

 	CLASSIFICAÇÃO	CMA – COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ	
	INTERNA		
ESTUDO TÉCNICO COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ-CMA BARRAGEM - BARRAGEM “B6” ATERRO EXPERIMENTAL – PILHA REJEITO DRENADO RELATÓRIO TÉCNICO CONCLUSIVO	Nº VALE	-	PÁGINA 2/38
	Nº WALM	WBH122-17-MOSC045-RTE-0004	REV. 1

ÍNDICE

<u>ITEM</u>	<u>DESCRIÇÃO</u>	<u>PÁGINA</u>
1	INTRODUÇÃO	3
2	LOCALIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO	3
3	DOCUMENTOS DISPONIBILIZADOS	4
4	CONTEXTUALIZAÇÃO	5
5	ENSAIOS REALIZADOS	6
6	AVALIAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA DOS MATERIAIS DAS ALTERNATIVAS	7
7	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	36
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

 	CLASSIFICAÇÃO	CMA – COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ	
	INTERNA		
ESTUDO TÉCNICO COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ-CMA BARRAGEM - BARRAGEM “B6” ATERRO EXPERIMENTAL – PILHA REJEITO DRENADO RELATÓRIO TÉCNICO CONCLUSIVO	Nº VALE	-	PÁGINA
	Nº WALM	WBH122-17-MOSC045-RTE-0004	REV. 1

1 INTRODUÇÃO

A Walm Engenharia (Walm) foi contratada pela Mosaic Fertilizantes S.A (Mosaic) para um estudo de avaliação do comportamento geotécnico do rejeito drenado compactado realizado no aterro experimental no Complexo Mineralógico de Araxá (CMA).

Este aterro experimental teve como objetivo estudar alternativas de disposição avaliando as características e o comportamento do rejeito drenado durante a compactação sendo este proveniente do beneficiamento mineral de fosfato. Foram então realizadas 03 (três) pilhas utilizando diferentes métodos construtivos com variação de espessuras de camadas de material lançado e diferentes equipamentos de compactação.

O aterro experimental compreende 03 (três) pilhas com dimensões de 60m x 10,40m comprimento x largura), com altura aproximada de 1,60 O material utilizado na execução do aterro foi o rejeito ciclonado drenado oriundo da planta piloto instalada na unidade de CMA.

Em função da ausência de estudos a respeito da disposição desse material especificamente que caracterizasse o melhor método de disposição, o referido aterro experimental surgiu da necessidade se desenvolver outras alternativas para a disposição de rejeitos drenados ou filtrados gerados no processo de beneficiamento do minério de fosfato.

Objetivo do trabalho foi avaliar o comportamento geotécnico dos materiais utilizados no aterro experimental com base nas informações de ensaios de campo e laboratório, de acordo com a sistemática utilizada na execução do aterro. Será apresentado no presente relatório os resultados obtidos na execução das pilhas do aterro experimental através dos ensaios de laboratórios e em *in situ* que permitiram a caracterização geotécnica do rejeito drenado.

2 LOCALIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

O Aterro Experimental está localizado dentro Complexo Mineralógico de Araxá (CMA), , próximo à ombreira esquerda da Barragem B2 – coordenadas UTM 7.826.780,85S, 292.792,71E SIRGAS 2000 (Figura 2.1). O CMA está situado a aproximadamente 6 km do centro de Araxá.

Para acessar o CMA a partir de Belo Horizonte, percorre-se cerca de 370 km na BR-262 sentido Triângulo Mineiro até a cidade de Araxá, a partir da qual desloca-se por aproximadamente 6km através de vias urbanas até Av. Arafértil que dá acesso à portaria do complexo mineralógico.

 	CLASSIFICAÇÃO	CMA – COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ
	INTERNA	
ESTUDO TÉCNICO COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ-CMA BARRAGEM - BARRAGEM “B6” ATERRO EXPERIMENTAL – PILHA REJEITO DRENADO RELATÓRIO TÉCNICO CONCLUSIVO	Nº VALE	PÁGINA
	Nº WALM	REV.
	WBH122-17-MOSC045-RTE-0004	1

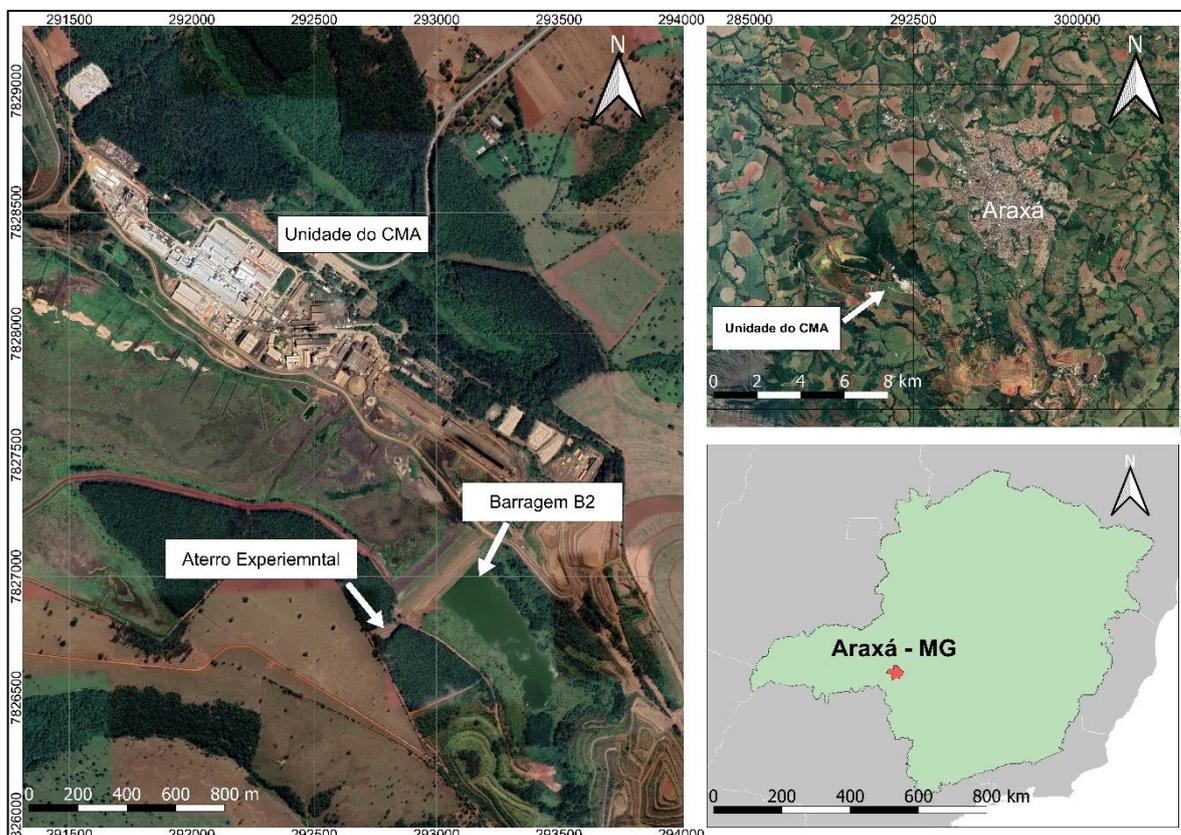


Figura 2.1 – Localização do Aterro Experimental (DATUM SIRGAS 2000).

3 DOCUMENTOS DISPONIBILIZADOS

A Tabela 3.1 apresenta os documentos disponibilizados pela Mosaic que foram utilizados pela Walm na elaboração do presente relatório.

Tabela 3.1 – Dados Disponibilizados – Aterro Experimental.

Documentos Disponibilizados	Identificação / Número de Referência	Empresa	Ano
Relatórios de adensamento e triaxiais	Dados Brutos.zip	Pattrol Investigações	2020
Relatórios de adensamento e triaxiais	Evidência MED 01.zip	Pattrol Investigações	2020
Levantamento planialtimétrico da área do Aterro Experimental	LEVANTAMENTO PLANIALTIMETRICO MITISUI - JAN2020 R4.dwg	CCC Topografia	2020
Resumo do resultado dos ensaios	mosaic aterro experimental julho.pdf	ARC Engenharia	2020

 	CLASSIFICAÇÃO	CMA – COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ	
	INTERNA		
ESTUDO TÉCNICO COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ-CMA BARRAGEM - BARRAGEM “B6” ATERRO EXPERIMENTAL – PILHA REJEITO DRENADO RELATÓRIO TÉCNICO CONCLUSIVO	Nº VALE	-	PÁGINA 5/38
	Nº WALM	WBH122-17-MOSC045-RTE-0004	REV. 1

Relatório de análise granulométrica com sedimentação	MOSAIC ATERRO EXPERIMENTAL SEDIMENTAÇÃO 24-7.pdf	ARC Engenharia	2020
Relatório Técnico dos Estudos Geotécnicos – Ensaio de Laboratório	PAT-RT-LAB-2347.20-001-Rev.00.pdf	Pattrol Investigações	2020
Levantamento Topográfico Pilha Rejeito Desaguado	Pilha Rejeito Desaguado 090720.dwg	CCC Topografia	2020
Planilha em Excel	Pontos de Execução CPTU - Rejeito Desaguado.xlsx	Pattrol Investigações	2020

4 CONTEXTUALIZAÇÃO

O empilhamento de rejeito drenado sistematizado é algo recente e como não há estudos ou caso semelhante registrados no Brasil, o conhecimento que se tem até o momento provém da literatura internacional especializada e, principalmente, dos artigos publicados em um congresso anual sobre rejeitos realizado nos Estados Unidos/Canadá – Tailings and Mine Waste.

Analisando os resultados de ensaios de aterros experimentais executados com rejeito de minério de ferro, verificou-se que o rejeito com grau de compactação menor do que 95% PN tem comportamento contrátil quando submetido a carregamento em condições não drenadas, sendo susceptível à mobilização de resistência não-drenada.

Logo, a execução do aterro experimental utilizando o rejeito desaguado da MOSAIC buscou manter o grau de compactação acima de 95% para orientar a construção das futuras pilhas de rejeito drenado.

Neste contexto, foram avaliadas 3 alternativas considerando diferentes espessuras de camada de compactação:

1) Alternativa 1 (Pilha 1)

GC a partir de 95%, passada de 3 vezes com o rolo compactador, em camada de 30cm camada, umidade ótima (Wot) 19,8%

2) Alternativa 2 (Pilha 2)

GC a partir de 95%, passada de 3 vezes com trator de esteira, em camada de 30cm, umidade ótima (Wot) 19,8%;

3) Alternativa 3 (Pilha 3)

GC a partir de 95%, 03 passadas por camada com rolo compactador pé de carneiro, em camada de 40cm, umidade ótima (Wot) 19,8%.

 	CLASSIFICAÇÃO	CMA – COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ	
	INTERNA		
ESTUDO TÉCNICO COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ-CMA BARRAGEM - BARRAGEM “B6” ATERRO EXPERIMENTAL – PILHA REJEITO DRENADO RELATÓRIO TÉCNICO CONCLUSIVO	Nº VALE	-	PÁGINA
	Nº WALM	WBH122-17-MOSC045-RTE-0004	6/38 REV. 1

Vale destacar que os dados referentes aos ensaios de campo da Alternativa 3 (Pilha 3) não foram disponibilizados, por isso, os resultados e considerações não serão apresentados.

5 ENSAIOS REALIZADOS

Para caracterização geotécnica do aterro das alternativas Pilha 1 e Pilha 2 foram realizados 2 ensaios triaxiais CIU (8 CP's), 6 ensaios CPTu's e 3 ensaios de adensamento.

Os referidos ensaios são listados nas Tabela 5.1 e Tabela 5.2 a seguir.

Tabela 5.1 - Relação dos ensaios de laboratório realizados.

ID Amostra	Tipo de Amostra	Triaxial CIU	Caracterização completa	Adensamento	Permeabilidade
PI-01-PILHA 01	Indeformada	4 CP's	-	2	1 ⁽¹⁾
PI-02-PILHA 01	Indeformada	4 CP's	-	1	-
PI-01-Amostra 1	Deformada	-	1 ⁽²⁾	-	-
PI-02-Amostra 1	Deformada	-	1	-	-

Nota: (1) De acordo com o relatório técnico nº PAT-RT-LAB-2347.20-001-Rev.00 elaborado pela Pattrol, foi realizado 1 ensaio de permeabilidade a carga constante, no entanto não foi disponibilizado o resultado do ensaio.

(2) No Relatório Nº 01/20 da ARC Engenharia, referente aos resultados dos ensaio de caracterização completa, não foi disponibilizado o resultado do ensaio de Limite de Atterberg.

Tabela 5.2 – Relação dos Ensaios de Piezocone (CPTu's) realizados.

ID CPTu	Material	Coordenadas UTM (Córrego Alegre – Z23)			Prof. (m)	Profundidade N.A
		Leste	Norte	Elevação		
CPTU-01-01	Aterro Pilha 1	292.814,920	7.826.769,690	1.032,424	1,60	N.A. não alcançado
CPTU-02-01	Aterro Pilha 1	292.831,226	7.826.778,227	1.032,655	4,92	N.A. não alcançado
CPTU-03-01	Aterro Pilha 2	292.843,585	7.826.785,444	1.032,734	1,55	N.A. não alcançado

 	CLASSIFICAÇÃO	CMA – COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ
	INTERNA	
ESTUDO TÉCNICO COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ-CMA BARRAGEM - BARRAGEM “B6” ATERRO EXPERIMENTAL – PILHA REJEITO DRENADO RELATÓRIO TÉCNICO CONCLUSIVO	Nº VALE	PÁGINA
	-	7/38
	Nº WALM	REV.
	WBH122-17-MOSC045-RTE-0004	1

CPTU-01-02	Aterro Pilha 2	292.813,139	7.826.773,911	1.032,538	1,55	N.A. não alcançado
CPTU-02-02	Aterro Pilha 2	292.829,606	7.826.782,724	1.032,644	1,50	N.A. não alcançado
CPTU-03-02	Aterro Pilha 2	292.842,142	7.826.789,270	1.032,773	1,50	N.A. não alcançado

Além dos ensaios realizados no aterro experimental, foram realizados os ensaios relativos à completa caracterização geotécnica do rejeito, a saber:

- Análise granulométrica completa (peneiramento e sedimentação) – (norma NBR 7181);
- Determinação da massa específica real dos grãos do solo;
- Determinação de índice de vazios máximo e mínimo dos solos não coesivos;
- Ensaio de compactação (sem reuso e sem ressecamento prévio do solo) na energia do Proctor Normal – (norma NBR 7182).

6 AVALIAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA DOS MATERIAIS DAS ALTERNATIVAS

6.1 CARACTERIZAÇÃO DO REJEITO.

O rejeito utilizado na execução das pilhas apresenta característica areno-siltosa. Essas informações são apresentadas na Tabela 6.1 a seguir e na Figura 6.1 a seguir.

Tabela 6.1 – Resumo caracterização física do rejeito.

ID Amostra	Granulometria (%)						Gs (kN/m ³)	Wnat (%)	Índice de Vazios (e)		Limites Atterberg	
	Argila	Silte	Areia Fina	Areia Média	Areia Grossa	Pedregulho			e _{máx.}	e _{mín.}	LL	LP
PI-01- Amostra 1	1,9	24,7	48,2	22,4	1,8	1,0	33,50	0,2	1,10	0,72	-	-
PI-02- Amostra 1	-	-	-	-	-	-	33,72	0,2	1,22	0,81	-	-

6.1.1 Granulometria

Na Figura 6.1, é apresentado o resultado da única análise granulométrica obtido para a amostra de rejeito realizada na amostra PI-01-Amostra 1.

