito variável. O primeiro trabalho que se faz é a uniformização dos dados do contato argila e RSU (cota superior da camada de argila), atualizadas para 2009. Este procedimento foi realizado em todas as sondagens. As cotas superiores das sondagens dos anos 1992, 1998, 1999 e 2007 foram comparadas com as cotas superiores dos furos dos ensaios SPT e palheta em sondagens próximas aos furos antigos, assim, nestas sondagens antigas a cota superior é corrigida pelo adensamento que sofre a argila desde o ano que se tivesse feito a sondagem para a condição atual do ano 2009.

A cota inferior da camada de argila foi delimitada pela cota do topo do solo resistente, chamado de solo residual, esta camada é considerada como incompressível, não sendo necessário corrigir esta cota.

Outra consideração suposta é a não correção da cota do topo da argila nas regiões fora do AMG pelo fato de não estar carregada. Finalmente, a informação foi agrupada em dados de espessuras da camada, cota superior, coordenadas UTM, para todas as sondagens antes de ser inserida em um programa ou software de interpolação para gerar o modelo tridimensional.

Técnica de interpolação dos dados para gerar o modelo 3D

Após ter o conjunto de dados em um formato estabelecido para cada sondagem, foi eleito um programa computacional para interpolar entre cada furo e obter assim um modelo tridimensional tanto do topo da camada de argila (*A*, *B* e solo de transição) quanto da base da mesma. O software empregado para este fim foi o Rockworks 2006.

Este software usa uma malha de elementos ou unidades tridimensionais, distribuídos em todo o volume de análise, o que corresponde à estratigrafia modelada. O elemento tridimensional mínimo elegido foi de 1m de altura, com comprimento e largura de 20m. Observou-se que para unidades de menor dimensão, o processo demanda muito tempo e não fornece maior precisão (em especial no método do Kriging) que a obtida com o tamanho de elemento acima citado. Outro aspecto a levar em conta é que o elemento não deve ser maior que a distancia que há entre sondagens.

O critério de interpolação empregado é o de Kriging. Van Beers e Kleijnen (2004) relatam que este método freqüentemente oferece uma melhor estimativa global que uma análise de regressão. O software Rockworks 2006 indica que o método do Kriging vai trazendo para fora a influência direcional de seus dados. O método é baseado nas seguintes hipóteses:

O valor para um ponto desconhecido pode ser estimado a partir do ponto vizinho, porém o ponto desconhecido não é necessariamente completamente dependente dos valores dos pontos conhecidos.

A variabilidade sobre o valor da profundidade dos conjuntos de dados é função de dois fatores: distância e direção. Em geral, pontos próximos tendem a mostrar menor variabilidade que pontos distantes, e na maioria dos casos, pontos ao longo de certas orientações devem mostrar menor variabilidade que pontos equidistantes ao longo de diferentes orientações.

Os valores e parâmetros empregados para o método de Kriging foram os padronizados pelo mesmo programa, tal como os autores do programa o recomendam.

Informação adicional do método pode ser encontrada na norma ASTM D 5923 – 96 (Reapproved 2004), Standard Guide for Selection of Kriging Methods in Geostatistical Site Investigations e no trabalho de Gutiérrez (2009).

3.3.2. Informação gerada

A informação que é gerada neste item é importante para modelar a geologia local da área do AMG, e para gerar o modelo geomecânico nas análises de estabilidade do aterro. As Figuras 3.2, 3.3 e 3.4 mostram as principais informações que se pode ter em lâminas 2D para o AMG.

Na Figura 3.2 apresenta-se a cota do topo da argila. Nela pode-se ver o efeito do processo de adensamento devido ao carregamento contínuo do aterro desde o ano do começo de sua operação. Pode-se observar também que na borda do aterro têm-se os menores recalques devidos à tensão efetiva muito baixa nestas áreas, isto pelo pouco carregamento imposto e principalmente pelas poro-pressões elevadas. Em algumas zonas como na seção 11, ainda na Figura 3.2, mostra-se que fora da borda do aterro têm-se cotas de até 3m, o que contrasta com a realidade, já que as cotas estão ao redor de 0,5m. Este fato acontece pelos poucos pontos ou sondagens para o processo de interpolação fora da área do aterro. No entanto, esta interpolação é corrigida segundo a topografia real do aterro. Esta topografia é modelada em outro software (Autocad Land Desktop 2006) e superposta com as seções tiradas das modelagens 3D dos sondagens.

