



CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

FILIPE CARNIB FREIRE

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES GEOTÉCNICAS DO SOLO MOLE DO CLUSTER/SUAPE-PE

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Recife
2016

FILIPPE CARNIB FREIRE

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES GEOTÉCNICAS DO SOLO MOLE DO CLUSTER/SUAPE-PE

Análise das Propriedades Geotécnicas do Solo Mole do Cluster/Suape-PE apresentado ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Roberto Quental Coutinho

Recife
2016

Catálogo na fonte
Bibliotecária Valdicéa Alves, CRB-4 / 1260

F862a	Freire, Filipe Carnib. Análise das propriedades geotécnicas do solo mole do cluster/ Suape- PE./ Filipe Carnib Freire - 2016. 255folhas, Il.; e Tab. Orientador: Prof. Dr. Roberto Quental Coutinho. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2016. Inclui Referências Anexos e Apêndices. 1. Engenharia Civil. 2. Suape. 3. Argila mole. 4. Parâmetros geotécnicos. 5. Qualidade das amostras. 6. Correlações. I. Coutinho, Roberto Quental (Orientador). II. Título. UFPE 624 CDD (22. ed.) BCTG/2017-107
-------	--



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

A comissão examinadora da Defesa de Dissertação de Mestrado

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES GEOTÉCNICAS DO SOLO
MOLE DO CLUSTER - SUAPE/PE**

defendida por

Filipe Carnib Freire

Considera o candidato APROVADO

Recife, 16 de dezembro de 2016

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Roberto Quental Coutinho – UFPE
(orientador)

Prof. Dr. Marcos Massao Futai – USP
(examinador externo)

Prof. Dr. Ian Schumann Marques Martins – UFRJ
(examinador externo)

*Dedico esta dissertação aos meus pais, Raquel Reis Carnib e Carlos Tadeu
Machado Freire,
aos meus irmãos, Juliana, Mariana, Adriana e Artur
à minha esposa, Alinne Rose Carvalho de Aguiar
ao meu Filho, Lucas Aguiar Freire
ao meu sogro Arnold de Aguiar Filho in memoriam*

Agradecimentos

Agradeço a Deus por me conduzir até aqui e ter me sustentado diante de tantos obstáculos iluminando sempre o meu caminho.

Aos meus pais Carlos Tadeu e Raquel Reis, por todo suporte dado, amizade e exemplo que me conduz até hoje.

Aos meus irmãos Juliana, Mariana, Adriana e Artur, pelos exemplos, incentivos e estima que sempre tiveram comigo.

À minha esposa Alinne Rose, pela compreensão, encorajamento, carinho e companheirismo presente em todos os momentos.

À Universidade Federal de Pernambuco – UFPE pela oportunidade de realização deste trabalho.

Ao professor e orientador Roberto Quental Coutinho, por ter me conduzido ao interesse da área de geotécnica dando a oportunidade de trabalhar no GEGEP (Grupo de Engenharia Geotécnica de Encosta e Planícies/UFPE) onde obtive grande aprendizado, além da orientação, ensinamentos e envolvimento demonstrados ao longo do desenvolvimento do trabalho.

Ao consórcio Projotec-Planave-Eicomnor e ao CIPS (Complexo industrial do porto de Suape) pela oportunidade e a confiança dada a mim na participação deste estudo e pela permissão da utilização dos dados utilizados.

Aos meus líderes Ricardo Carvalho e José Ramos pela confiança no trabalho, apoio, estímulos e ensinamentos.

Aos meus companheiros de trabalho que fizeram parte deste estudo, em especial a Débora Victor e Carlos Ribeiro, pela cooperação, dedicação, ensinamentos e amizade.

Ao professor Ian Martins pela participação e ensinamentos ao longo da pesquisa.

À Mecasolos- em especial a Vitor, pela disponibilidade (sempre acessível quando requisitado), pelas dúvidas sanadas, pelos conhecimentos passados durante todo o Projeto e amizade.

Ao Professor Joaquim Romão de Oliveira pelos direcionamentos e fornecimento de material utilizado no trabalho.