 	CLASSIFICAÇÃO	CMA – COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ
	INTERNA	
ESTUDO TÉCNICO COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ-CMA BARRAGEM - BARRAGEM “B6” ATERRO EXPERIMENTAL – PILHA REJEITO DRENADO RELATÓRIO TÉCNICO CONCLUSIVO	Nº VALE	PÁGINA
	-	8/38
	Nº WALM	REV.
	WBH122-17-MOSC045-RTE-0004	1

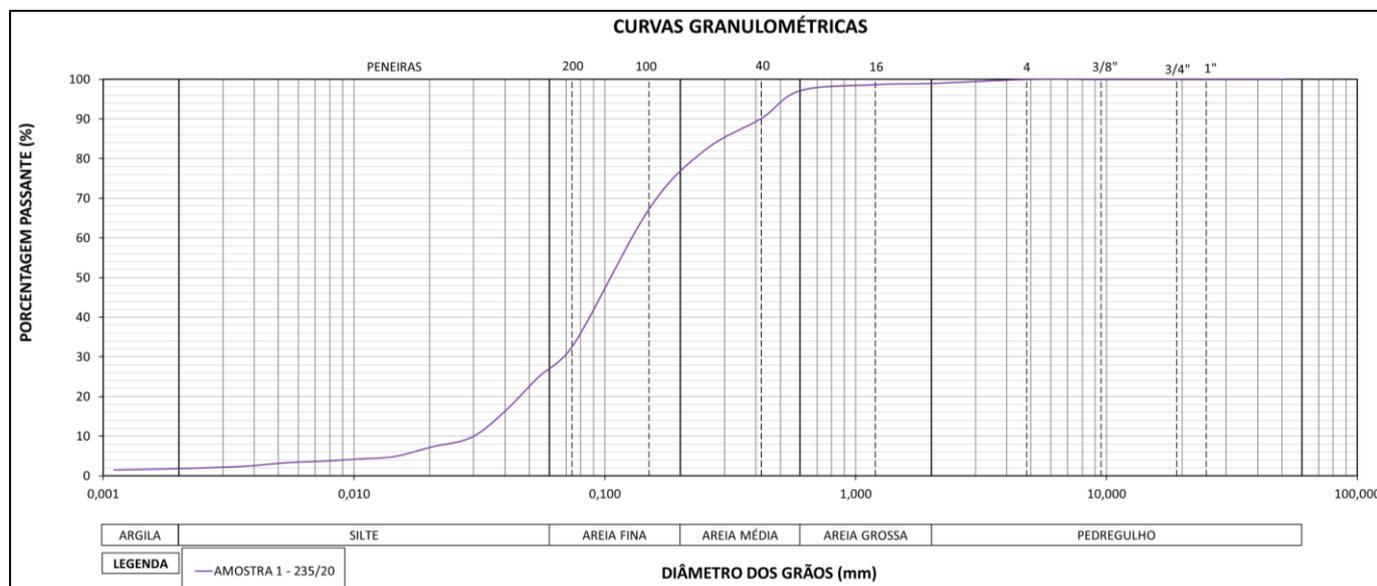


Figura 6.1 - Distribuição granulométrica da amostra de rejeito.

6.1.2 Limites de Atterberg

Não foram apresentados os resultados dos Limites de Atterberg - Limites de Plasticidade (LP) e Limite de Liquidez (LL).

6.1.3 Índice de vazios máximos e mínimos

O resultado dos índices de vazios máximos e mínimos obtidos nos ensaios estão apresentados na Tabela 6.2.

Tabela 6.2 – Índice de vazios

Amostra 1 – Cert. nº 05/20	Índice de vazios máximo	1,10
	Índice de vazios mínimos	0,72
Amostra 2 – Cert. nº 07/20	Índice de vazios máximo	1,22
	Índice de vazios mínimos	0,81

6.1.4 Massa Específica real dos grãos

A massa específica dos grãos das amostras ensaiadas estão apresentadas na Tabela 6.3.

 	CLASSIFICAÇÃO	CMA – COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ
	INTERNA	
ESTUDO TÉCNICO COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ-CMA BARRAGEM - BARRAGEM “B6” ATERRO EXPERIMENTAL – PILHA REJEITO DRENADO RELATÓRIO TÉCNICO CONCLUSIVO	Nº VALE	PÁGINA
	Nº WALM	REV.
	WBH122-17-MOSC045-RTE-0004	1

Tabela 6.3 – Massa Específica dos Grãos.

Massa específica dos sólidos								
Registro	ID	Furo	Amostra	Prof.	Massa específica dos sólidos (g/cm³)		Teor de umidade (%)	MÉDIA (kN/m³)
					Determinações	Valor médio		
14812	PI-01 - Amostra 01	Bloco 01	Deformada	-	3,36	3,350	0,2	33,50
					3,34			
14814	PI-02 - Amostra 01	Bloco 02	Deformada	-	3,363	3,372	0,2	33,72
					3,381			

6.1.5 Umidade Natural

Estão apresentadas na Tabela 6.4 os teores de umidades naturais das amostras ensaiadas.

Tabela 6.4 – Umidade Natural.

Teor de umidade natural					
Registro	ID	Amostra	Profundidade	Umidade (%)	
				Determinações	Valor médio
202.014.812	PI-01 - Amostra 01	DEFORMADA	-	0,2	0,20
				0,2	
				0,2	
202.014.814	PI-02 - Amostra 01	DEFORMADA	-	0,2	0,20
				0,1	
				0,3	

6.1.6 Ensaio de Compactação

A partir dos resultados, observa-se que para todas as camadas, considerando 3 passadas dos equipamentos de compactação, trator de esteira e rolo compactador, obtém-se grau de compactação (GC) acima de 95%. No entanto, a partir da 5ª camada observa-se tendência do gráfico para GC<95%, devendo ser confirmada a eficiência do modo de compactação durante a construção a estrutura.

A Pilha 1, que foi compactada com rolo pé de carneiro e a com camadas de 30 cm de material solto, obteve GC ligeiramente maior do que a pilha 2, que foi compactada com trator de esteira e com camada de 30 cm de material solto. Ambos os métodos atenderiam, pelo critério de GC, à compactação indicada em projeto. No entanto, ambas as alternativas indicam que a partir da 5ª o GC pode ficar abaixo dos 95%.

		CLASSIFICAÇÃO	CMA – COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ	
		INTERNA		
ESTUDO TÉCNICO COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ-CMA BARRAGEM - BARRAGEM “B6” ATERRO EXPERIMENTAL – PILHA REJEITO DRENADO RELATÓRIO TÉCNICO CONCLUSIVO			Nº VALE	PÁGINA
			-	10/38
			Nº WALM	REV.
			WBH122-17-MOSC045-RTE-0004	1

A partir do ensaio de compactação foi definido como umidade ótima (wot) 19,8%. Os gráficos das Figura 6.2 a Figura 6.5 apresentam os resultados dos ensaios de compactação.

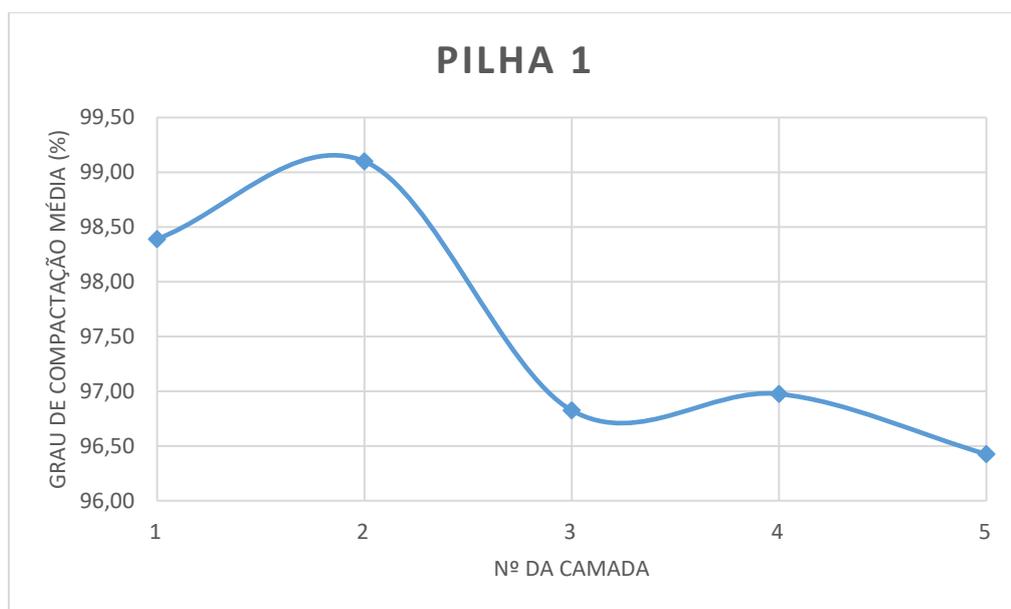


Figura 6.2 – Grau de compactação média x Nº da camada – Pilha 1.

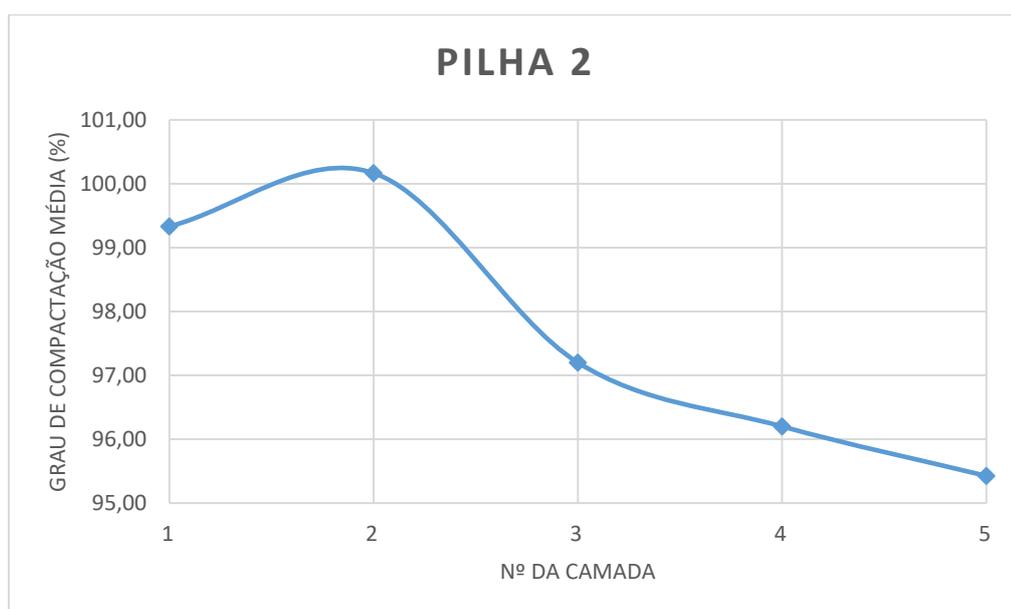


Figura 6.3 – Grau de compactação média x Nº da camada – Pilha 2.

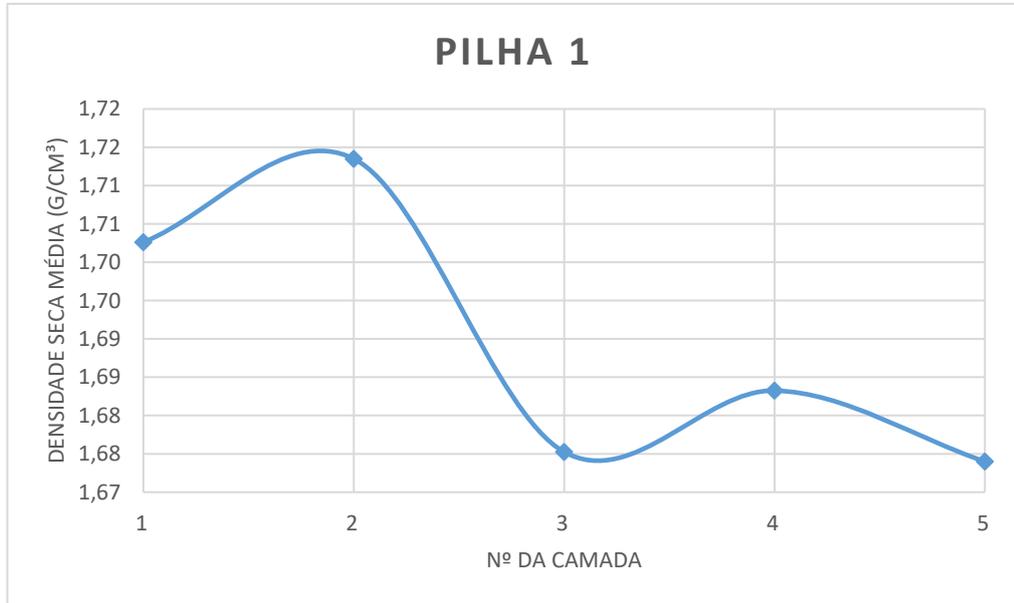


Figura 6.4 – Densidade seca média x N° da camada – Pilha 1.

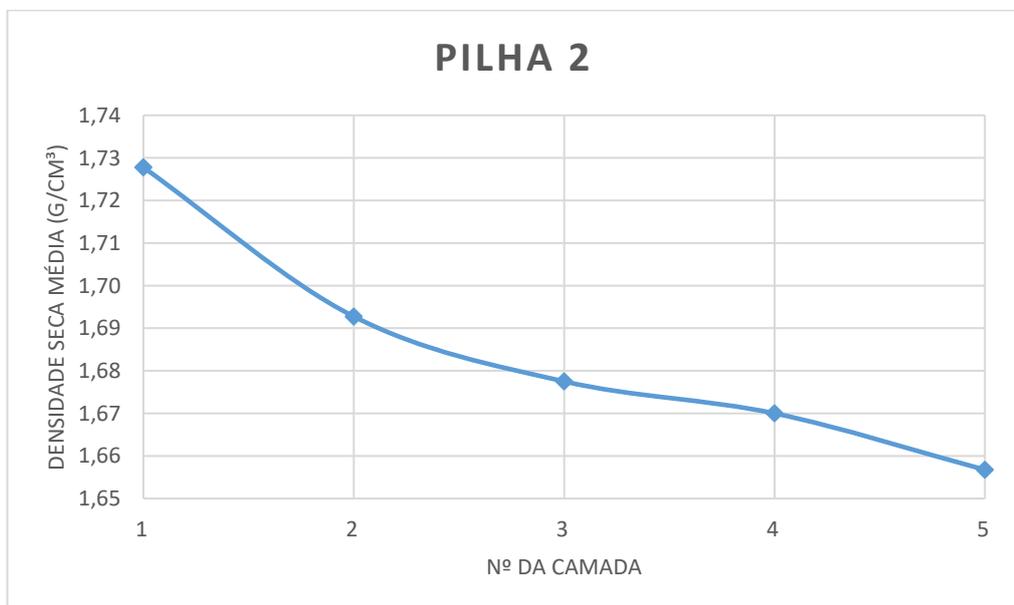


Figura 6.5 – Densidade seca média x N° da camada – Pilha 2.

 	CLASSIFICAÇÃO	CMA – COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ	
	INTERNA		
ESTUDO TÉCNICO COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ-CMA BARRAGEM - BARRAGEM “B6” ATERRO EXPERIMENTAL – PILHA REJEITO DRENADO RELATÓRIO TÉCNICO CONCLUSIVO	Nº VALE	-	PÁGINA 12/38
	Nº WALM	WBH122-17-MOSC045-RTE-0004	REV. 1

6.2 CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DO ATERRO DA ALTERNATIVA 1 (PILHA 1)

A partir dos ensaios de laboratório e de campo, buscou-se caracterizar geotecnicamente os materiais de aterro de acordo com seu comportamento e, em seguida, buscou-se definir os parâmetros de resistência e permeabilidade dos materiais. No que se refere especificamente ao comportamento, analisou-se a dilatância e adensamento do material. Em termos de parâmetros, foram definidos os parâmetros de resistência e compressibilidade dos diferentes materiais.

Desta forma, nos itens que se seguem, são detalhadas as interpretações dos ensaios e os resultados obtidos.

6.2.1 Comportamento do Material

A partir dos ensaios triaxial CIU, observa-se que, para qualquer das tensões de confinamento ensaiadas, o material exibe comportamento dilatante ao longo do desenvolvimento de ensaios. Este comportamento é ratificado pelo gráfico de tensões efetivas (Figura 6.6) e pelo gráfico de poropressão (Figura 6.7) que indicam geração de poropressão negativa próximo às faixas de deformação de ruptura (entre 6,5% e 13%).

A partir da análise do gráfico de tensão x deformação da Pilha 1 (Figura 6.8), observa-se que o material é normalmente adensado, não sendo observados indícios de fragilidade do material, ou seja, a resistência residual (após ruptura do corpo de prova) é de mesma ordem em relação à resistência de pico.

Além disso, a partir do gráfico de tensão x deformação da Figura 6.8, é possível inferir que o pico de máxima tensão desviadora varia entre 6,5% e 13% para os ensaios executados sob diferentes tensões de consolidação.

 	CLASSIFICAÇÃO	CMA – COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ
	INTERNA	
ESTUDO TÉCNICO COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ-CMA BARRAGEM - BARRAGEM “B6” ATERRO EXPERIMENTAL – PILHA REJEITO DRENADO RELATÓRIO TÉCNICO CONCLUSIVO	Nº VALE	PÁGINA
	Nº WALM	REV.
	WBH122-17-MOSC045-RTE-0004	1



Figura 6.6 – Trajetória de tensão efetiva definida a partir do ensaio triaxial CIU – Pilha 1.