A Figura 3.3 mostra o topo da camada de solo resistente (areia ou solo residual) e na Figura 3.4 é mostrada a espessura da camada de argila (argila *A*, *B* e solo de transição). Nestas figuras se tem informação quantitativa e principalmente qualitativa das características dos materiais no local do AMG, assim como a geomorfologia antes do processo de sedimentação dos materiais quaternários.

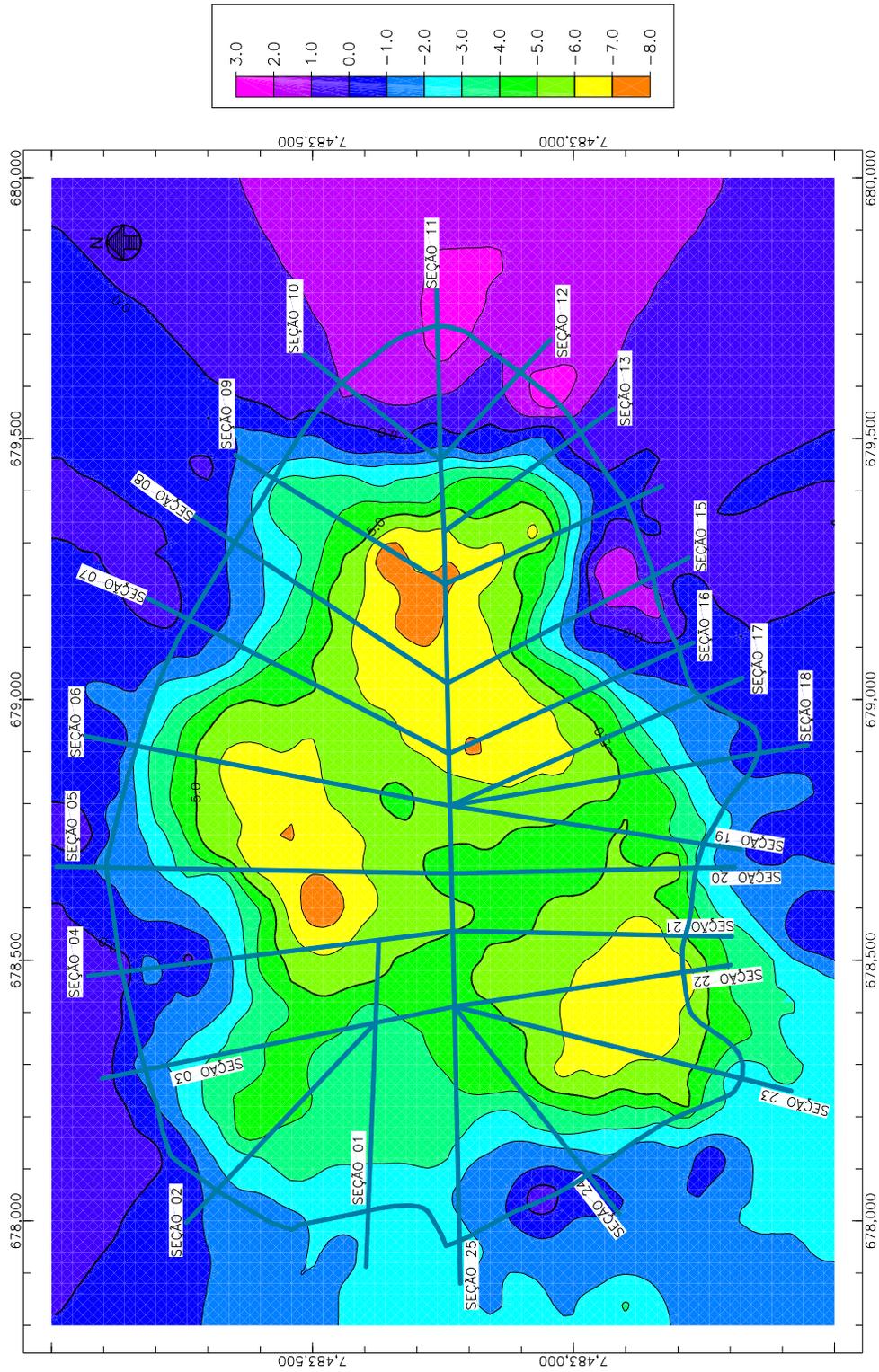


Figura 3.2: Cota do topo da argila (contato entre a argila e o RSU).