Às equipes dos laboratórios que realizaram os ensaios, no GEGEP, coordenado pelo Professor Roberto Coutinho e desenvolvido por Francisco, e na COPPE/UFRJ realizado pelo professor Ian Martins.

“Ninguém ignora tudo. Ninguém sabe tudo.
Todos nós sabemos alguma coisa. Todos nós ignoramos alguma coisa. Por isso
aprendemos sempre.”
Paulo Freire

Resumo

O Complexo Industrial do Porto de Suape planeja concentrar as atividades da indústria naval em uma mesma área denominada Cluster Naval de Suape. Devido às características do subsolo formadas por aluviões muito moles houve a necessidade de investir em uma vasta campanha de investigação geotécnica para dá subsídio às elaborações dos projetos.

O trabalho contemplou seis ilhas de investigações contendo em cada uma, vertical de ensaio de palheta, sondagem a percussão e coleta de amostras indeformadas do tipo Shelby para a realização dos ensaios de caracterização, compressibilidade e adensamento realizados em laboratório.

De posse dos resultados obtidos foram interpretados os parâmetros de caracterização e traçados perfis geotécnicos para avaliar a variabilidade e definir as camadas de cada perfil.

As amostragens coletadas foram avaliadas à qualidade através dos critérios propostos por Lune.et.al (1997) e Coutinho (2007), sendo corrigidas as consideradas de má qualidade, por meio dos métodos de Schmertmann(1955), Oliveira (2002) e Coutinho (2007).

Através dos resultados corrigidos, foram construídos perfis com parâmetros (σ'_{v0} , σ'_{vm} , OCR, e_0 , C_c , C_s e CR) em função da profundidade. Apresentando valores de razão de compressão variando entre 0,3 a 0,58

O parâmetro de resistência não drenada (S_u) determinado através do ensaio de palheta de campo, apresentou nas camadas superficiais valores entre 5 a 10 kPa, já na camada mais profunda, a resistência atingiu valores superiores a 30 kPa.

Também foram avaliadas as correlações entre os parâmetros de compressibilidade C_c , C_s em função de e_0 e $w_n(\%)$, assim comparados os resultados com as equações propostas por Coutinho et.al. (1998.a) para as argilas de Recife, e Coutinho e Bello (2014) para as argilas de Suape.

As correlações mostraram que o índice de compressão C_c se comportou mais próximo dos valores obtidos para Recife, com resultados superiores a Suape/PE estudada por Coutinho e Bello (2014). Já o índice de expansão C_s se aproximou com os valores obtidos para Suape/PE.

Palavras-chaves: Suape; Argila mole; Parâmetros geotécnicos; Qualidade das amostras; Correlações.

Abstract

The industrial complex of Suape plans to concentrate the marine industrial activities in the same area, called Cluster Naval de Suape. Due to the characteristics of the subsoil formed by very soft alluvium, there was a need to invest in a vast geotechnical research campaign to support the elaboration of the projects.

This project covered six contour of research containing in each one percussion and sample collection Shelby type to carrying out the characterization tests, compressibility and densification performed in laboratory.

Based on the results, the characterization parameters were interpreted and Geotechnical profiles were made for evaluate evaluate the variability and define the layers of each profile.

The collected samples were evaluated to the quality through the proposed criteria of Lune.et.al (1997) and Coutinho (2007). Samples considered of poor quality have been corrected, by methods of Schmertmann (1995), Oliveira (2002) e Coutinho (2007).

Through the corrected results, profiles were constructed with parameters (σ'_{v0} , σ'_{vm} , OCR, e_0 , C_c , C_s e CR) as a function of depth. Compression ratio values have been presented ranging from 0,3 to 0,58.

The resistance parameter not drained (S_u) determined by the field vane test presented in the surface layers values from 5 to 10 kPa, while in the deeper layers, the resistance reached values higher than 30 kPa.

The correlations between the compressibility parameters C_c , C_s as a function of e_0 and $w_n(\%)$, thus comparing the results with the equations proposed by Coutinho et.al. (1998.a) to the clays of Recife, and Coutinho and Bello (2014) to the clays of Suape.

Correlations showed that the compression index C_c behaved closer to the values obtained in Recife, with higher results than Suape/PE studied by Coutinho and Bello (2004). Otherwise the expansion index C_s got close from values obtained for Suape/PE.