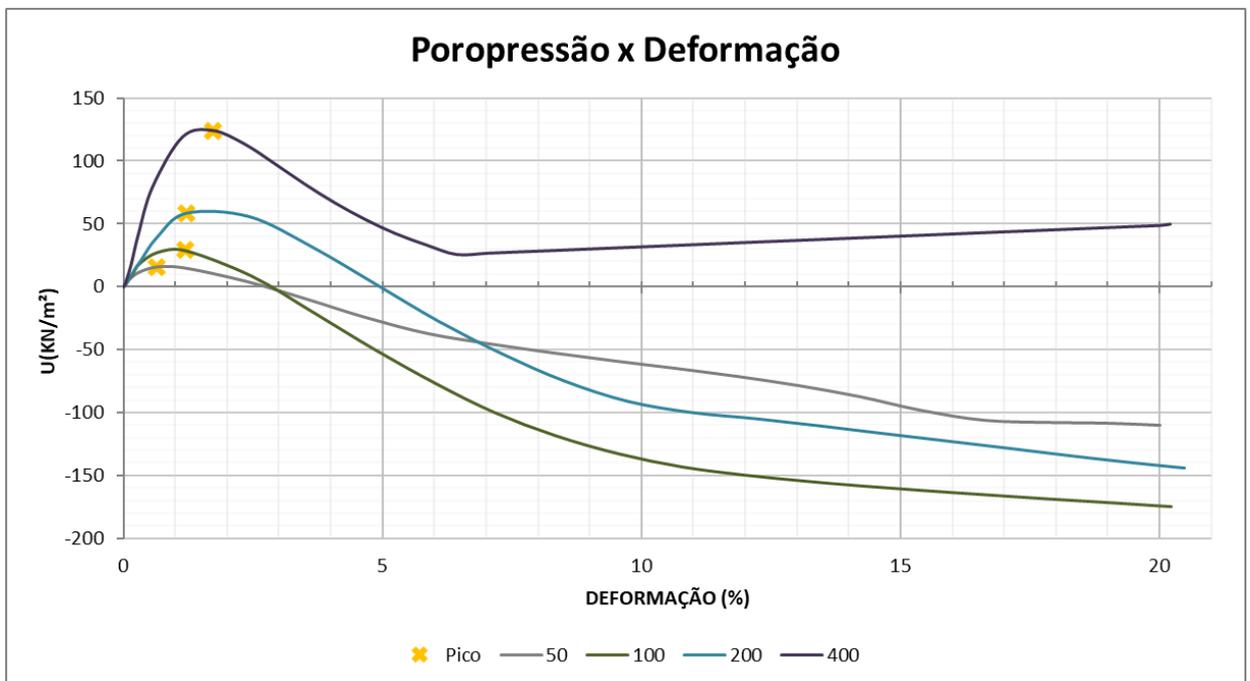


Figura 6.7 – Gráfico de medição de poropressão medida ao longo do ensaio triaxial CIU – Pilha 1.

 	CLASSIFICAÇÃO	CMA – COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ
	INTERNA	
ESTUDO TÉCNICO COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ-CMA BARRAGEM - BARRAGEM “B6” ATERRO EXPERIMENTAL – PILHA REJEITO DRENADO RELATÓRIO TÉCNICO CONCLUSIVO	Nº VALE	PÁGINA
	Nº WALM	REV.
	WBH122-17-MOSC045-RTE-0004	1

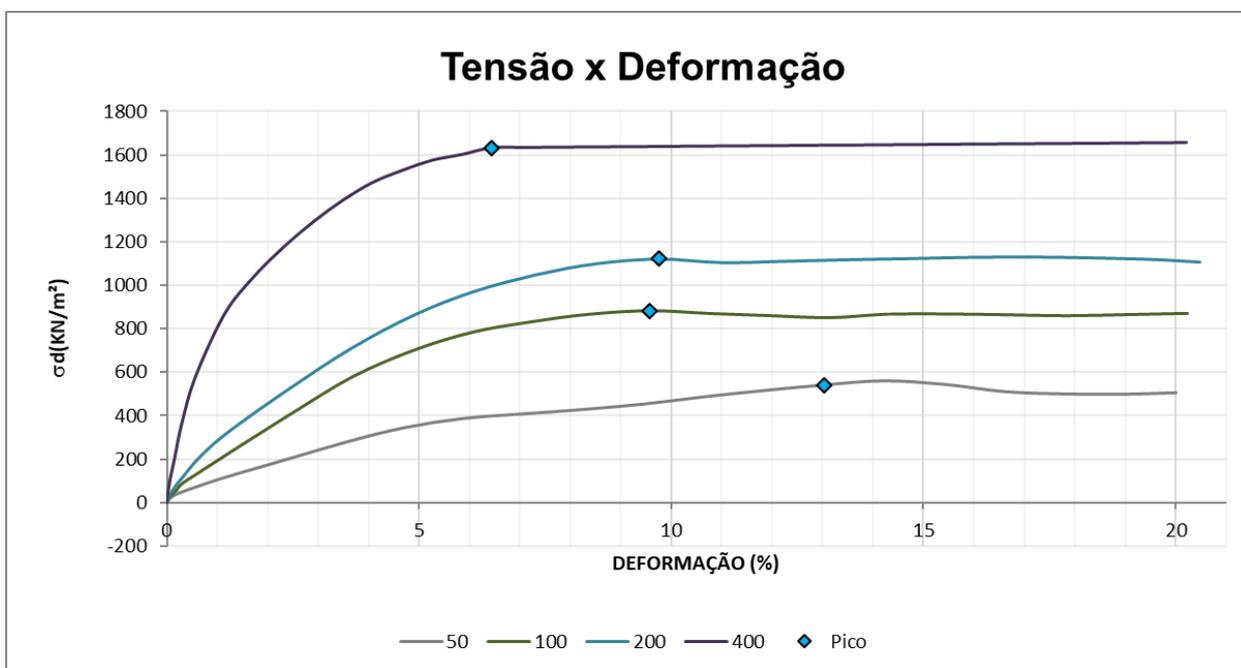


Figura 6.8 – Gráfico tensão x deformação obtido a partir do ensaio triaxial CIU – Pilha 1.

Foram executados 3 ensaios CPTu's no aterro da Pilha 1 (Figura 6.9 Figura 6.11), totalizando 4,75 m de investigação. Vale destacar que nenhum dos ensaios atingiu o nível d'água o que pode refletir nas correlações apresentadas.

A resistência de ponta (q_t) varia de 7,5Mpa a 15Mpa. Nota-se o comportamento oscilatório da resistência de ponta provavelmente associada aos níveis de compactação ao longo de uma camada. Isso pode indicar que a porção superior de uma camada apresenta maior resistência de ponta (q_t) em relação a porção inferior da camada. Este comportamento é observado nos gráficos dos CPTu's 01-01 e 03-01 (Figura 6.9 Figura 6.11).

A poropressão (u_2) pode variar de 0 a 24kPa, no entanto, em função do N.A. estar posicionado em cota inferior ao fim dos ensaios, estas leituras podem estar relacionadas à saturação da pedra porosa do sensor e não exatamente ao material ensaiado. A razão de atrito (F_r) se mantém constante e próxima de 1% ao longo de todo o intervalo de ensaio. A partir do *Soil Behavior Type* (SBT), o material é classificado como arenoso a silto-arenoso, corroborando com as análises granulométricas apresentadas no item anterior.



CLASSIFICAÇÃO

INTERNA

CMA – COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ

ESTUDO TÉCNICO
 COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ-CMA
 BARRAGEM - BARRAGEM "B6"
 ATERRO EXPERIMENTAL – PILHA REJEITO DRENADO
 RELATÓRIO TÉCNICO CONCLUSIVO

Nº VALE

-

PÁGINA

15/38

Nº WALM

REV.

WBH122-17-MOSC045-RTE-0004

1

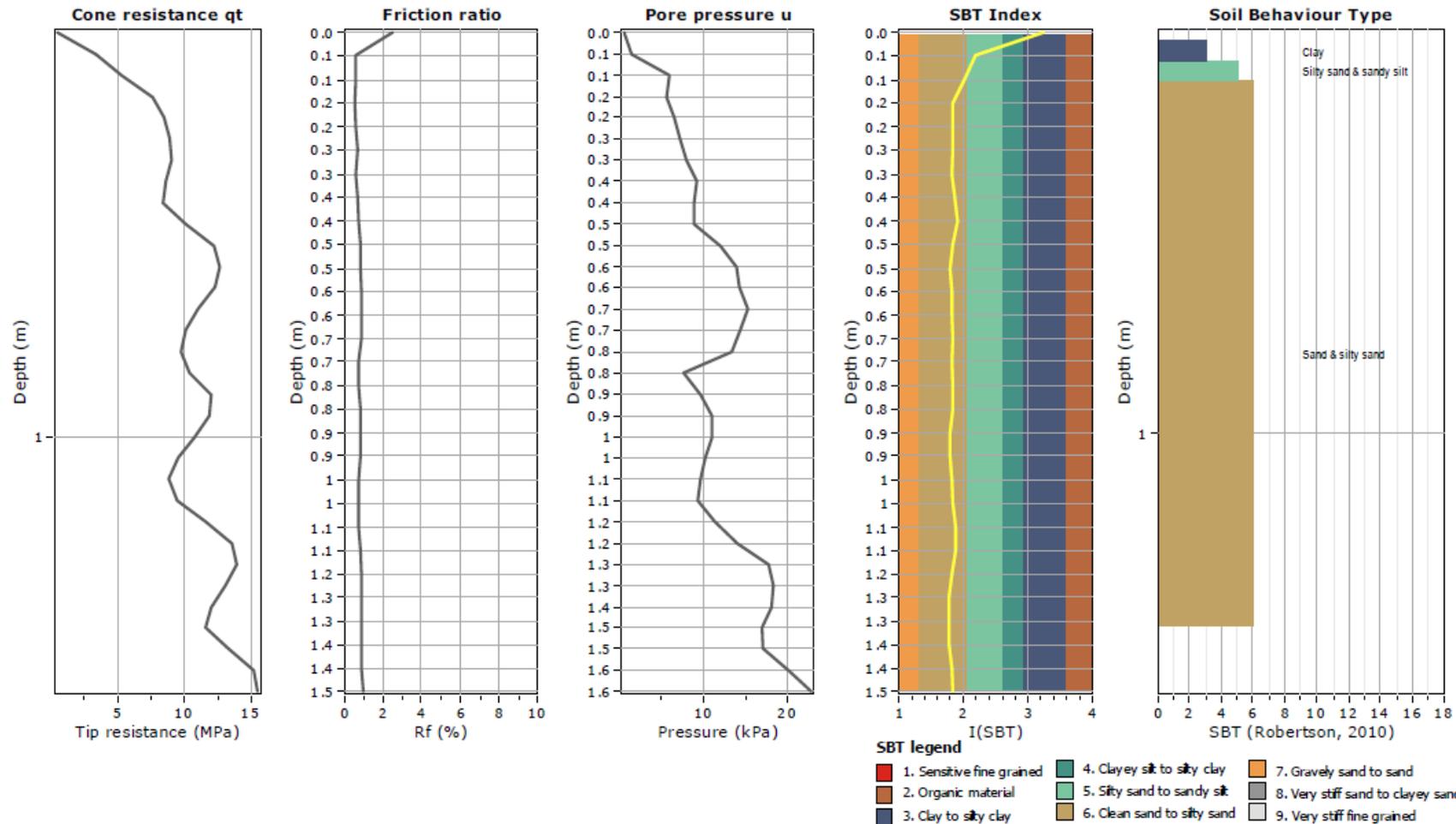


Figura 6.9 – Gráficos com os resultados do CPTU-01-01.



CLASSIFICAÇÃO

INTERNA

CMA – COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ

ESTUDO TÉCNICO
 COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ-CMA
 BARRAGEM - BARRAGEM "B6"
 ATERRO EXPERIMENTAL – PILHA REJEITO DRENADO
 RELATÓRIO TÉCNICO CONCLUSIVO

Nº VALE

-

PÁGINA

16/38

Nº WALM

WBH122-17-MOSC045-RTE-0004

REV.

1

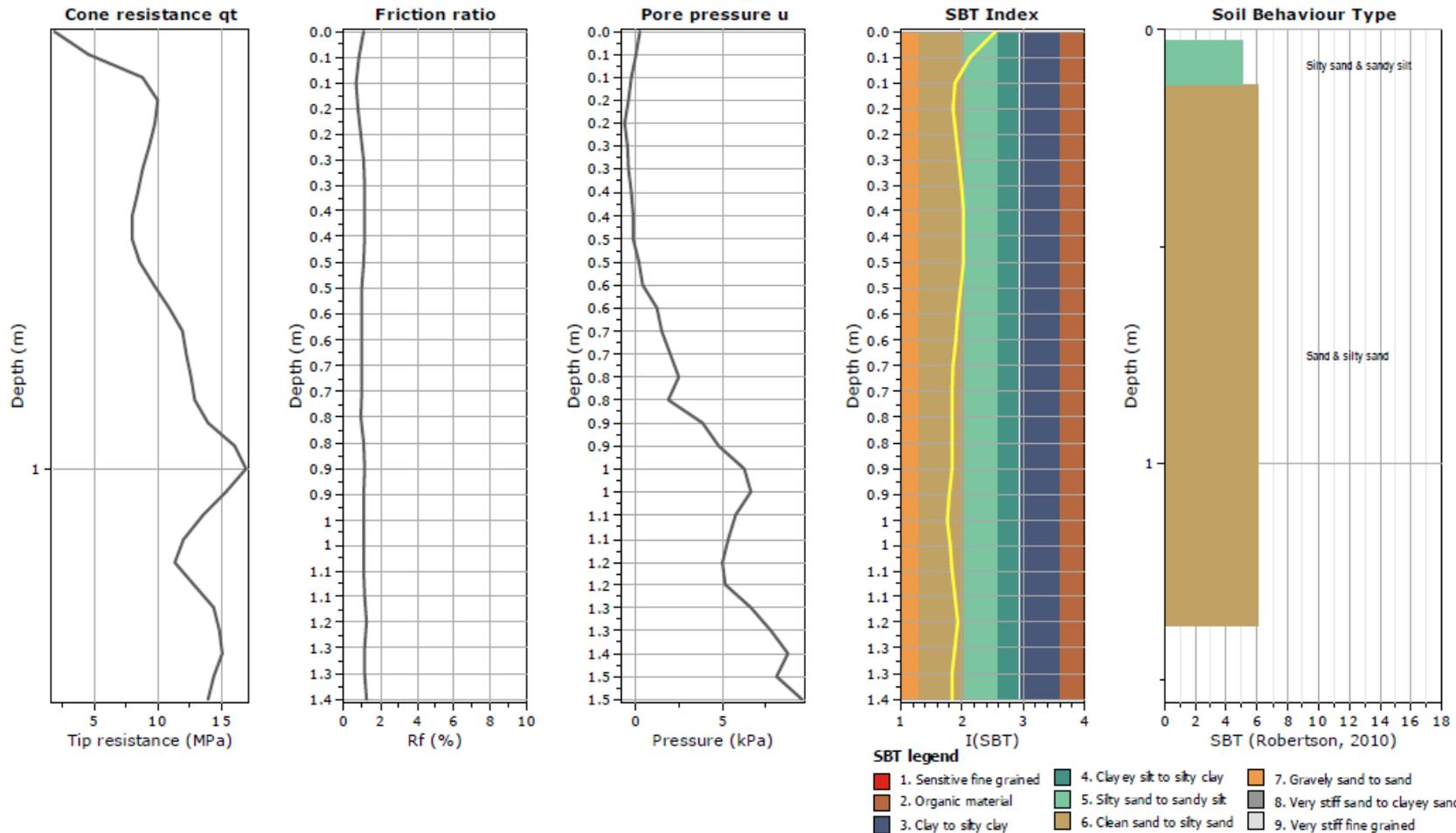


Figura 6.10 – Gráficos com os resultados do CPTU-02-01.



CLASSIFICAÇÃO

INTERNA

CMA – COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ

ESTUDO TÉCNICO
 COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ-CMA
 BARRAGEM - BARRAGEM "B6"
 ATERRO EXPERIMENTAL – PILHA REJEITO DRENADO
 RELATÓRIO TÉCNICO CONCLUSIVO

Nº VALE

-

PÁGINA

17/38

Nº WALM

WBH122-17-MOSC045-RTE-0004

REV.