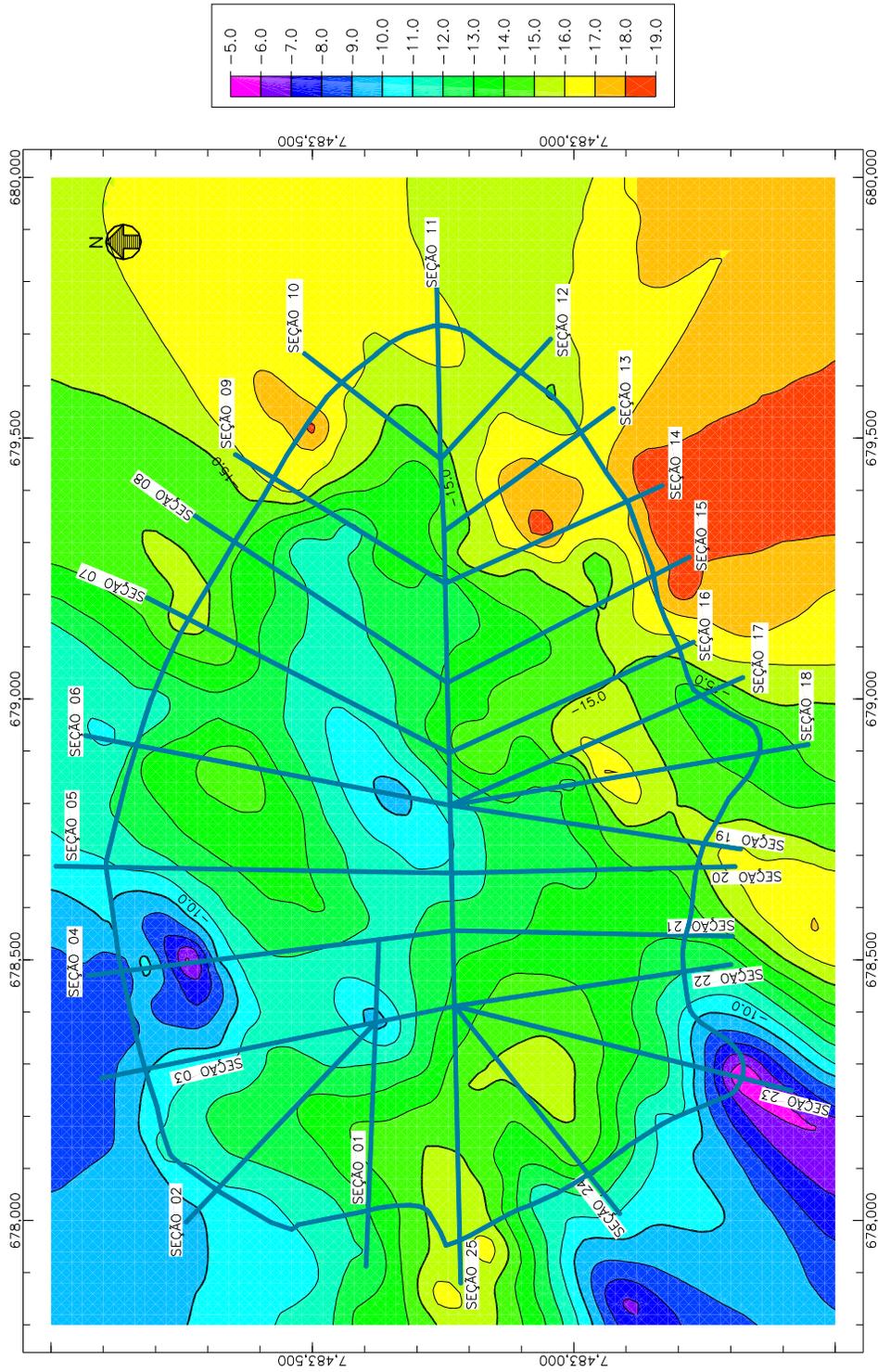


Figura 3.3: Cota do topo da areia ou solo residual.