Keywords: Suape; Soft Clay; Geotechnical Parameters; Quality of Samples; Correlations.

Lista de ilustrações

Figura 1. Danificação da palheta ao realizar ensaio em solo resistente	9
Figura 2. Vista geral dos componentes do equipamento de Palheta Elétrico.....	10
Figura 3. Resumo das dimensões e procedimentos mais usados no ensaio de palheta.....	11
Figura 4. Fator de correção empírico da relação entre a resistência de ruptura retroanalizada e o ensaio de palheta: experiência internacional e brasileira.	13
Figura 5. Piezocone com inclinômetro, sensor de temperatura e acelerômetro.	14
Figura 6. Detalhe do amostrador conforme especificação em norma	16
Figura 7. Esquema de avanço do tubo de revestimento e amostragem a 5,0m.	17
Figura 8. Acomodação da amostra dentro do amostrador.....	18
Figura 9. Cortando um trecho do bico do amostrador/amostra.	21
Figura 10. Esquema de corte do amostrador.	22
Figura 11. Introdução do fio de aço junto a interface solo-tubo amostrador.	22
Figura 12. Anel metálico posicionado sobre a amostra para ser cravado.....	23
Figura 13. Isócronas de Porcentagem de Adensamento.	26
Figura 14. Procedimento esquemático para correção de SCHMERTMANN(1955)..	29
Figura 15. Ábaco índice de vazio inicial (e_0) versus (e_f/e_0) proposto por Oliveira (2002).	30
Figura 16. Curvas de OCR vs ε_{v0} e CR vs ε_{v0} para os depósitos do SESI-Ibura, Recife-PE (Coutinho et al, 1998)	31
Figura 17. Localização do empreendimento	33
Figura 18. Layout do Cluster Naval	34
Figura 19. Carta Geotécnica e de Suscetibilidade a Processos Geológicos da Obra em estudo	38
Figura 20. Localização do estudo de acesso à Ilha de Tatuoca.	40
Figura 21. Carta de Plasticidade dos ensaios da ilha de Tatuoca.	43
Figura 22. Resultado dos ensaios de Piezocone sísmico na estaca E144.....	44
Figura 23. Resultados dos ensaios de Piezocone sísmico na estaca E144.....	45
Figura 24. Localização das áreas de estudos de Coutinho & Bello: Suape, Ipojuca.	48
Figura 25. Perfil geotécnico do E106 (área de estudo AE - 2, SUB- ÁREA A) , Suape (Coutinho, 2010; Bello, 2014)	49

Figura 26. Perfil geotécnico do E121 (área de estudo AE - 2, SUB- ÁREA C) , Suape (Coutinho, 2010; Bello, 2014) .	49
Figura 27. Carta de Plasticidade dos resultados ensaios (a) Suape (Coutinho & Bello, 2014); (b) Recife e Juturnaíba (Coutinho et al., 1998) .	50
Figura 28. Correlações estatísticas para solos orgânicos e argilas moles/ médios: (a) Recife e Juturnaíba (Coutinho et al, 1998) ; (b) Suape (Coutinho & Bello, 2014)	50
Figura 29. Resultados dos ensaios de palhetas de campo e triaxial - SUB- ÁREA A, área de estudo AE- 2 - Suape (Coutinho & Bello, 2014b) .	51
Figura 30. Resultados dos ensaios de palhetas de campo e triaxial - SUB- ÁREA C, área de estudo AE- 2 - Suape (Coutinho & Bello, 2014b) .	51
Figura 31. Mapa de isoespessuras das camadas de argila muito mole do Cluster Naval.	53
Figura 32. Perfil transversal na área do aterro piloto, Cluster Naval.	54
Figura 33. Campanha de sondagens realizadas no projeto Cluster Naval Locação e localização das ilhas de investigações	58
Figura 34. Imagens em diferentes etapas das sondagens realizadas no Cluster Naval.	59
Figura 35. Distribuição dos ensaios nas ilhas de investigações	60
Figura 36. Sequência da amostragem tipo Shelby realizada.	63
Figura 37. Sequência de imagens mostrando os cuidados tomados no transporte das amostras tipo Shelby.	64
Figura 38. Perfil geotécnico nas ilhas de investigações 1,2 e 3.....	69
Figura 39. Imagens de algumas amostras das ilhas 1, 2 e 3.	70
Figura 40. Carta de Plasticidade das ilhas 1, 2 e 3	74
Figura 41. Parâmetros de caracterização das ilhas 1.	77
Figura 42. Parâmetros de caracterização das ilhas 2.	78
Figura 43. Parâmetros de caracterização da ilha 3.	79
Figura 44. Parâmetros de caracterização das ilhas 1,2 e 3.....	80
Figura 45. Gráfico do $W_n \times e_0$ das ilhas 1,2 e 3, comparando com a equação proposta por Coutinho,2000, para as argilas de recife.	81
Figura 46. Perfil geotécnico da ilha 4.....	82
Figura 47. Perfil geotécnico da ilha 5.....	83
Figura 48. Perfil geotécnico da ilha 6.....	84
Figura 49. Carata de Plasticidade das ilhas 1,2,3,4,5 e 6, a partir de Coutinho & Bello (2014).	88