1

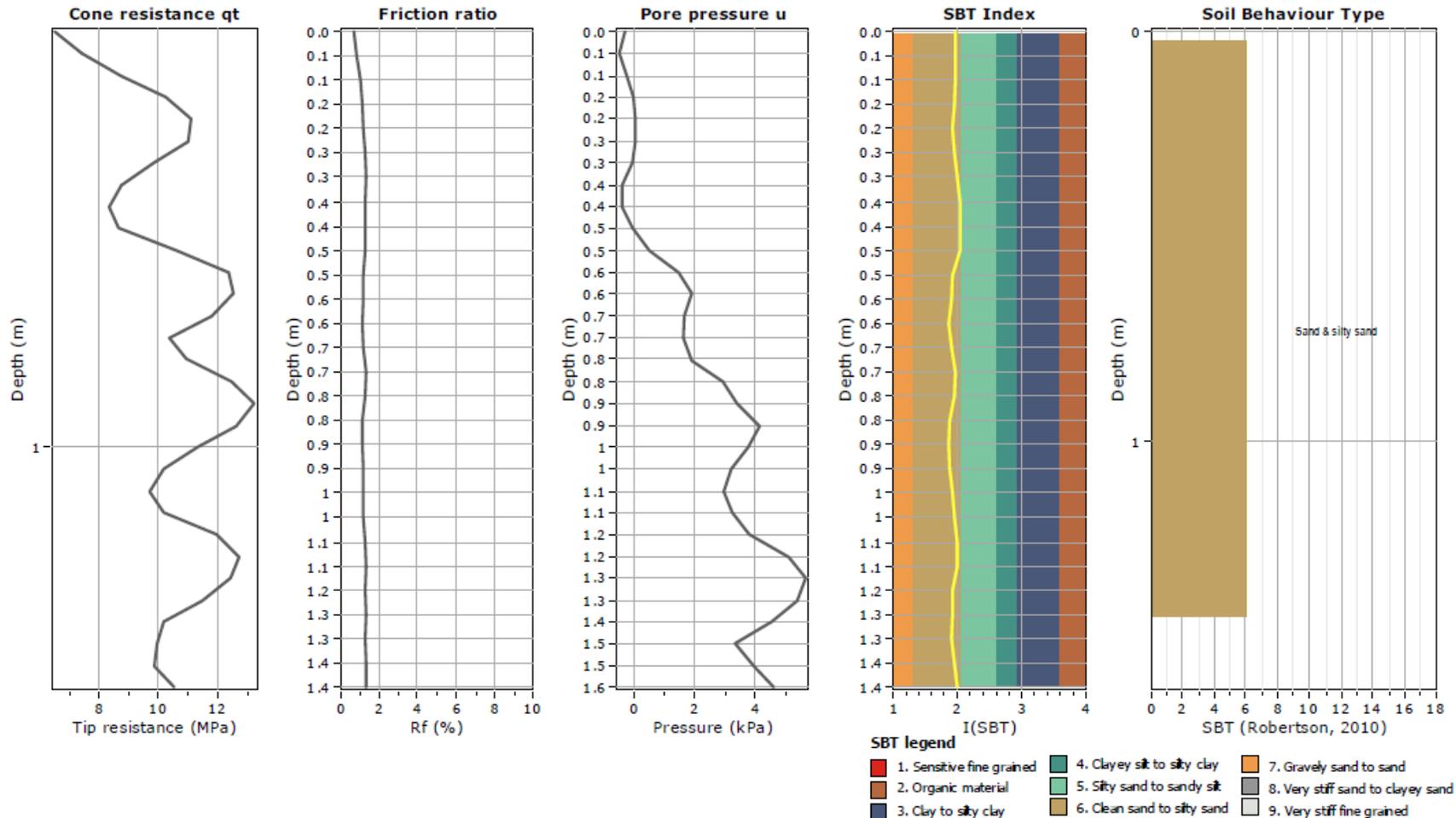


Figura 6.11 – Gráficos com os resultados do CPTU-03-01.

 	CLASSIFICAÇÃO	CMA – COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ
	INTERNA	
ESTUDO TÉCNICO COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ-CMA BARRAGEM - BARRAGEM “B6” ATERRO EXPERIMENTAL – PILHA REJEITO DRENADO RELATÓRIO TÉCNICO CONCLUSIVO	Nº VALE	PÁGINA
	Nº WALM	REV.
	-	18/38
	WBH122-17-MOSC045-RTE-0004	1

A dilatância do material foi avaliada a partir da compilação de todos os ensaios de CPTu realizados na Pilha 1 a partir correlações clássicas da literatura tais como: Plewes et al. (1992); Olson & Stark (2003); Robertson (2010); Winckler et al. (2014); Robertson (2016), as quais são apresentadas na Figura 6.12 e Figura 6.13 a seguir.

Apesar das correlações indicarem que 100% das leituras dos ensaios estão associadas a material dilatante, destaca-se que as correlações acima citadas utilizam o parâmetro de poropressão (u_2) como variável de cálculo e/ou correlação. Portanto, conforme citado inicialmente, as leituras de u_2 podem estar associadas à saturação da pedra porosa do equipamento e não estariam ligadas às poropressões geradas pelo material.

Além disso, em função da pequena espessura do aterro e da frequência de leitura do CPTu (a cada 30cm) foram obtidos poucos pontos de leitura no material de interesse. Entretanto, apesar de tais limitações, pode-se afirmar que os dados de CPTu corroboram com os resultados observados no ensaio triaxial CIU no que se refere à dilatância do material.

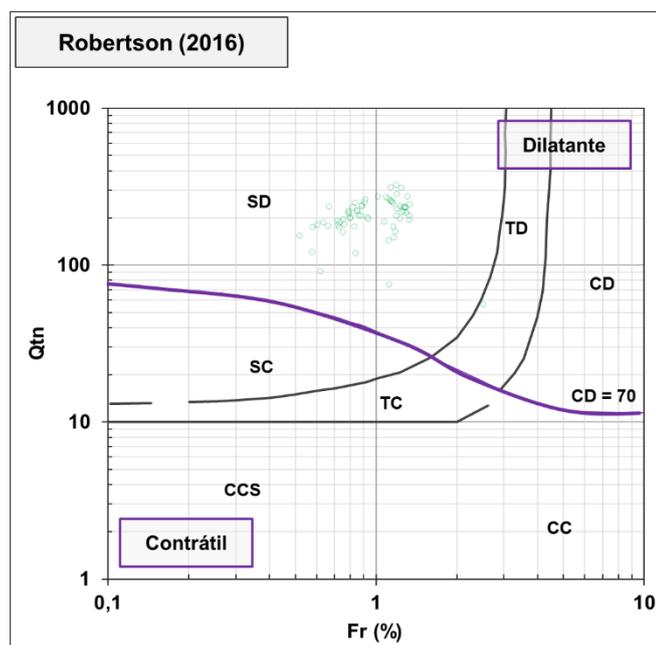
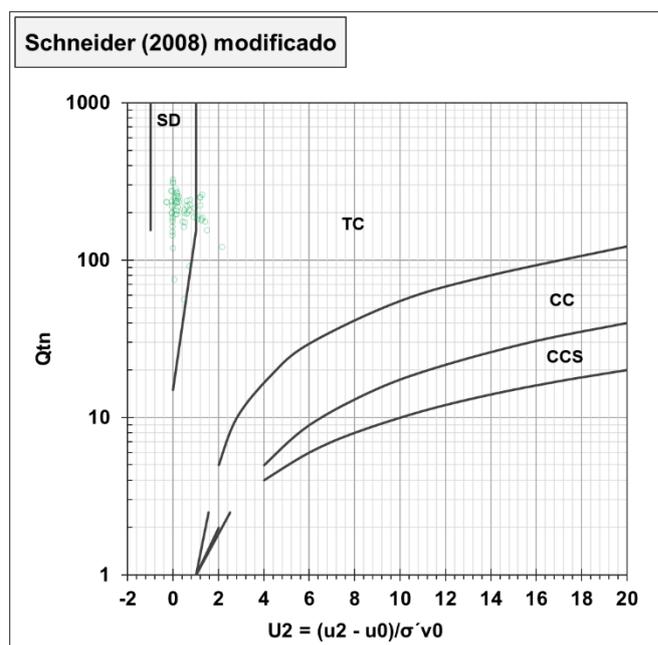


Figura 6.12 – Gráficos de Dilatância do material do aterro – Pilha 1.

 	CLASSIFICAÇÃO	CMA – COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ
	INTERNA	
ESTUDO TÉCNICO COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ-CMA BARRAGEM - BARRAGEM “B6” ATERRO EXPERIMENTAL – PILHA REJEITO DRENADO RELATÓRIO TÉCNICO CONCLUSIVO	Nº VALE	PÁGINA
	Nº WALM	REV.
	WBH122-17-MOSC045-RTE-0004	1

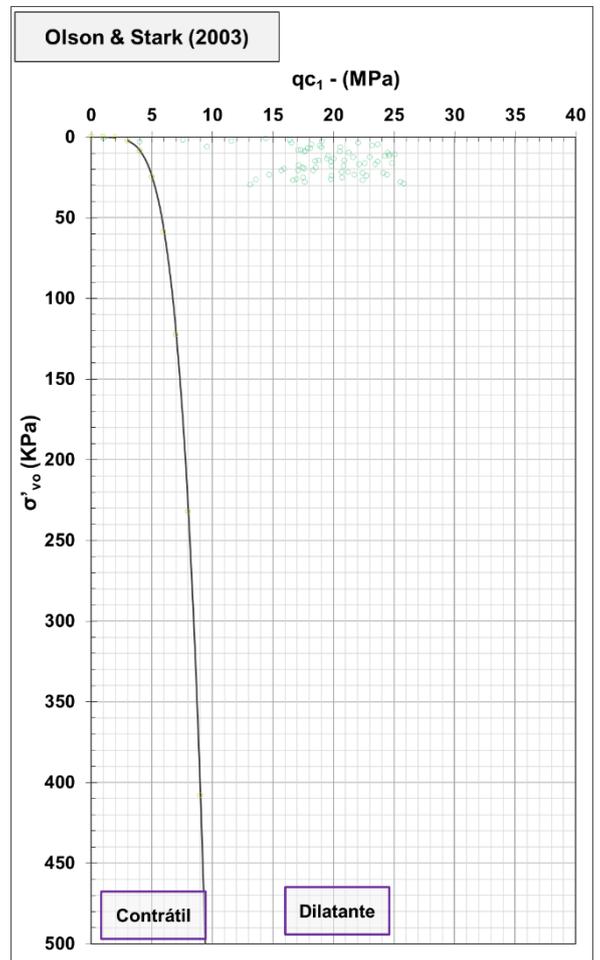
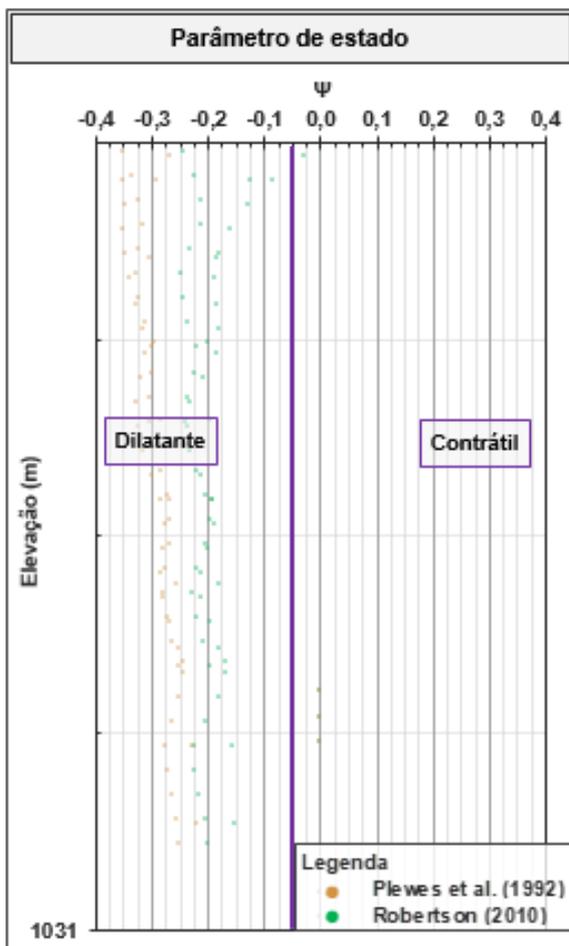
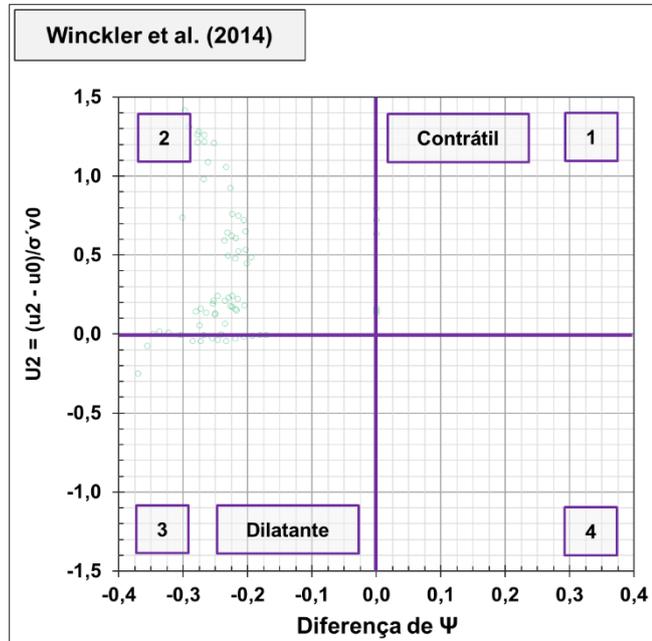


Figura 6.13 – Gráficos de dilatância do material do aterro – Pilha 1.

 	CLASSIFICAÇÃO	CMA – COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ	
	INTERNA		
ESTUDO TÉCNICO COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ-CMA BARRAGEM - BARRAGEM “B6” ATERRO EXPERIMENTAL – PILHA REJEITO DRENADO RELATÓRIO TÉCNICO CONCLUSIVO	Nº VALE	-	PÁGINA
	Nº WALM	WBH122-17-MOSC045-RTE-0004	20/38 REV. 1

6.2.2 Parâmetros de Resistência

A partir da avaliação do comportamento geotécnico do material da Pilha 1, julga-se adequada a definição de parâmetros efetivos (c' e ϕ') para o referido material. Desta forma, foram estimados os parâmetros de resistência a partir dos ensaios de laboratório triaxiais CIU. Complementarmente, a partir dos ensaios CPTu's, avaliou-se o ângulo de atrito efetivo (ϕ') a partir da correlação proposta por Robertson e Campanella (1983).

A partir dos gráficos de trajetória de tensão efetiva e definição da envoltória de ruptura de pico considerando o método da máxima tensão desviadora, definiu-se para o aterro experimental da Pilha 1 $c' = 0$ kPa e $\phi' = 44^\circ$. A partir da correlação de Robertson e Campanella (1983) com os dados de CPTu, obtém-se um valor médio de $\phi = 51,37^\circ$, além de valores máximos e mínimos de $58,29^\circ$ e $46,65^\circ$ respectivamente. Observa-se que os valores de CPTu resultam em valores superestimados em relação aos valores obtidos a partir do ensaio Triaxial CIU.

Na Figura 6.4 e Figura 6.5 a seguir são apresentados os resultados de parâmetros efetivos obtidos a partir dos ensaios triaxiais CIU e CPTu respectivamente.

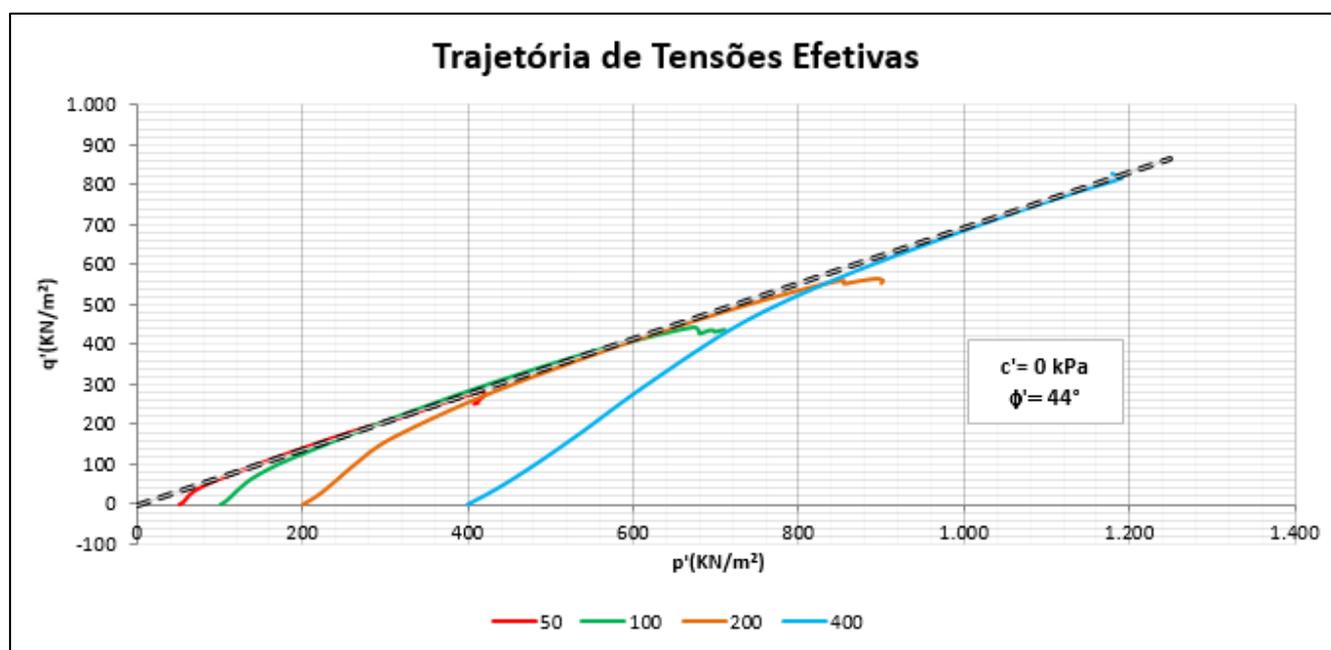


Figura 6.14 – Parâmetros de resistência efetivas definidos a partir da envoltória de ruptura definida a partir da máxima tensão desviadora.