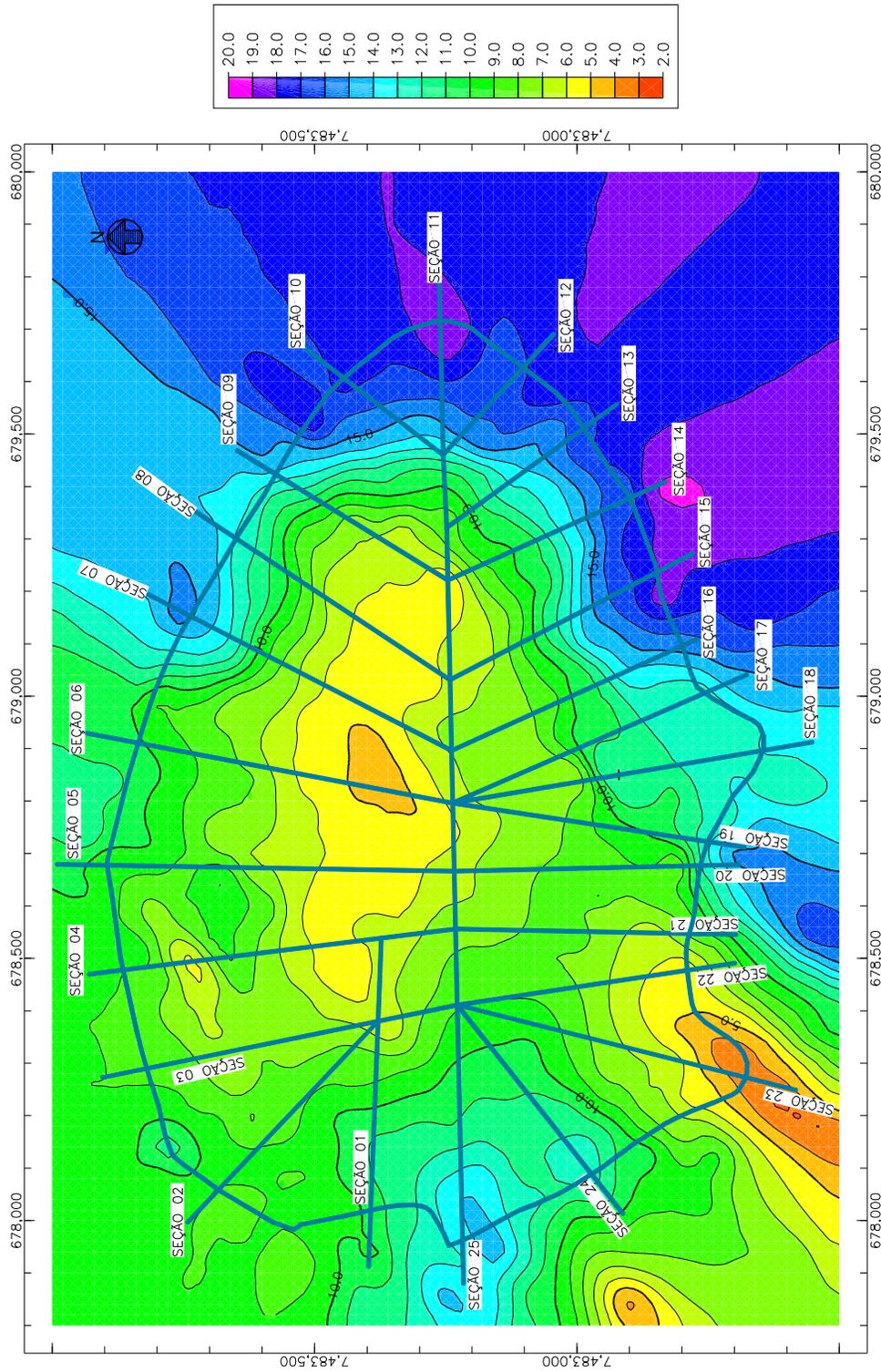


Figura 3.4: Espessura total da camada de argila (argila A, B e solo de transição).

3.4. Aspectos Geológicos

A informação apresentada neste item está orientada à compreensão da distribuição espacial do depósito de solo e rocha que se encontra sob o AMG, i.e., a distribuição litoestratigráfica dos materiais do local.