Figura 50. Carta de Plasticidade – argilas do Rio de Janeiro (Futai, 1999; Almeida et.al. 2008).....	89
Figura 51. Carata de Plasticidade das ilhas 1, 2,3,4,5 e 6, e área AE-01 e AE-02, a partir de Coutinho & Bello (2014) e com as regiões proposta por Futai (1999) para as argilas do Rio de Janeiro.....	91
Figura 52. Resultados dos ensaios de palheta nas ilhas 1, 2 e 3, destacados em vermelho os ensaios descartados da ilha 1.	94
Figura 53. Resultados dos ensaios de palheta nas ilhas 1,2 e 3, destacando em vermelho os resultados descartados.	95
Figura 54. Resultados dos ensaios de palheta nas ilhas 4,5 e 6	98
Figura 55. Resultados dos ensaios de palheta do Cluster Naval e das áreas AE1 e AE-2 (a partir de Coutinho & Bello, 2014)	101
Figura 56. Gráfico com o percentual de ocorrência dos resultados de Su de campo em diferentes faixas.....	102
Figura 57. Perfil de tensão vertical efetiva das ilhas 1,2 e 3.....	106
Figura 58. Curva de compressibilidade e determinação dos parâmetros (C_r , C_c , C_s e σ'_{vm}) da amostra AM-1-1. (ILHA 1)	108
Figura 59. Perfil de tensão vertical efetiva da ilha 4.	110
Figura 60. Perfil de tensão vertical efetiva da ilha 5.	111
Figura 61. Perfil de tensão vertical efetiva da ilha 6.	112
Figura 62. Curva de compressibilidade e determinação dos parâmetros (C_r , C_c , C_s e σ'_{vm}) da amostra AM-4-1. (ILHA 4)	113
Figura 63. Curva e $x \log \sigma'_{vm}$ para amostras de boa e de má qualidade (Coutinho, 1976).	114
Figura 64. Ocorrência das amostras quanto a sua qualidade, critério de avaliação, Coutinho (2007).....	115
Figura 65. Curvas de ensaios em amostras de excelente qualidade e construída pela proposta de Oliveira (2002) – (Ilha 1).	117
Figura 66. Curvas de ensaios em amostras de excelente qualidade e construída pela proposta de Oliveira (2002) – (Ilha 2).	118
Figura 67. Curvas de ensaios em amostras de excelente qualidade e construída pela proposta de Oliveira (2002) – (Ilha 3).	118
Figura 68. Curvas de ensaios em amostras de excelente qualidade e construída pela proposta de Oliveira (2002) – (Ilha 4).	119