 	CLASSIFICAÇÃO	CMA – COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ	
	INTERNA		
ESTUDO TÉCNICO COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ-CMA BARRAGEM - BARRAGEM “B6” ATERRO EXPERIMENTAL – PILHA REJEITO DRENADO RELATÓRIO TÉCNICO CONCLUSIVO	Nº VALE	-	PÁGINA
	Nº WALM	WBH122-17-MOSC045-RTE-0004	21/38 REV. 1

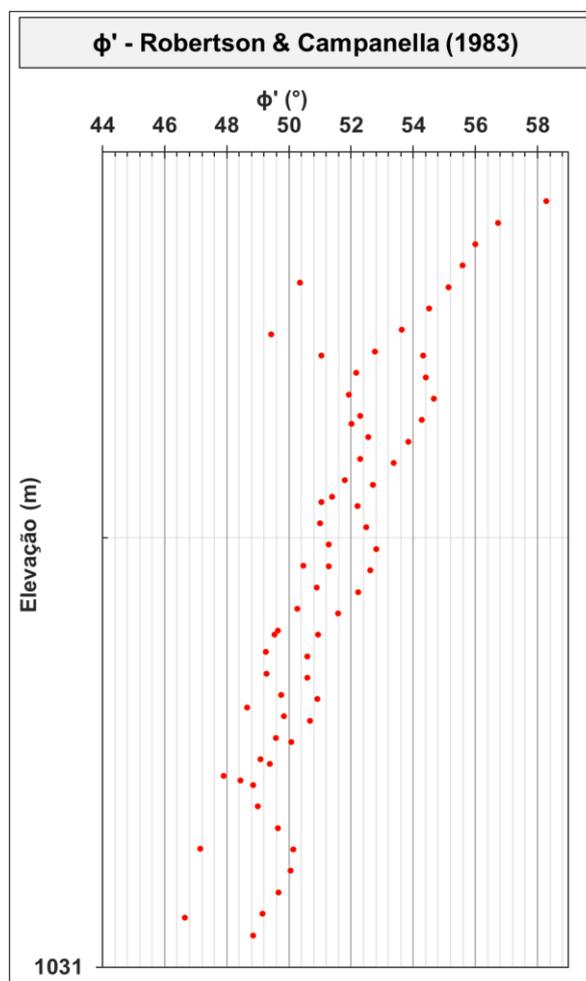


Figura 6.15 – Ângulo de atrito efetivo obtido a partir da correlação de Robertson e Campanella (1983) com os dados de CPTu.

6.2.1 Compressibilidade e Parâmetros de Compressão

Foram realizados ensaios de adensamento oedométrico com corpos de prova provenientes de amostras indeformadas de solo com diâmetro de 63 mm e altura aproximada de 25 mm. O procedimento obedeceu ao estágio de carregamento considerando, em ordem de aplicação, as tensões de 12,5, 25, 50, 100, 200, 400, 800 e 1600 kPa. Ressalta-se que após a tensão de 400 kPa foi realizado um descarregamento até as tensões de 200 e 100 kPa, retornando posteriormente a tensão de 400 kPa e dando continuidade aos demais estágios de carregamento. Após o carregamento da tensão de 1600 kPa, foram realizados 3 estágios de descarregamento, nas tensões de 400, 200 e 100 kPa.

Na Tabela 6.5 são apresentadas as características iniciais e finais dos corpos de prova ensaiados. O procedimento executivo dos ensaios teve como base as normativas NBR-MB-3336 e ASTM D2435-04.

		CLASSIFICAÇÃO	CMA – COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ	
		INTERNA		
ESTUDO TÉCNICO COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ-CMA BARRAGEM - BARRAGEM “B6” ATERRO EXPERIMENTAL – PILHA REJEITO DRENADO RELATÓRIO TÉCNICO CONCLUSIVO			Nº VALE	PÁGINA
			-	22/38
			Nº WALM	REV.
			WBH122-17-MOSC045-RTE-0004	1

Tabela 6.5- Características iniciais e finais dos corpos-de-prova ensaiados – Adensamento Oedométrico.

Amostra nº	Tipo	Condição de Ensaio	Características do Corpo de Prova Ensaiado					
			e_0	e_f	w_i (%)	w_f (%)	S_i (%)	S_f (%)
PI-01-Pilha 1 (14811)	Indeformada	Inundado	0,973	0,930	12,83	27,78	44,2	100,0
PI-01-Pilha 1 (14811)	Indeformada	Umidade natural	1,032	0,988	13,06	4,45	42,4	15,1

Legenda:

e_0 = Índice de vazios inicial;

e_f = Índice de vazios final;

w_i = Teor de umidade antes do ensaio;

w_f = Teor de umidade após o ensaio;

S_i = Grau de saturação antes do ensaio;

S_f = Grau de saturação após o ensaio.

Nas **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e **Erro! Fonte de referência não encontrada.** são apresentadas as curvas de compressibilidade obtidas para a amostra ensaiadas.

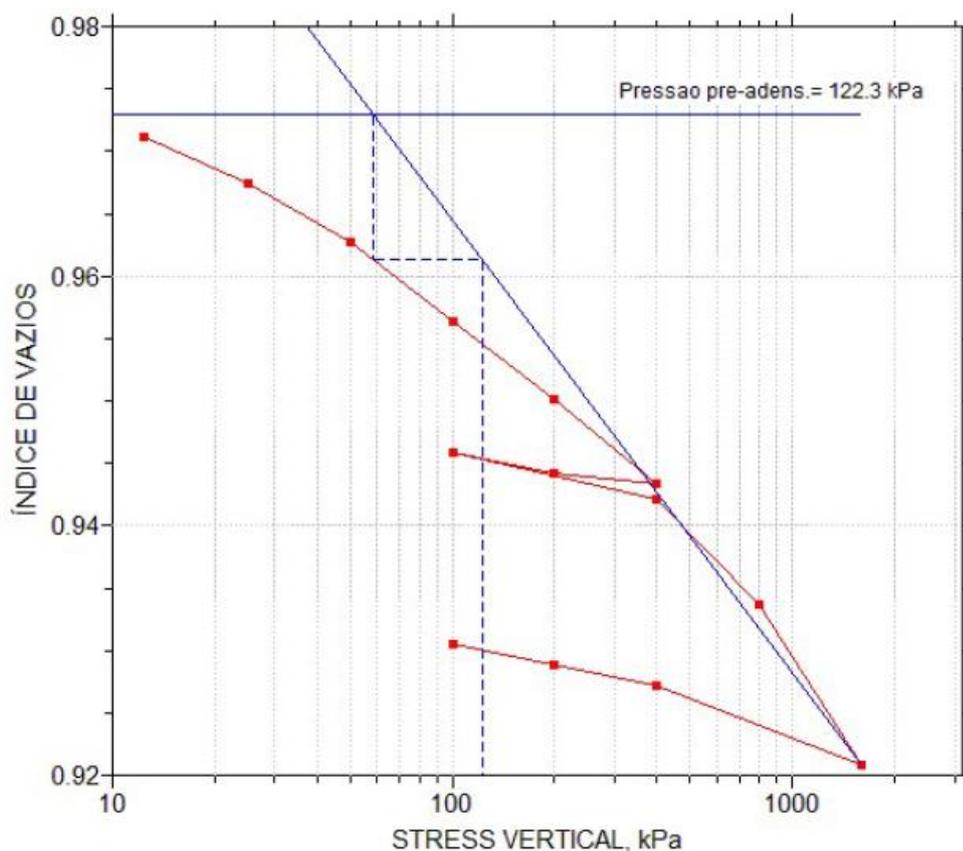


Figura 6.16 – Curva de compressibilidade para a amostra PI-01-Pilha 1 (14811) para condição inundada

 	CLASSIFICAÇÃO	CMA – COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ
	INTERNA	
ESTUDO TÉCNICO COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ-CMA BARRAGEM - BARRAGEM “B6” ATERRO EXPERIMENTAL – PILHA REJEITO DRENADO RELATÓRIO TÉCNICO CONCLUSIVO	Nº VALE	PÁGINA
	Nº WALM	REV.
	WBH122-17-MOSC045-RTE-0004	1

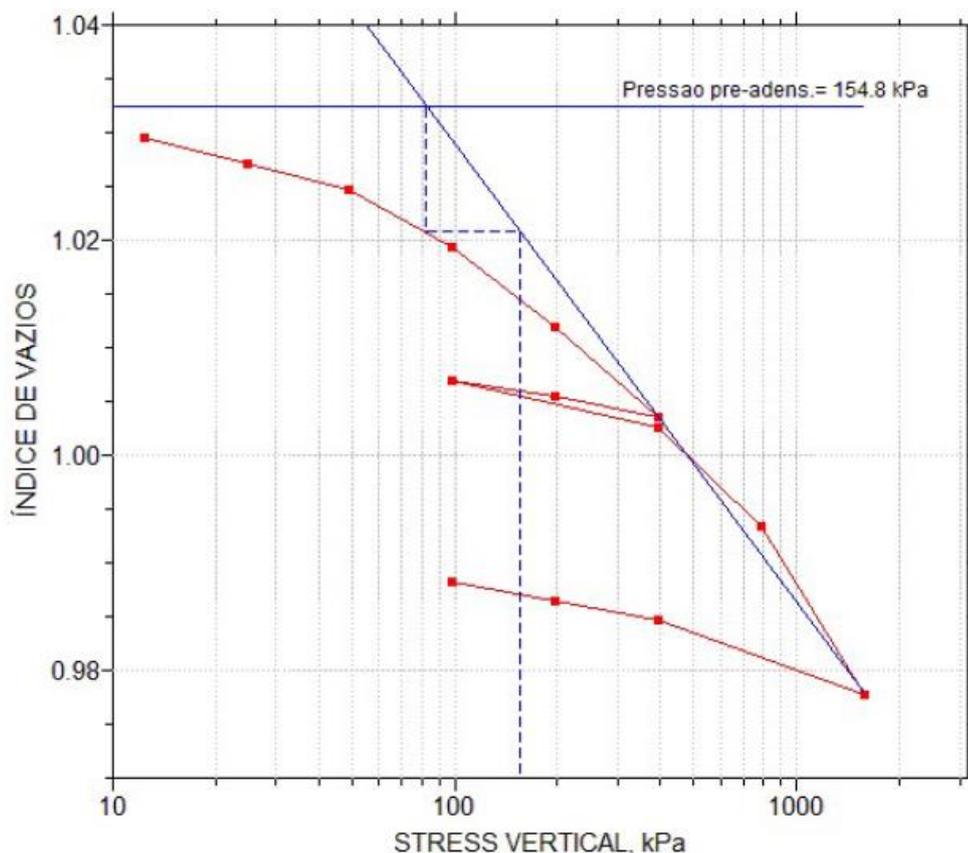


Figura 6.17 – Curva de compressibilidade para a amostra PI-01-Pilha 1 (14811) para condição natural

Na Tabela 6.9, é apresentado um resumo dos parâmetros de compressibilidade: Índice de compressão (C_c) e índice de descompressão (C_s), obtidos a partir das curvas de compressibilidade, juntamente com as tensões de pré-adensamento.

Tabela 6.6 - Características iniciais e finais dos corpos-de-prova ensaiados – Adensamento Oedométrico.

Amostra nº	Tipo	Condição de Ensaio	Parâmetros de compressibilidade						
			e_0	C_v	C_c	C_s	C_s/C_c	$C_c/(1+e_0)$	σ'_{vm} (kPa)
PI-01-Pilha 1 (14811)	Indeformada	Inundado	0,973	1,434	0,043	0,0066	0,15	0,022	122,3
PI-01-Pilha 1 (14811)	Indeformada	Umidade natural	1,032	1,376	0,050	0,0066	0,13	0,025	154,8

Legenda:

e_0 = Índice de vazios inicial;
 C_c = Índice de compressão;
 C_v = coeficiente de adensamento médio;
 C_s = Índice de descompressão;
 σ'_{vm} = Tensão de pré-adensamento.

 	CLASSIFICAÇÃO	CMA – COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ
	INTERNA	
ESTUDO TÉCNICO COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ-CMA BARRAGEM - BARRAGEM “B6” ATERRO EXPERIMENTAL – PILHA REJEITO DRENADO RELATÓRIO TÉCNICO CONCLUSIVO	Nº VALE	PÁGINA
	Nº WALM	REV.
	-	24/38
	WBH122-17-MOSC045-RTE-0004	1

A Tabela 6.10 apresenta a classificação da compressibilidade do material conforme Coduto (1998), com base no valor de $C_c/(1+e_0)$.

Tabela 6.7 - Classificação da compressibilidade do solo (Coduto, 1998).

$C_c/(1+e_0)$ ou $C_r/(1+e_0)$	Classificação
0 - 0,05	Muito pouco compressível
0,05 – 0,10	Pouco compressível
0,10 - 0,20	Moderadamente compressível
0,20 – 0,35	Altamente compressível
> 0,35	Muito altamente compressível

Para solos normalmente adensados, basear a classificação em $C_c/(1+e_0)$. Para solos pré-adensados, basear em $C_r/(1+e_0)$.

Conforme os valores de $C_c/(1+e_0)$ obtidos, o material pode ser classificado como muito pouco compressível.

6.3 CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DO ATERRO DA ALTERNATIVA 2 (PILHA 2)

6.3.1 Comportamento do Material

A partir dos ensaios triaxial CIU, observa-se que, para qualquer das tensões de confinamento ensaiadas, o material exibe comportamento dilatante ao longo do desenvolvimento de ensaios. Este comportamento é ratificado pelo gráfico de tensões efetivas (Figura 6.6) e pelo gráfico de poropressão (Figura 6.7) que indicam geração de poropressão negativa próximo às faixas de deformação de ruptura (entre 11% e 12% aproximadamente).

A partir da análise do gráfico de tensão x deformação da Pilha 1 (Figura 6.8), observa-se que o material é normalmente adensado, não sendo observados indícios de fragilidade do material, ou seja, a resistência residual (após ruptura do corpo de prova) é de mesma ordem em relação à resistência de pico.

Além disso, a partir do gráfico de tensão x deformação da Figura 6.8, é possível inferir que o pico de máxima tensão desviadora varia entre 11% e 12% aproximadamente para os ensaios executados sob diferentes tensões de consolidação.

 	CLASSIFICAÇÃO	CMA – COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ
	INTERNA	
ESTUDO TÉCNICO COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ-CMA BARRAGEM - BARRAGEM “B6” ATERRO EXPERIMENTAL – PILHA REJEITO DRENADO RELATÓRIO TÉCNICO CONCLUSIVO	Nº VALE	PÁGINA
	Nº WALM	REV.
	WBH122-17-MOSC045-RTE-0004	1

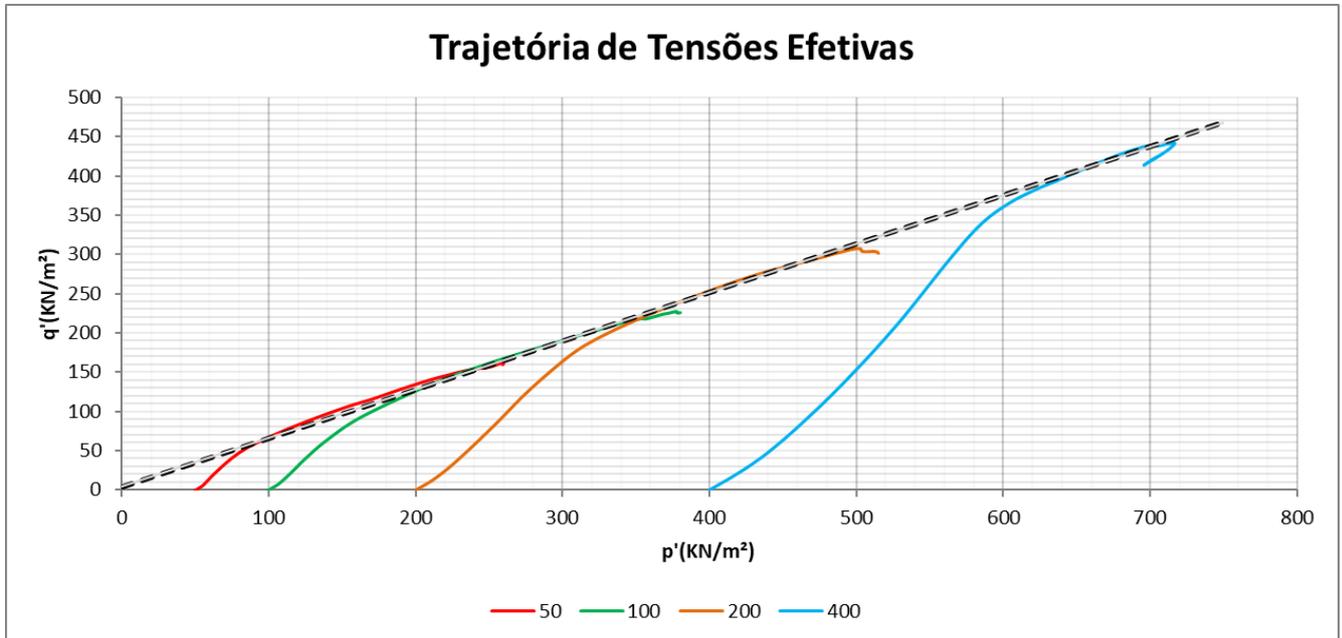


Figura 6.18 – Trajetória de tensão efetiva definida a partir do ensaio triaxial CIU – Pilha 02.