Geologia Regional

Segundo relatório do Complexo Industrial REDUC/DTSE (2000), referido à geologia regional, o “rift” da Guanabara instalou-se sobre rochas Precambrianas de evolução complexa, constituídas essencialmente de gnaisses, migmatitos e granitos.

A ação marinha, representada pelos episódios transgressivos e regressivos na Bacia de Guanabara, deixou registros sob a forma de restingas, terraços marinhos, denominados por Amador e Ponzi como Formação Magé.

A geomorfologia da área de Gramacho corresponde às faixas de forma plana originadas por movimentos epirogénicos, nomeadas de planície fluvio-marinha e planície colúvio-alúvio (Lab-Gis-PUC-Rio; 2009).

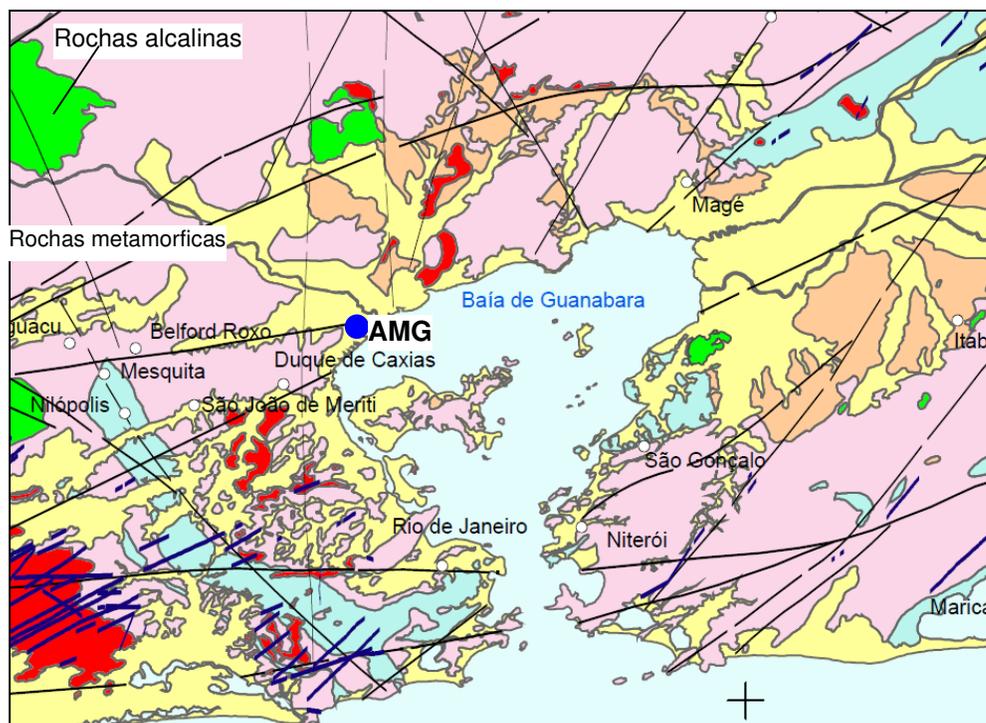


Figura 3.5: Geologia regional no local do AMG (parcela do mapa a Escala 1/400000)

Na Figura 3.5 é apresentada a distribuição regional dos depósitos fluvio-marinhos que se encontram na área de Gramacho, rochas alcalinas (rochas magmáticas) e metamórficas formadas a partir de rochas ígneas, sendo os mais comuns os chamados ortognaisses.

Geologia Local

Com a informação regional básica, sondagens e resistividade elétrica, foi feita uma interpretação tentativa da configuração geológica local sobre a área do AMG. Nesse sentido, é apresentada a coluna estratigráfica do terreno na Figura 3.6, tendo a seguinte seqüência estratigráfica:

Depósitos Tecnogênicos (Q-T): Matérias recentes não consolidadas que são de origem antrópica, que no local do Gramacho constituem os resíduos sólidos urbanos (RSU), constantemente acumulados desde 1975.

Depósitos Quaternários fluvio-marinhos (Q-fm): Materiais acumulados com antiguidades de 5000 a 10000 anos (Antunes, comunicação pessoal, 2010), predominantemente argilosas com pequenas camadas de areia, apresentam também fósseis marinhos.