Figura 69. Curvas de ensaios em amostras de excelente qualidade e construída pela proposta de Oliveira (2002) – (Ilha 5).	119
Figura 70. Curvas de ensaios em amostras de excelente qualidade e construída pela proposta de Oliveira (2002) – (Ilha 6).	120
Figura 71. Correção da curva de compressibilidade (Oliveira, 2002), amostra AM-1-3 - (Ilha 1).	121
Figura 72. Correção da curva de compressibilidade, Schmertmann (1955), amostra AM-5-4 - (Ilha 5).	122
Figura 73. Curva OCR vs. ε_{v0} para camada 1 do Cluster Naval, SUAPE/PE.	124
Figura 74. Curva OCR vs. ε_{v0} para camada 2 do Cluster Naval, SUAPE/PE.	125
Figura 75. Curva OCR vs. ε_{v0} para camadas 1 e 2 do Cluster Naval, SUAPE/PE. .	126
Figura 76. Curva CR vs. ε_{v0} para camada 1 das ilhas 1,2 e 3 do Cluster Naval, SUAPE/PE.	128
Figura 77. Curva CR vs. ε_{v0} para camada 2 das ilhas 1,2 e 3 do Cluster Naval, SUAPE/PE.	129
Figura 78. Curva CR vs. ε_{v0} para camada 1 da ilha 4 do Cluster Naval, SUAPE/PE.	130
Figura 79. Curva CR vs. ε_{v0} para camada 1 da ilha 5 do Cluster Naval, SUAPE/PE.	130
Figura 80. Curva CR vs. ε_{v0} tratando como única camada, ilha 5 do Cluster Naval, SUAPE/PE.	131
Figura 81. Curva CR vs. ε_{v0} , todas as ilhas, camada 1, do Cluster Naval, SUAPE/PE.	133
Figura 82. Curva CR vs. ε_{v0} , todas as ilhas, camada 2, do Cluster Naval, SUAPE/PE.	133
Figura 83. Coeficiente de adensamento (C_v), amostra AM -1-1 - (Ilha 1).	138
Figura 84. Histograma do C_v de recompressão.	139
Figura 85. Histograma do C_v de compressão virgem.	139
Figura 86. Perfil dos parâmetros de compressibilidade, ilha de investigação 1.	142
Figura 87. Perfil dos parâmetros de compressibilidade, ilha de investigação 2.	143
Figura 88. Perfil dos parâmetros de compressibilidade, ilha de investigação 3.	144
Figura 89. Perfil dos parâmetros de compressibilidade, das ilhas de investigação 1,2 e 3.	145
Figura 90. Perfil dos parâmetros de compressibilidade, ilha de investigação 4.	146
Figura 91. Perfil dos parâmetros de compressibilidade, ilha de investigação 5.	147

Figura 92. Perfil dos parâmetros de compressibilidade, ilha de investigação 6.	148
Figura 93. Correlações estatísticas: c_c vs $w(\%)$, Coutinho et.al (1998) e Coutinho e Bello (2014), mais resultados do Cluster Naval Suape.....	151
Figura 94. Correlações estatísticas: c_c vs e_0 , Coutinho et.al (1998) e Coutinho e Bello (2014), mais resultados do Cluster Naval Suape.....	152
Figura 95. Correlações estatísticas: c_s vs e_0 , Coutinho et.al (1998) e resultados do Cluster Naval Suape.	152
Figura 96. Correlações estatísticas: c_s vs $w(\%)$ - Coutinho et.al (1998) e Coutinho e Bello (2014), mais resultados do Cluster Naval Suape.....	153
Figura 97. Gráfico de $OCR_{\text{laboratório}}$ vs. OCR_{palheta} das amostras do Cluster.	156
Figura 98. Gráfico de $OCR_{\text{laboratório}}$ e OCR_{palheta} das amostras do Cluster ao longo da profundidade.	157
Figura 99. Gráfico de $S_u_{\text{palheta}}/\sigma'_{vm}$ vs. Índice de Plasticidade (%).	158