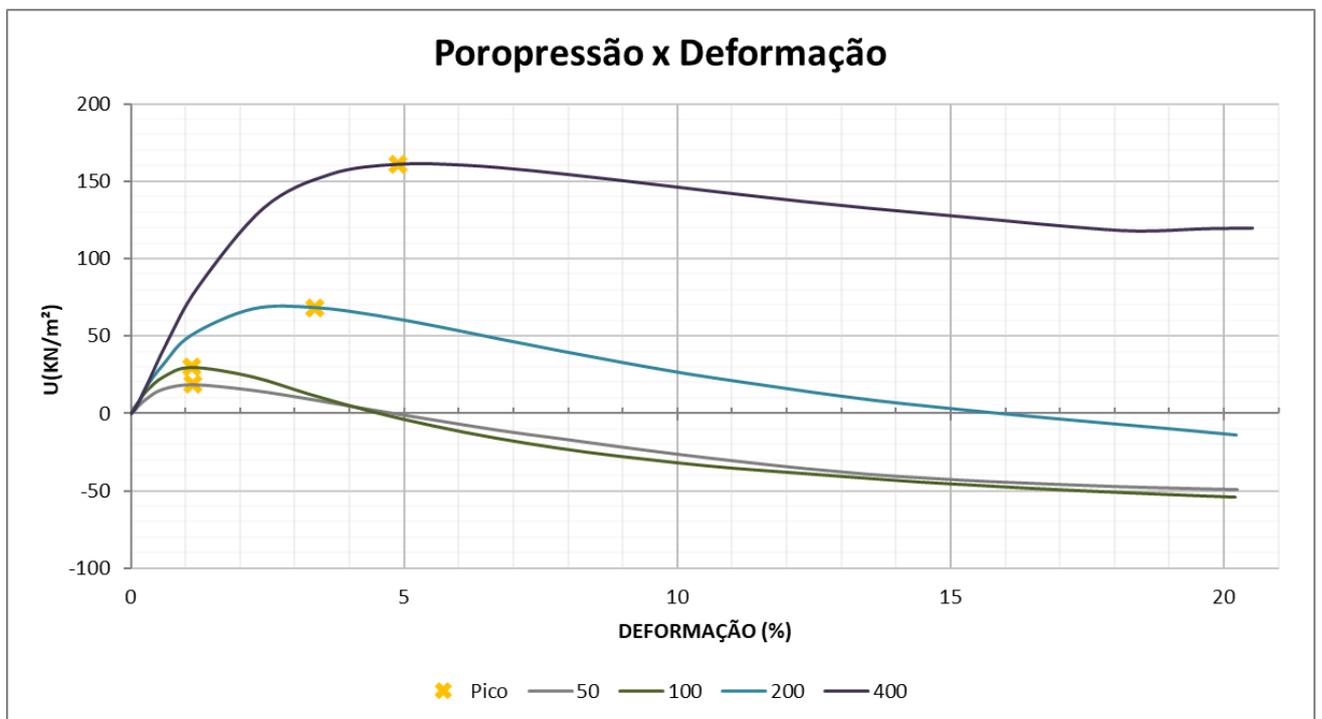


Figura 6.19 – Gráfico de medição de poropressão medida ao longo do ensaio triaxial CIU – Pilha 02

 	CLASSIFICAÇÃO	CMA – COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ
	INTERNA	
ESTUDO TÉCNICO COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ-CMA BARRAGEM - BARRAGEM “B6” ATERRO EXPERIMENTAL – PILHA REJEITO DRENADO RELATÓRIO TÉCNICO CONCLUSIVO	Nº VALE	PÁGINA
	Nº WALM	REV.
	WBH122-17-MOSC045-RTE-0004	1

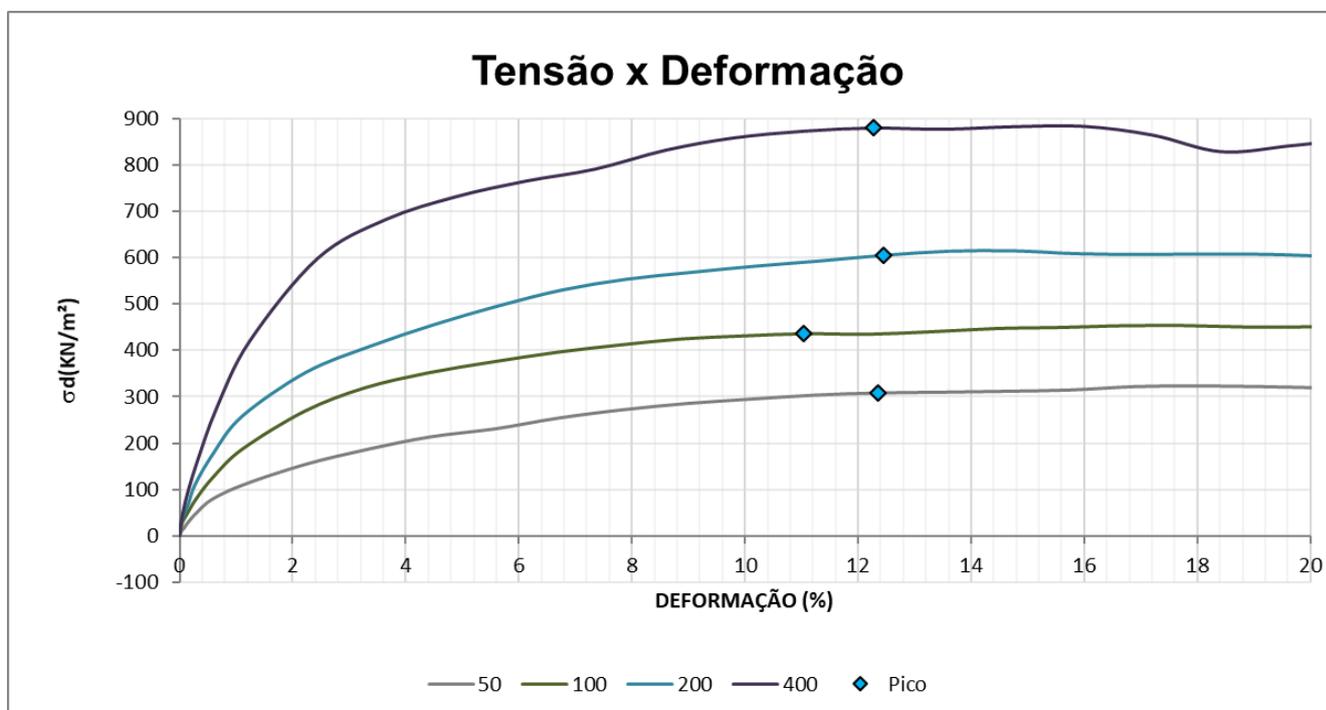


Figura 6.20 – Gráfico tensão x deformação obtido a partir do ensaio triaxial CIU – Pilha 02.

Foram executados 3 ensaios CPTu's no aterro da Pilha 2 (Figura 6.21 a Figura 6.23), totalizando 4,55 m de investigação. Vale destacar que nenhum dos ensaios atingiu o nível d'água o que pode refletir nas correlações apresentadas.

A resistência de ponta (q_t) varia de 5Mpa a 12,5Mpa. Nota-se o comportamento oscilatório da resistência de ponta provavelmente associada aos níveis de compactação ao longo de uma camada. Isso pode indicar que a porção superior de uma camada apresenta maior resistência de ponta (q_t) em relação a porção inferior da camada. Este comportamento é observado nos gráficos dos CPTu's 01-02, 02-02 e 03-02 (Figura 6.21 a Figura 6.23).

A poropressão (u_2) pode variar de 0 a 24kPa, no entanto, em função do N.A. estar posicionado em cota inferior ao fim dos ensaios, estas leituras podem estar relacionadas à saturação da pedra porosa do sensor e não exatamente ao material ensaiado. A razão de atrito (F_r) se mantém constante e próxima de 1% ao longo de todo o intervalo de ensaio. A partir do *Soil Behavior Type* (SBT), o material é classificado como arenoso a silto-arenoso, corroborando com as análises granulométricas apresentadas no item anterior.



CLASSIFICAÇÃO

INTERNA

CMA – COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ

ESTUDO TÉCNICO
 COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ-CMA
 BARRAGEM - BARRAGEM "B6"
 ATERRO EXPERIMENTAL – PILHA REJEITO DRENADO
 RELATÓRIO TÉCNICO CONCLUSIVO

Nº VALE

-

PÁGINA

27/38

Nº WALM

REV.

WBH122-17-MOSC045-RTE-0004

1

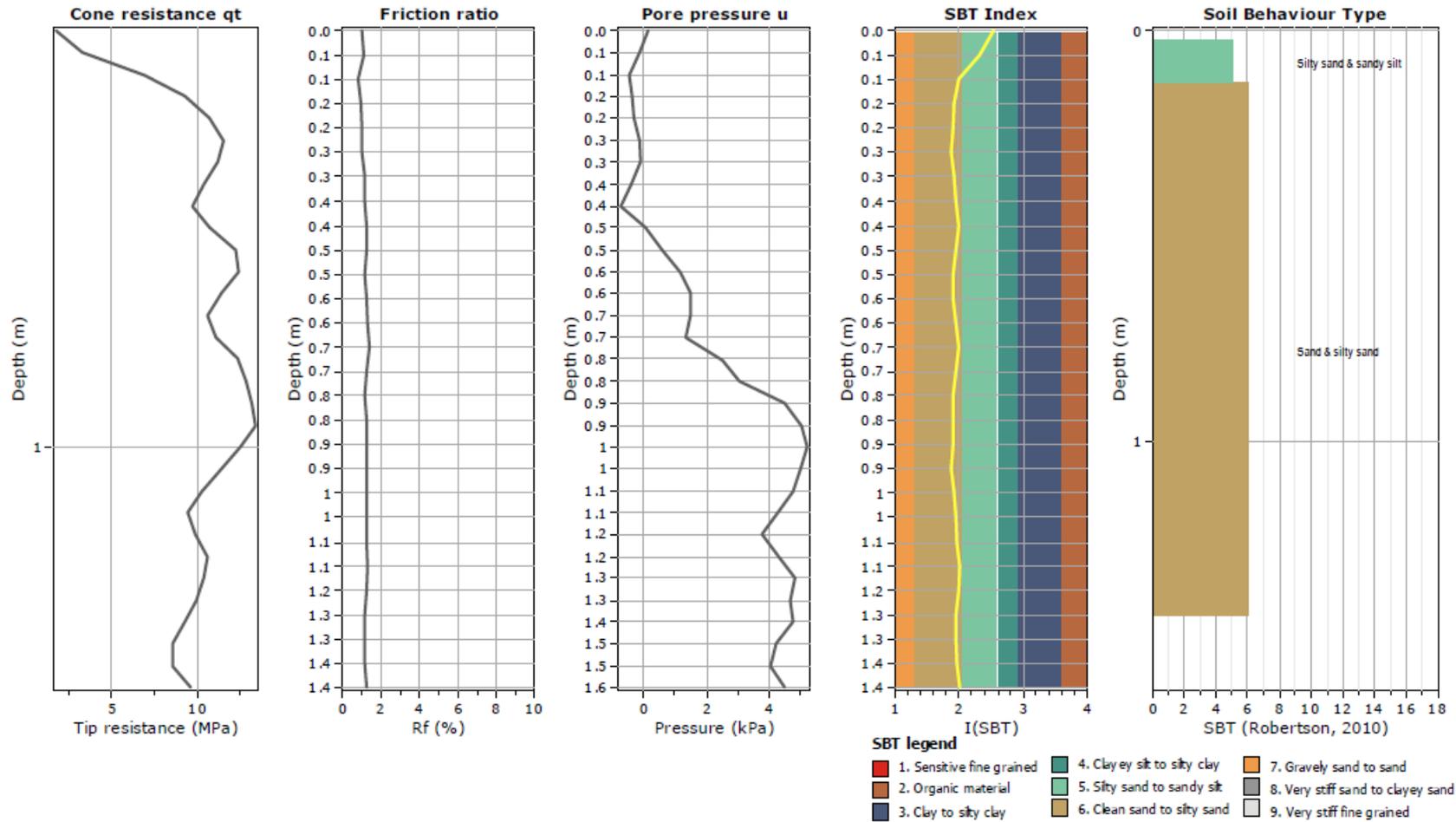


Figura 6.21 – Gráficos com os resultados do CPTU-01-02.



CLASSIFICAÇÃO

INTERNA

CMA – COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ

ESTUDO TÉCNICO
 COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ-CMA
 BARRAGEM - BARRAGEM "B6"
 ATERRO EXPERIMENTAL – PILHA REJEITO DRENADO
 RELATÓRIO TÉCNICO CONCLUSIVO

Nº VALE

-

PÁGINA

28/38

Nº WALM

REV.

WBH122-17-MOSC045-RTE-0004

1

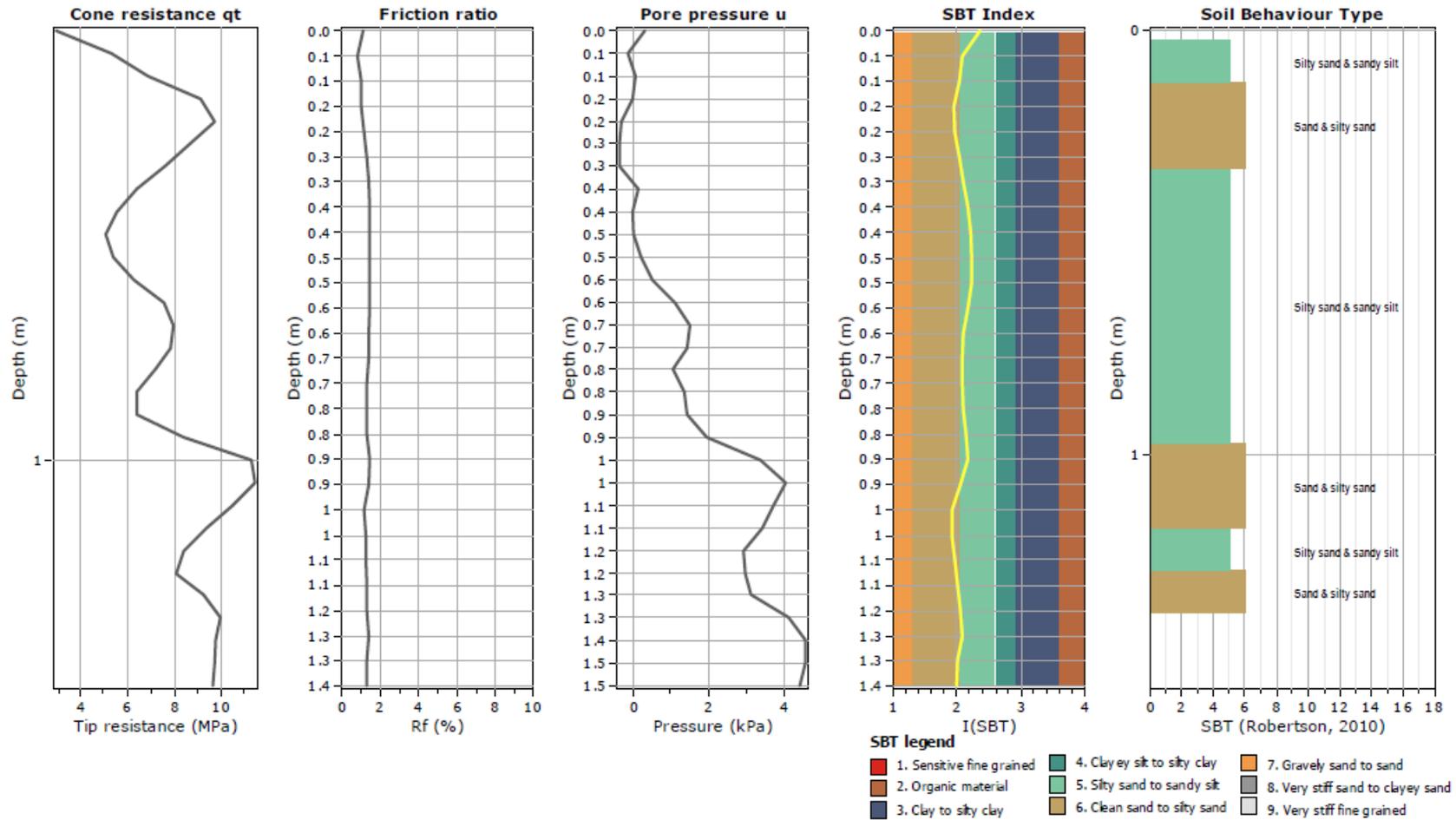


Figura 6.22 – Gráficos com os resultados do CPTU-02-02.