ERATEMA	SIMB	UNIDADES ESTRATIGRAFICAS		
RECENTE	Q-T	DEPOSITOS TECNOGENICOS (RESIDUO SOLIDO URBANO, RSU) N.F.		
CENOZOICO	Q-fm	DEPOSITOS FLUVIO- MARINHO	A	SOLO DE ARGILA
			B	
				SOLO DE TRANSIÇÃO
		SOLO RESIDUAL		
PALEOZOICO		FRATURADA	ROCHA BASICA OU METAMORFICA	
		SA		

Figura 3.6: Coluna estratigráfica do local do AMG.

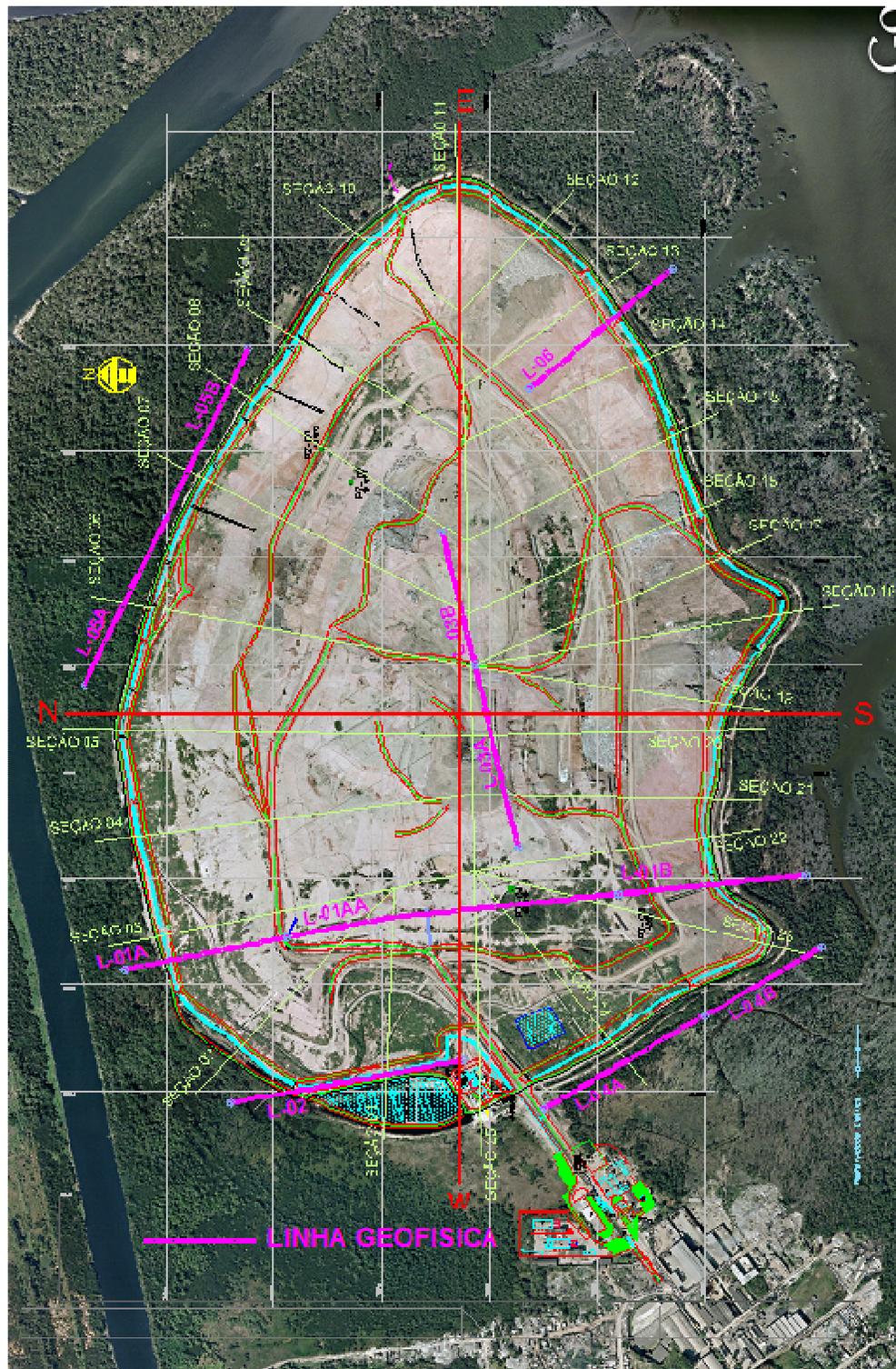


Figura 3.7: Planta geral e localização das seções N-S e E-W

Depósito de Solo Residual: Produto de processos de intemperismo físico-químico da rocha metamórfica do local, não sendo possível localizá-la em uma era exata, porém, pode ser localizada em um espaço intermediário entre o cenozóico (materiais quaternários) e o paleozóico (rocha mãe). Este depósito tem uma granulometria com maior conteúdo de areia (em alguns casos foi classificado como SC ou CL).

Rocha: De origem principalmente metamórfica, não se descartando a presença de rochas ígneas. Para verificar a presença de rochas ígneas é necessário contar com sondagens mais profundas do sítio. O período correlacionado para a rocha é cambriano (há discrepância na datação, para rochas mais antigas de período pré-cambriano) que pertence à era Paleozóica. Em base aos testes de resistividade elétrica delimitaram-se os contatos prováveis entre a rocha não fraturada e a rocha fraturada. Uma característica bem definida no local é que o afloramento rochoso na direção sul-oeste (na direção da Pedra do Urubu), tem um grau de alteração e fraturamento menor que no resto da área de estudo. Outra característica é a baixa resistividade elétrica que apresentam as rochas fraturadas ou alteradas. Isto pode ser devido ao fato do ingresso de água salgada nas fraturas que envolvem a rocha, o que levaria a uma leitura de resistividade irreal.

Apresenta-se na Figura 3.7 a planta do AMG incluindo a localização das seções representativas W-E, N-S e as linhas geofísicas feitas no local. As seções geológicas W-E e N-S são mostradas em detalhe nas figuras 3.8 e 3.9 respectivamente.