Lista de tabelas

Tabela 1 Aplicabilidade e uso de ensaios de campo (Lunne et al. 1997).....	7
Tabela 2. Critério de classificação da qualidade do corpo de prova (Lunne et al. 1997)	27
Tabela 3. Critério de classificação da qualidade do corpo de prova– Argilas moles de Recife (COUTINHO et al. 1998c, Oliveira 2002), Coutinho 2007.	28
Tabela 4. Resumo dos tipos e quantidades dos ensaios realizados na investigação acesso à ilha de Tatuoca.	41
Tabela 5. Resumo das propriedades físicas dos trechos 1 e 2.	42
Tabela 6. Resumo dos parâmetros obtidos no ensaio de compressão edométrica..	46
Tabela 7. Resumo dos parâmetros obtidos nos ensaios de compressão Triaxial CIUC.....	47
Tabela 8. Parâmetros mínimos e máximos encontrados nas diferentes camadas do subsolo do Cluster Naval e os valores de parâmetros encontrados por Coutinho et al (1998), Perin (1974) e Nagaray e Jayadeva (1983), adaptado de Coutinho e Bello (2014).	55
Tabela 9. Ensaio realizados em cada uma das seis ilhas de investigações geotécnicas.....	61
Tabela 10. Ensaio de palheta realizados.	65
Tabela 11. Relações das amostras enviadas para COPPE/UFRJ.....	66
Tabela 12. Relações das amostras enviadas para UFPE.....	67
Tabela 13. Resumo dos ensaios de campo.....	67
Tabela 14. Resumo dos ensaios de laboratório	68
Tabela 15. Tabela de descrição das amostras das ilhas 1, 2 e 3.....	71
Tabela 16 - Valores dos parâmetros de caracterização e índices físicos, das ilhas 1, 2 e 3.....	72
Tabela 17 - Valores dos parâmetros de caracterização e índices físicos, das ilhas 1, 2 e 3.....	73
Tabela 18 – Peso específico de solos argilosos (Godoy,1972).....	75
Tabela 19 - Valores dos parâmetros de caracterização e índices físicos, das ilhas 4, 5 e 6,.....	86
Tabela 20 – Classificação das argilas do Rio de Janeiro (Futai,1999, Almeida et.al. 2008)	90

Tabela 21 – Resultado dos ensaios de Palheta e correção de Bjerrum (1972) das ilhas 1, 2 e 3.....	96
Tabela 22 – Resultado dos ensaios de Palheta e correção de Bjerrum (1972) das ilhas 4, 5 e 6.....	97
Tabela 23 – Resultado dos ensaios triaxiais UU das ilhas 4, 5 e 6.....	99
Tabela 24 – Classificação da sensibilidade (Skempton e Northey,1952.).....	100
Tabela 25 – Sensibilidade das argilas investigadas de acordo com o critério de Skempton e Northey,1952.....	100
Tabela 26 – Valores de S_u palheta, IP e umidade natural para argilas/solos orgânicos brasileiros incluindo os resultados do presente trabalho. (a partir de Bello, 2011 e Coutinho et al. 2000).....	103
Tabela 27 – Tensão vertical efetiva das amostras das ilhas 1, 2 e 3.....	105
Tabela 28 – Resumo dos parâmetros de compressibilidade das ilhas 1, 2 e 3.	107
Tabela 29 – Tensão vertical efetiva das amostras da ilha 4	109
Tabela 30 – Tensão vertical efetiva das amostras da ilha 5	110
Tabela 31 – Tensão vertical efetiva das amostras da ilha 6	111
Tabela 32 – Resumo dos parâmetros de compressibilidade das ilhas 4,5 e 6.	112
Tabela 33 – Resumo da análise da qualidade das amostras das seis ilhas estudadas	115
Tabela 34 – Comparação entre os parâmetros de compressibilidade com e sem correção.	121
Tabela 35 – Parâmetros σ'_{vm} e C_c corrigidos por Schmertmann (1955).....	123
Tabela 36 – Parâmetros σ'_{vm} e OCR corrigidos por Coutinho (2007).....	127
Tabela 37 – Parâmetros CR e C_c corrigidos por Coutinho (2007).....	132
Tabela 38 – Resumo dos parâmetros corrigidos pelos três diferentes métodos, Oliveira(2002), Coutinho (2007) e Schmertmann (1955).	136
Tabela 39 – Resultados dos parâmetros de drenagem vertical obtido nos domínios de recompressão e compressão virgem.	138
Tabela 40 – Resumo dos parâmetros geotécnicos obtidos nas ilhas 1,2,3,4,5 e 6, com destaque para os parâmetros que sofreram correções.	141
Tabela 41 – Correlações estatísticas – solos orgânicos e argilas moles/médias – Recife (COUTINHO et al. 1998a) e Coutinho e Bello, 2014.....	150
Tabela 42 Valores de OCR de campo e laboratório do Cluster Naval.....	155
Tabela 43 Correlações propostas na literatura para determinação de $S_{u/palheta} / \sigma'_{vm}$ e IP	158