CLASSIFICAÇÃO

INTERNA

CMA – COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ

ESTUDO TÉCNICO
 COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ-CMA
 BARRAGEM - BARRAGEM "B6"
 ATERRO EXPERIMENTAL – PILHA REJEITO DRENADO
 RELATÓRIO TÉCNICO CONCLUSIVO

Nº VALE

-

PÁGINA

29/38

Nº WALM

REV.

WBH122-17-MOSC045-RTE-0004

1

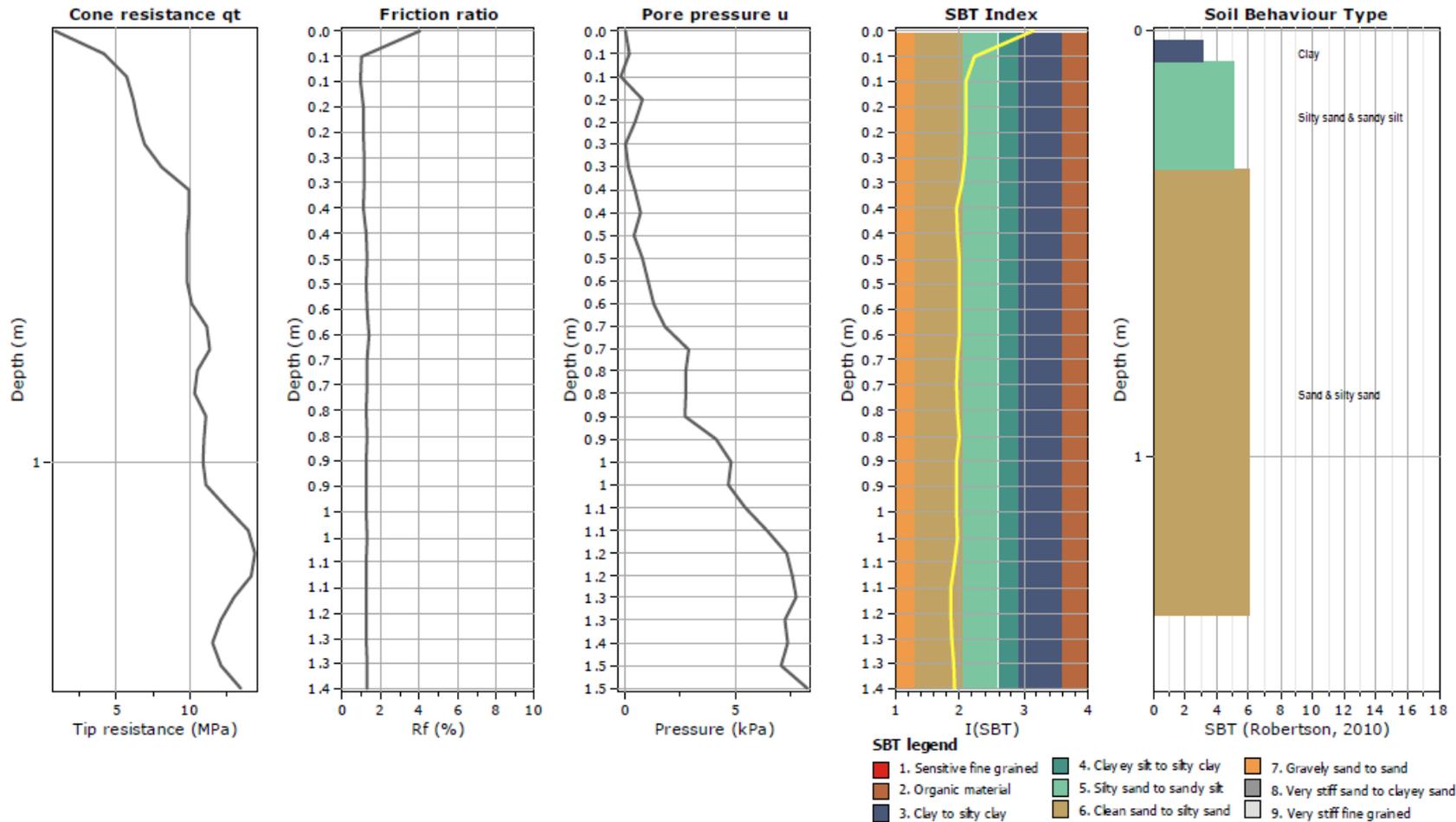


Figura 6.23 – Gráficos com os resultados do CPTU-03-02.

 	CLASSIFICAÇÃO	CMA – COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ
	INTERNA	
ESTUDO TÉCNICO COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ-CMA BARRAGEM - BARRAGEM “B6” ATERRO EXPERIMENTAL – PILHA REJEITO DRENADO RELATÓRIO TÉCNICO CONCLUSIVO	Nº VALE	PÁGINA
	Nº WALM	REV.
	-	30/38
	WBH122-17-MOSC045-RTE-0004	1

A dilatância do material foi avaliada a partir da compilação de todos os ensaios de CPTu realizados na Pilha 1 a partir correlações clássicas da literatura tais como: Plewes et al. (1992); Olson & Stark (2003); Robertson (2010); Winckler et al. (2014); Robertson (2016), as quais são apresentadas na Figura 6.24 e Figura 6.25 a seguir.

Apesar das correlações indicarem que 100% das leituras dos ensaios estão associadas a material dilatante, destaca-se que as correlações acima citadas utilizam o parâmetro de poropressão (u_2) como variável de cálculo e/ou correlação. Portanto, conforme citado inicialmente, as leituras de u_2 podem estar associadas à saturação da pedra porosa do equipamento e não estariam ligadas às poropressões geradas pelo material.

Além disso, em função da pequena espessura do aterro e da frequência de leitura do CPTu (a cada 30cm) foram obtidos poucos pontos de leitura no material de interesse. Entretanto, apesar de tais limitações, pode-se afirmar que os dados de CPTu corroboram com os resultados observados no ensaio triaxial CIU no que se refere à dilatância do material.

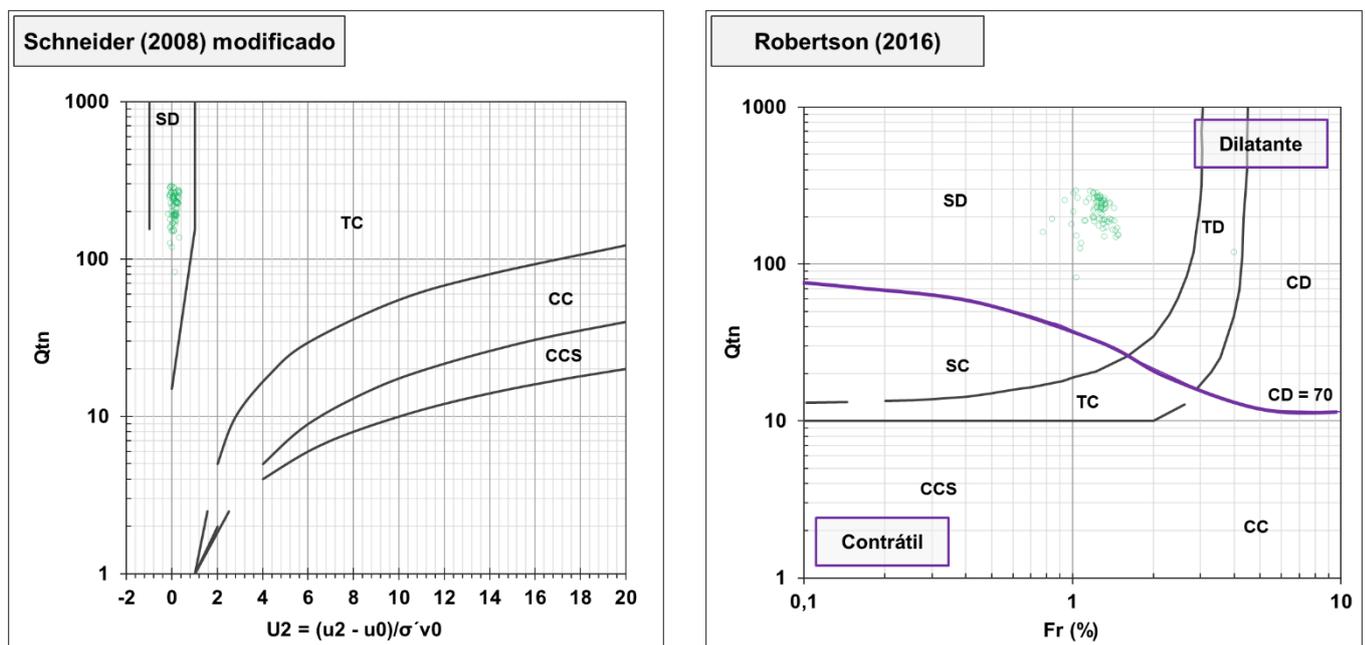


Figura 6.24 – Gráficos de dilatância do material do aterro.

 	CLASSIFICAÇÃO	CMA – COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ
	INTERNA	
ESTUDO TÉCNICO COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ-CMA BARRAGEM - BARRAGEM “B6” ATERRO EXPERIMENTAL – PILHA REJEITO DRENADO RELATÓRIO TÉCNICO CONCLUSIVO	Nº VALE	PÁGINA
	Nº WALM	REV.
	WBH122-17-MOSC045-RTE-0004	1

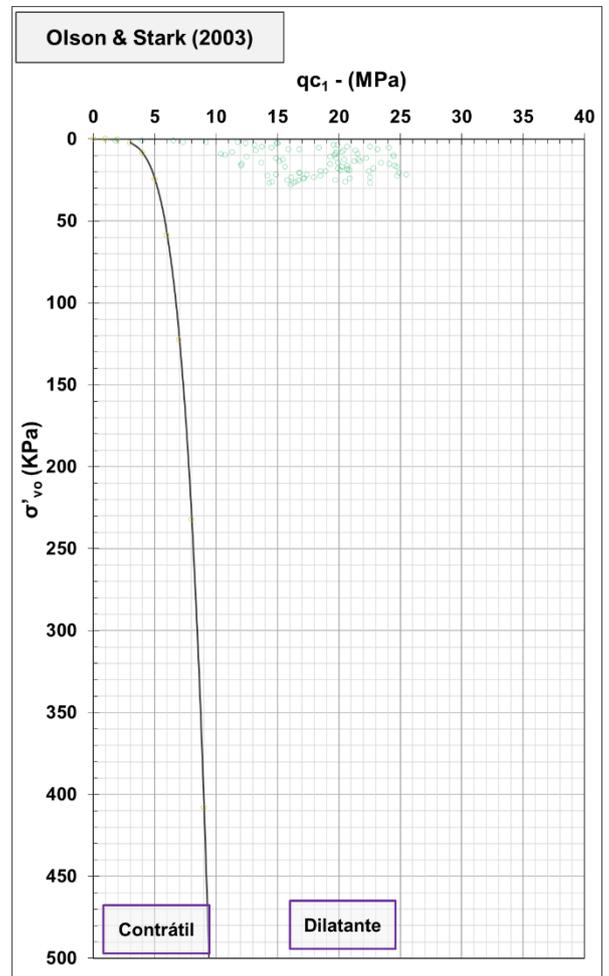
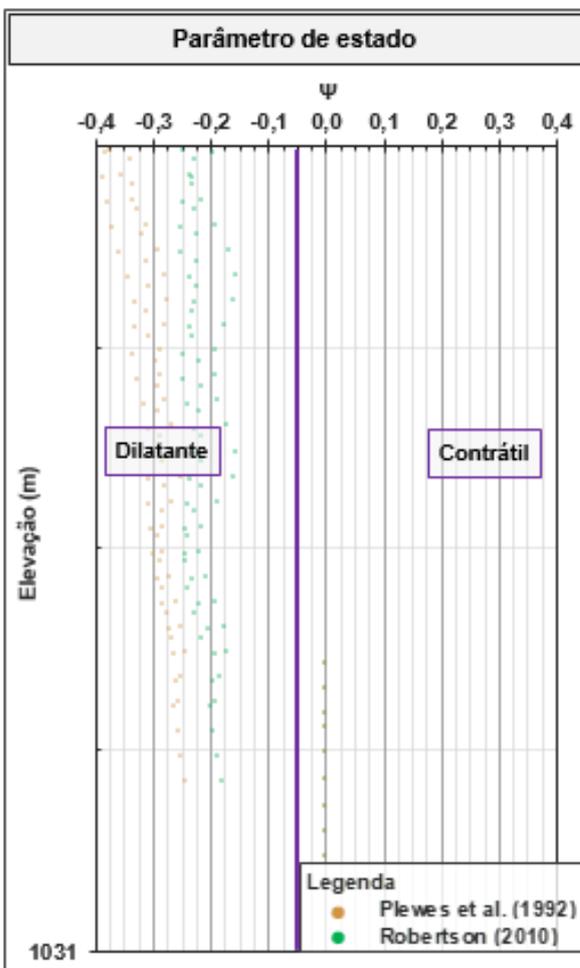
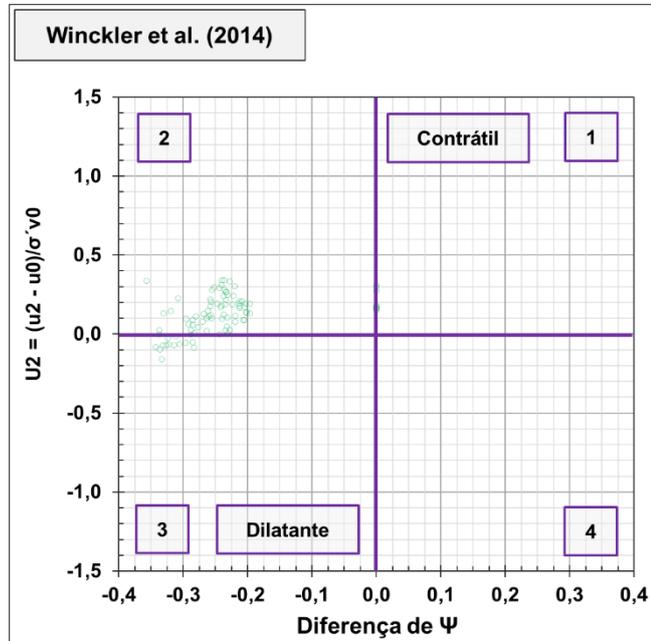


Figura 6.25 – Gráficos de dilatância do material do aterro.

 	CLASSIFICAÇÃO	CMA – COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ	
	INTERNA		
ESTUDO TÉCNICO COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ-CMA BARRAGEM - BARRAGEM “B6” ATERRO EXPERIMENTAL – PILHA REJEITO DRENADO RELATÓRIO TÉCNICO CONCLUSIVO	Nº VALE	-	PÁGINA
	Nº WALM	WBH122-17-MOSC045-RTE-0004	32/38 REV. 1

6.3.2 Parâmetros de Resistência

A partir da avaliação do comportamento geotécnico do material da Pilha 2, julga-se adequada a definição de parâmetros efetivos (c' e ϕ') para o referido material. Desta forma, foram estimados os parâmetros de resistência a partir dos ensaios de laboratório triaxiais CIU. Complementarmente, a partir dos ensaios CPTu's, avaliou-se o ângulo de atrito efetivo (ϕ') a partir da correlação proposta por Robertson e Campanella (1983).

A partir dos gráficos de trajetória de tensão efetiva e definição da envoltória de ruptura de pico considerando o método da máxima tensão desviadora, definiu-se para o aterro experimental da Pilha 2 $c' = 3 \text{ kPa}$ e $\phi' = 38^\circ$. A partir da correlação de Robertson e Campanella (1983) com os dados de CPTu, obtém-se um valor médio de $\phi = 51,41^\circ$, além de valores máximos e mínimos de $56,01^\circ$ e $47,92^\circ$ respectivamente. Observa-se que os valores de CPTu resultam em valores superestimados em relação aos valores obtidos a partir do ensaio Triaxial CIU.

Na Figura 6.4 e Figura 6.5 a seguir são apresentados os resultados de parâmetros efetivos obtidos a partir dos ensaios triaxiais CIU e CPTu respectivamente.



Figura 6.26 – Parâmetros de resistência efetivas definidos a partir da envoltória de ruptura definida a partir da máxima tensão desviadora.