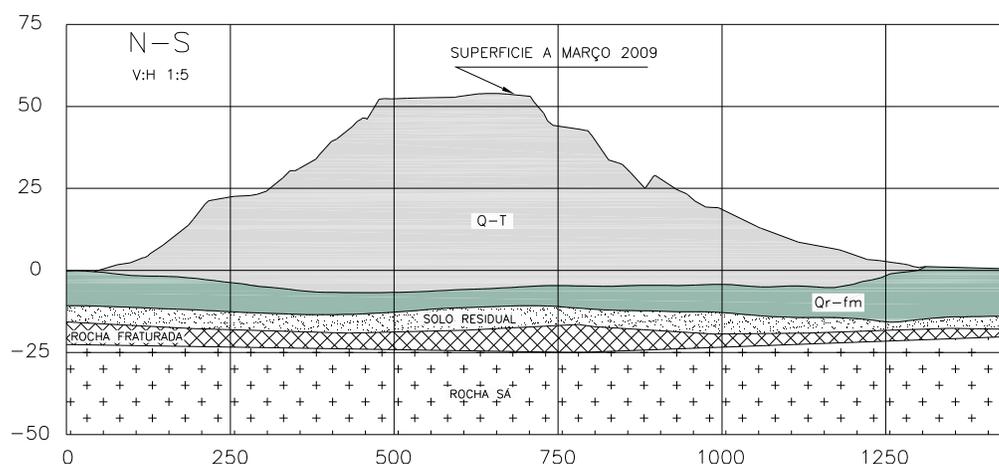


Figura 3.8: Seção geológica N-S

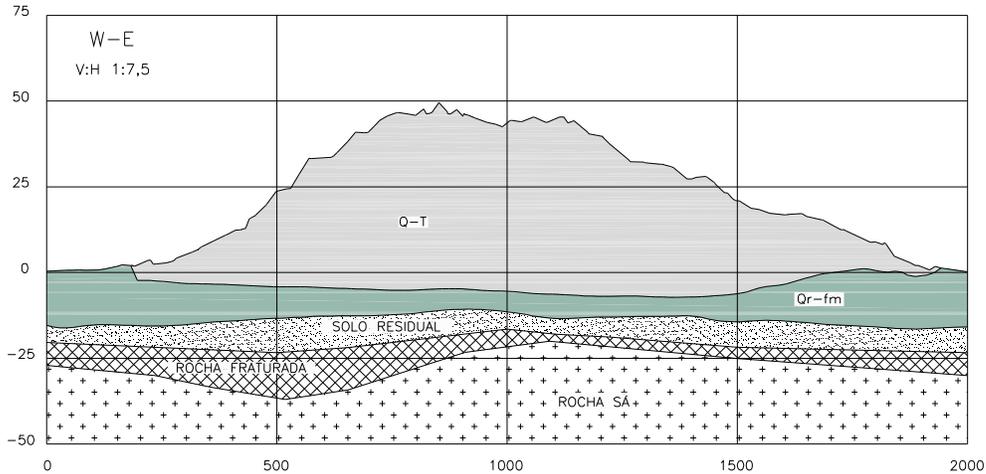


Figura 3.9: Seção geológica W-E

Condições geotécnicas dos depósitos sedimentares

Os depósitos quaternários no local do AMG são gerados por dois fatores principais, pelas transgressões e regressões marinhas que proporcionam materiais acumulados pelo efeito da gravidade que também faz mudança nas tensões efetivas, as quais vão dar origem a ciclos de adensamento; e pela deposição dos rios Iguaçu e Sarapuí que dão origem a matérias aluviais menos consolidados.

Devido a estas condições, os materiais quaternários sedimentares do AMG foram divididos em dois horizontes:

O primeiro é composto por uma argila muito plástica (IP de 60 até 140%) que é subdividida em duas categorias: Argila A e argila B, estando a argila A em processo de consolidação, e contendo dentro desta a maior presença de fósseis marinhos e pequenas camadas de areia (menos de 2cm), esta argila é muito compressível. Já a argila B é relativamente mais consolidada que a argila A, e sua espessura em alguns casos pode chegar aos 4m (aba sul e este), sendo que em outros setores pode chegar a 1m de espessura (aba oeste).

O segundo horizonte quaternário corresponde ao solo de transição que é composto por um material muito mais consolidado que a argila. Também apresenta uma plasticidade media a baixa, assim como um maior conteúdo de areia. É caracterizada também pela pouca ou nula presença de fósseis marinhos, o que faz pensar que esta camada teve uma origem principalmente aluvial. A espessura desta camada é muito variável, atingindo valores de 3m (seção 23) no caso mais favorável, assim como espessuras mínimas (0,50) em outros setores.

Este horizonte é mais permeável e sua resistência também é maior em comparação com a argila.

Condições hidrogeológicas