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1.1. INTRODUÇÃO	1
1.2. OBJETIVO DA DISSERTAÇÃO	3
1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	3
CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 INTRODUÇÃO	5
2.2 ENSAIOS DE CAMPO	7
2.2.1 Vane Test.....	7
2.2.1.1 Histórico do ensaio.....	7
2.2.1.2 Aplicabilidade do ensaio.....	8
2.2.1.3 Equipamentos e procedimento.....	9
2.2.1.4 Resultados de ensaios.....	10
2.2.2 Piezocone.....	13
2.2.3 Retirada de amostra indeformada tipo Shelby	15
2.2.3.1 Tipo e geometria dos segmentos do tubo de revestimento.....	15
2.2.3.2 Cravação da amostra	16
2.2.3.3 Quanto à água de circulação	17
2.2.3.4 Tempo de Repouso.....	18
2.2.3.5 Manipulação da amostra.....	18
2.2.3.6 Identificação das amostras.....	19
2.2.3.7 Transporte.....	19
2.3 ENSAIOS DE LABORATÓRIO	19
2.3.1 Ensaio de Caracterização	19
2.3.2 Ensaio de adensamento.....	20
2.3.2.1 Moldagem dos Corpos de prova	20
2.4 TEORIA DO ADENSAMENTO	24
2.5 ANÁLISE DA QUALIDADE DO CORPO DE PROVA	27
2.5.1 Correção da Curva de Compressibilidade.....	28
2.5.1.1 Proposta de SCHMERTMANN (1955)	28
2.5.1.2 Proposta de Oliveira (2002)	29
2.5.1.3 Coutinho (2007)	30
CAPÍTULO 3 – DESCRIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO	32
3.1 INTRODUÇÃO	32

3.2	CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS E GEOTÉCNICAS DA REGIÃO.....	35
3.2.1	Geologia.....	35
3.2.2	Geotecnia.....	36
3.3	ESTUDOS GEOTÉCNICOS PRÓXIMO DA ÁREA DE INTERESSE.....	39
3.3.1	Acesso à Ilha de Tatuoca.....	39
3.3.1.1	Amostras Indeformadas – Acesso à ilha de Tatuoca	41
3.3.1.2	Caracterização das amostras.....	42
3.3.1.3	Ensaio de Palheta de Campo (Vane Test)	43
3.3.1.4	Ensaio de Piezocone Sísmico	44
3.3.1.5	Características de compressibilidade e adensamento das amostras.....	45
3.3.1.6	Ensaio de Compressão Triaxial do tipo CIUC	47
3.3.2	Caracterização das argilas moles de Suape/PE (Coutinho & Bello, 2014)	48
3.3.3	Investigação Geotécnica para avaliação da variabilidade do Subsolo da área do Cluster Naval do Porto de Suape/PE; Victor, Débora Feijó (2013).	52
3.3.3.1	Modelagem tridimensional do perfil geotécnico	52
	CAPÍTULO 4 – CAMPANHA DE INVESTIGAÇÃO E PARÂMETROS DE CARACTERIZAÇÃO	56
4.1	CAMPANHA DE INVESTIGAÇÃO – CLUSTER NAVAL.....	56
4.1.1	Sondagens a Percussão	56
4.1.2	Ilhas de investigações.....	60
4.1.2.1	Retirada de amostras indeformadas tipo Shelby.....	61
4.1.2.2	Ensaio de palheta de campo.....	64
4.1.3	Ensaio de laboratório.....	66
4.1.3.1	Laboratório de Reologia dos Solos da COPPE/UFRJ.....	66
4.1.3.2	Laboratório de Solos e Instrumentação da UFPE	67
4.1.4	Resumo dos ensaios.....	67
4.2	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO	68
4.2.1	Ilhas de investigações 1, 2 e 3.....	68
4.2.2	Ilhas de investigações 4, 5 e 6	81
4.2.2.1	Perfil Geotécnico.....	81
	CAPÍTULO 5 - PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA NÃO DRENADA, COMPRESSIBILIDADE E ADENSAMENTO.....	92
5.1	PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO	92
5.1.1	Ensaio de palheta de campo	92
5.2	ENSAIO DE ADENSAMENTO	103