 	CLASSIFICAÇÃO	CMA – COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ	
	INTERNA		
ESTUDO TÉCNICO COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ-CMA BARRAGEM - BARRAGEM “B6” ATERRO EXPERIMENTAL – PILHA REJEITO DRENADO RELATÓRIO TÉCNICO CONCLUSIVO	Nº VALE	-	PÁGINA
	Nº WALM	WBH122-17-MOSC045-RTE-0004	33/38 REV. 1

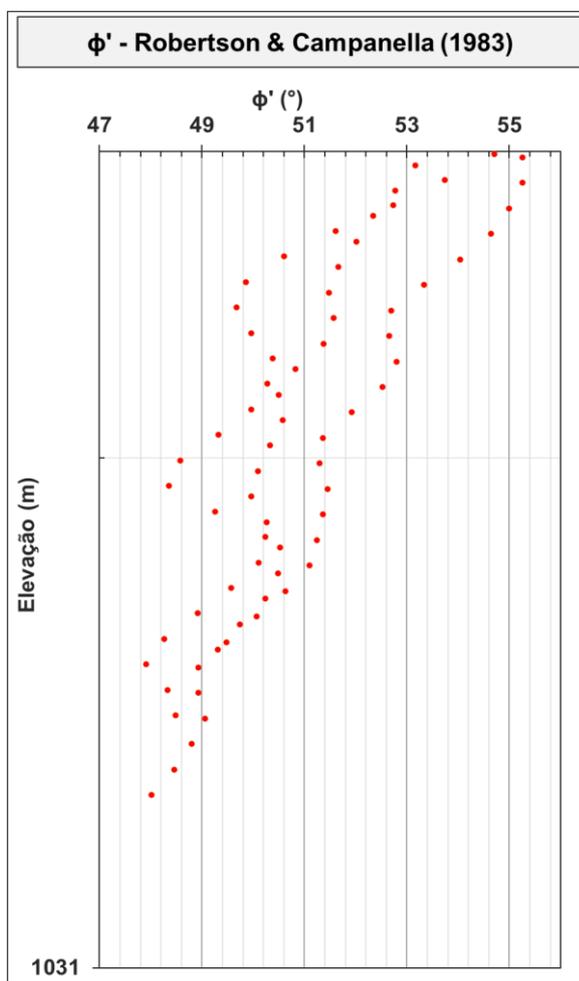


Figura 6.27 – Ângulo de atrito efetivo obtido a partir da correlação de Robertson e Campanella (1983) com os dados de CPTu.

6.3.3 Compressibilidade e Parâmetros de Compressão

Para permitir a caracterização do material quanto a compressibilidade e respectivos parâmetros de compressão, foi realizado o ensaio oedométrico da amostra PI-02-Pilha1 considerando as mesmas premissas de ensaio descritas no item 6.3.3 desse documento. Vale ressaltar que o ensaio foi realizado com a umidade natural do corpo de prova, ou seja, sem o procedimento de inundação. Na Tabela 6.8 são apresentadas as características iniciais e finais do corpo de prova ensaiado. O procedimento executivo dos ensaios teve como base as normativas NBR-MB-3336 e ASTM D2435-04.

 	CLASSIFICAÇÃO	CMA – COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ
	INTERNA	
ESTUDO TÉCNICO COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ-CMA BARRAGEM - BARRAGEM “B6” ATERRO EXPERIMENTAL – PILHA REJEITO DRENADO RELATÓRIO TÉCNICO CONCLUSIVO	Nº VALE	PÁGINA
	-	34/38
	Nº WALM	REV.
	WBH122-17-MOSC045-RTE-0004	1

Tabela 6.8- Características iniciais e finais dos corpos-de-prova ensaiados – Adensamento Oedométrico.

Amostra nº	Tipo	Condição da Amostra	Características do Corpo de Prova Ensaiado					
			e_0	e_f	w_i (%)	w_f (%)	S_i (%)	S_f (%)
PI-02-Pilha 1 (14813)	Indeformada	Natural	1,127	0,956	12,30	11,51	36,8	40,6

Legenda:

e_0 = Índice de vazios inicial;

e_f = Índice de vazios final;

w_i = Teor de umidade antes do ensaio;

w_f = Teor de umidade após o ensaio;

S_i = Grau de saturação antes do ensaio;

S_f = Grau de saturação após o ensaio.

Na Figura 6.28 é apresentada a curva de compressibilidade obtida para a amostra ensaiada.

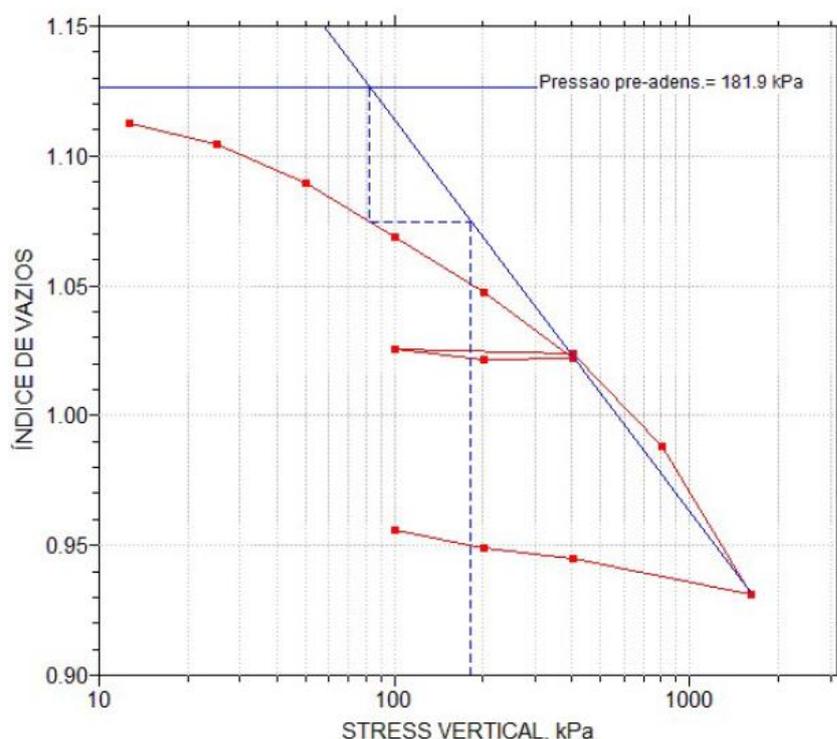


Figura 6.28 – Curva de compressibilidade para a amostra PI-02-Pilha 1

Na Tabela 6.9 é apresentado um resumo dos parâmetros de compressibilidade : Índice de compressão (C_c) e índice de descompressão (C_s), obtidos a partir das curvas de compressibilidade, juntamente com as tensões de pré-adensamento.

 	CLASSIFICAÇÃO	CMA – COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ
	INTERNA	
ESTUDO TÉCNICO COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ-CMA BARRAGEM - BARRAGEM “B6” ATERRO EXPERIMENTAL – PILHA REJEITO DRENADO RELATÓRIO TÉCNICO CONCLUSIVO	Nº VALE	PÁGINA
	-	35/38
	Nº WALM	REV.
	WBH122-17-MOSC045-RTE-0004	1

Tabela 6.9 - Características iniciais e finais dos corpos-de-prova ensaiados – Adensamento Oedométrico.

Amostra nº	Tipo	Condição da Amostra	Parâmetros de compressibilidade						
			e_0	C_v	C_c	C_s	C_s/C_c	$C_c/(1+e_0)$	σ'_{vm} (kPa)
PI-02- Pilha 1 (14813)	Indeformada	Natural	1,127	0,647	0,19	0,0033	0,017	0,089	181,9

Legenda:

e_0 = Índice de vazios inicial;

C_c = Índice de compressão;

C_v = coeficiente de adensamento médio

C_s = Índice de descompressão;

σ'_{vm} = Tensão de pré-adensamento.

A Tabela 6.10 apresenta a classificação da compressibilidade do material conforme Coduto (1998), com base no valor de $C_c/(1+e_0)$.

Tabela 6.10 - Classificação da compressibilidade do solo (CODUTO, 1998).

$C_c/(1+e_0)$ ou $C_r/(1+e_0)$	Classificação
0 - 0,05	Muito pouco compressível
0,05 – 0,10	Pouco compressível
0,10 - 0,20	Moderadamente compressível
0,20 – 0,35	Altamente compressível
> 0,35	Muito altamente compressível

Para solos normalmente adensados, basear a classificação em $C_c/(1+e_0)$. Para solos pré-adensados, basear em $C_r/(1+e_0)$.

Conforme o valor de $C_c/(1+e_0)$ obtido, o material pode ser classificado como pouco compressível.

6.4 RESUMO DOS PARÂMETROS

Material	G.C. Mín.	C' (kPa)	ϕ' (°)	C_v	C_c	C_s	σ'_{vm} (kPa) – Amostra Natural	σ'_{vm} (kPa) – Amostra Inundada
Aterro Alternativa 1 – Pilha 1	95%	0	44	1,405	0,47	0,0066	181,9	122,3
Aterro Alternativa 2 – Pilha 2	95%	3	38	0,647	0,19	0,0033	154,8	-

 	CLASSIFICAÇÃO	CMA – COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ	
	INTERNA		
ESTUDO TÉCNICO COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ-CMA BARRAGEM - BARRAGEM “B6” ATERRO EXPERIMENTAL – PILHA REJEITO DRENADO RELATÓRIO TÉCNICO CONCLUSIVO	Nº VALE	-	PÁGINA 36/38
	Nº WALM	WBH122-17-MOSC045-RTE-0004	REV. 1

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir dos resultados, observa-se que para todas as camadas, considerando 3 passadas dos equipamentos de compactação, trator de esteira ou rolo compactador, foi atendido o Grau de Compactação (GC) acima de 95%.

No entanto, a partir da 5ª camada de acordo com os gráficos de grau de compactação observa-se tendência de redução no $GC < 95\%$, devendo ser confirmada a eficiência do modo de compactação durante a construção da estrutura. Os resultados de ensaio de grau de compactação apresentaram variações que podem ter sido influenciadas pelo modo de realização do aterro ou da execução dos ensaios.

Os resultados dos ensaios triaxial CIU indicaram que para qualquer das tensões de confinamento ensaiadas, o material exibiu comportamento dilatante ao longo do desenvolvimento de ensaios. No que se refere aos ensaios CPTu's, apesar das limitações citadas ao longo de relatório, foi observado um comportamento dilatante para os materiais ensaiados, convergindo com os resultados de ensaio de laboratório triaxiais.

Apesar de ter sido executado uma terceira pilha, Pilha 3, utilizando camada de 40 cm de espessura de material solto, com compactação através do rolo pé de carneiro, não foi disponibilizado o resultado dos ensaios de grau de compactação. Desta forma, não foi possível realizar sua avaliação.

Considerando o comportamento do material, conforme apresentado nos resultados deste relatório, seria possível a utilização do rejeito drenado compactado com o devido controle tecnológico como possível alternativa de disposição de rejeito. Contudo, estudos de estabilidade devem ser realizados futuramente considerando caracterizações geotécnicas a fim de balizar o dimensionamento de geometrias estáveis para as pilhas propostas.

Recomenda-se que durante a execução de empilhamento utilizando este material, seja aplicado o controle tecnológico sob supervisão de profissional especializado (ATO) para garantia do comportamento geotécnico apresentado durante os ensaios realizados.

Ressalta-se a importância de, nas primeiras camadas a serem executadas com o rejeito drenado como material de construção, os parâmetros sejam confirmados a partir de ensaios de campo/laboratório, em conformidade com os resultados aqui apresentados.

Por fim, o rejeito drenado pode ser utilizado como material de construção para construção de pilhas, conforme apresentado ao longo do relatório.

		CLASSIFICAÇÃO INTERNA	CMA – COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ	
ESTUDO TÉCNICO COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ-CMA BARRAGEM - BARRAGEM “B6” ATERRO EXPERIMENTAL – PILHA REJEITO DRENADO RELATÓRIO TÉCNICO CONCLUSIVO			Nº VALE -	PÁGINA 37/38
			Nº WALM WBH122-17-MOSC045-RTE-0004	REV. 1

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Campanella, R. G., Gillespie, D., and Robertson, P. K. _1982_. “Pore pressures during cone penetration testing.” Proc., 2nd European Symp. on Penetration Testing, ESPOT II, Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 507–512.

OLSON, S. M. & STARK, T. D. (2003). “Yield Strength Ratio and Liquefaction Analysis of Slopes and Embankments”. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering – ASCE nº 129:8, 727 – 737.

PLEWES, H. D., DAVIES, M. P., AND JEFFERIES, M. G. _1992_. “CPT based screening procedure for evaluating liquefaction susceptibility.” Proc., 45th Canadian Geotechnical Conf., Vol. 4, BiTech Publishers, Vancouver, BC, Canada, 1–9.

ROBERTSON, P. K. 2010. “Evaluation of Flow Liquefaction and Liquefied Strength using the Cone Penetration Test”, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, Junho 2010.

WINCKLER, C.; DAVIDSON, R.; YENNE, L.; PILZ, J. CPTu-Based State Characterization of Tailings Liquefaction Susceptibility. In Proceedings of Dams and Extreme Events, 34th Annual USSD Conference, San Francisco, CA, 2014.

		CLASSIFICAÇÃO INTERNA	CMA – COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ	
ESTUDO TÉCNICO COMPLEXO MINEROQUÍMICO DE ARAXÁ-CMA BARRAGEM - BARRAGEM “B6” ATERRO EXPERIMENTAL – PILHA REJEITO DRENADO RELATÓRIO TÉCNICO CONCLUSIVO		Nº VALE -	PÁGINA 38/38	
		Nº WALM WBH122-17-MOSC045-RTE-0004	REV. 1	



Rua Antônio de Albuquerque, 156, 13º andar, Funcionários.
 30112-010 – Belo Horizonte - MG
 Tel.: (31) 3234-4003 / 3324-4003
www.walmambiental.com.br



Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977

CREA-MG

ART OBRA / SERVIÇO
Nº MG20210366492

Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

INICIAL

1. Responsável Técnico

AMANDA DE LANNA EVANGELISTA

Título profissional: **ENGENHEIRO CIVIL**

RNP: **1412559308**

Registro: **MG0000171153D MG**

Empresa contratada: **WALM BH ENGENHARIA LTDA**

Registro: **0000057997-MG**

2. Dados do Contrato

Contratante: **MOSAIC FERTILIZANTES P&K LTDA.**

CPF/CNPJ: **33.931.486/0014-55**

RODOVIA ESTRADA DA CANA

Nº: **S/N**

Complemento: **KM 11**

Bairro: **INDUSTRIAL DE UBERABA**

Cidade: **UBERABA**

UF: **MG**

CEP: **38001970**

Contrato: **033.2019.00**

Celebrado em: **17/09/2019**

Valor: **R\$ 224.720,00**

Tipo de contratante: **Pessoa Juridica de Direito Privado**

Ação Institucional: **Outros**

3. Dados da Obra/Serviço

AVENIDA ARAFÉRTIL

Nº: **00500**

Complemento:

Bairro: **SETOR SUL**

Cidade: **ARAXÁ**

UF: **MG**

CEP: **38184270**

Data de Início: **17/09/2019**

Previsão de término: **30/06/2021**

Coordenadas Geográficas: **0, 0**

Finalidade: **OUTROS**

Código: **Não Especificado**

Proprietário: **MOSAIC FERTILIZANTES P&K LTDA**

CPF/CNPJ: **33.931.486/0019-60**

4. Atividade Técnica

2010 - Coordenação

Quantidade

Unidade

38 - Especificação > GEOTECNIA E GEOLOGIA DA ENGENHARIA > OBRAS DE TERRA > DE OBRAS DE TERRA > #3.3.1.3 - ATERRO

1,00

un

Após a conclusão das atividades técnicas o profissional deve proceder a baixa desta ART

5. Observações

Especificação Técnica para pilha de rejeito drenado (piloto) da unidade do CMA e acompanhamento técnico executivo da mesma - 122-17 OS45

6. Declarações

- A Resolução nº 1.094/17, CONFEA, instituiu o Livro de Ordem de obras e serviços que será obrigatório para a emissão de Certidão de Acervo Técnico - CAT aos responsáveis pela execução e fiscalização de obras iniciadas a partir de 1º de janeiro de 2018. (Res. 1.094, Confea) .

7. Entidade de Classe

- SEM INDICAÇÃO DE ENTIDADE DE CLASSE

8. Assinaturas

Declaro serem verdadeiras as informações acima

Belo horizonte, 23 de **junho** de 2021

Local

data

Amanda
AMANDA DE LANNA EVANGELISTA - CPF: 101.395.346-01

DocuSigned by:

Ricardo L Telles

MOSAIC FERTILIZANTES P&K LTDA. - CNPJ: 33.931.486/0014-55

9. Informações

* A ART é válida somente quando quitada, mediante apresentação do comprovante do pagamento ou conferência no site do Crea.

* O comprovante de pagamento deverá ser apresentado para comprovação de quitação

10. Valor

Valor da ART: **R\$ 233,94**

Registrada em: **22/06/2021**

Valor pago: **R\$ 233,94**

Nosso Número: **8594968277**