Particularmente na área de Gramacho é preciso dividir a condição hidrogeológica em dois espaços temporais, antes e após a existência do AMG.

Antes da existência do AMG as condições hidrogeológicas eram similares às apresentadas no relatório do Complexo Industrial REDUC/DTSE (2000) que é localizado próximo ao local do Gramacho. Neste se apresentam quatro camadas do sistema de aquíferos, em argila (a camada do aterro foi omitida nesta parte), areia (no caso do AMG corresponde ao solo de transição), solo residual e rocha fraturada. A camada de argila corresponde a um aquífero com permeabilidade de 10^{-6} a 10^{-8} cm/s. As camadas de solo de transição e solo residual são aquíferos, têm sua carga piezométrica sendo governada pelas flutuações do nível do mar (baixa e alta mar), pouco dependente das condições hidrogeológicas da camada superior da argila influenciada pelos rios Iguaçu e Sarapuí. O solo residual poderia gerar lençóis freáticos isolados dependendo de seu grau de alteração. No entanto, na área sob o AMG, supõe-se que esteja completamente saturado. A rocha fraturada pode acumular água através dos lençóis freáticos ou diretamente por um caminho do mar (se verificada que a rocha está saturada, e pelos baixos valores de resistividade elétrica). Então, a camada de solo residual e rocha fraturada, apenas no caso da área do AMG, também poderiam constituir um aquífero.

Com a inclusão do AMG o regime hidrogeológico foi modificado, porém as medidas piezométricas no pé do AMG (no topo da camada de argila e no solo de transição ou residual) fazem intuir que há um equilíbrio do regime no fluxo fora da área do AMG (cargas piezométricas quase iguais). Então, o efeito do fluxo é local no interior do AMG, e a argila de baixa permeabilidade constitui um meio que contém ou retarda a migração das partículas saturadas (chorume) do aterro de RSU para o aquífero do local.