5.2.1 Ilhas de Investigações 1, 2 e 3	104
5.2.1.1 Tensão vertical efetiva	105
5.2.1.2 Obtenção dos parâmetros de compressibilidade	107
5.2.2 Ilhas de investigações 4, 5 e 6	109
5.2.2.1 Tensão vertical efetiva	109
5.2.2.2 Obtenção dos parâmetros de compressibilidade	112
5.3 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS AMOSTRAS	114
5.4 CORREÇÃO DA CURVA DE COMPRESSIBILIDADE	117
5.4.1 Proposta de correção Oliveira (2002)	117
5.4.2 Proposta de correção Schmertmann (1955)	122
5.4.3 Proposta de correção Coutinho (2007)	123
5.4.3.1 Correção do OCR e σ'_{vm}	124
5.4.3.2 Correção do CR e C_c	128
5.4.4 Resumo das correções propostas	134
5.5 OBTENÇÃO DO COEFICIENTE DE ADENSAMENTO POR DRENAGEM VERTICAL	137
5.6 RESUMO DOS PARÂMETROS GEOTÉCNICOS	139
5.7 CORRELAÇÕES DOS PARÂMETROS	150
5.8 RAZÃO DE PRÉ-ADENSAMENTO, OCR E CORRELAÇÕES (S_u/σ'_v VS IP)	154
6 CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	159
6.1 CONCLUSÕES	159
6.1.1 Programa de Investigação	159
6.1.2 Qualidade das amostras	160
6.1.3 Caracterização geotécnica e geológica	160
6.1.3.1 Parâmetros de caracterização	160
6.1.3.2 Resistência não Drenada (S_u)	161
6.1.3.3 Compressibilidade	162
6.1.3.4 Adensamento	163
6.1.4 Correlações	163
6.2 SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS	164
APÊNDICES E ANEXO	165

CAPÍTULO 1

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este capítulo apresentará os principais objetivos desta dissertação, além de sua estruturação, abordando um breve resumo do que será explanado em cada capítulo.

1.1. INTRODUÇÃO

Diante do crescimento populacional e o consequente avanço territorial nos grandes centros urbanos, surge à necessidade de ocupar áreas jamais habitadas, por apresentarem características geotécnicas desfavoráveis para construção civil. Assim, as obras civis estão cada vez mais situadas em terrenos onde os subsolos apresentam baixa capacidade de suporte e alta compressibilidade. Diante deste cenário, diversos autores nacionais e internacionais vêm abordando esta temática.

Para o melhor entendimento do comportamento dos solos com essas características são de fundamental importância às determinações dos parâmetros geotécnicos confiáveis. Esta necessidade conduz a um aperfeiçoamento contínuo nas campanhas de investigações de campo e laboratório. Uma das problemáticas frequentes na determinação de critérios geotécnicos através dos ensaios de laboratórios é a obtenção de amostras de má qualidade, o que gera inconfiabilidade nos padrões geotécnicos obtidos a partir dessas amostragens.

Estudos e esforços vêm sendo realizados no meio geotécnico brasileiro e internacional, no sentido de avaliar a qualidade de amostragens, assim como, quantificar o efeito desta nos valores dos parâmetros geotécnicos. Estudos como o de Ladd (1973), Coutinho (1976), (1986,2007); Hight (2000); Futai (2002), Hight e Leroueil (2003), Tanaka (2008), entre outros, abordaram essa temática.

Na costa Brasileira, a presença de argila mole é muito comum, nesta têm sido estudados vários depósitos ao longo dos anos em cidades como Recife, Rio de Janeiro, Santos, Porto alegre, Maceió, Aracaju, Salvador, entre outras.

Especificamente em Pernambuco com o crescimento e expansão do Porto de Suape, a necessidade de abertura de novos canais de navegação e aterro das áreas para a implantação dos futuros empreendimentos no Complexo Industrial do Porto

de Suape – CIPS- levou o atual layout a concentrar as atividades da indústria naval numa mesma área denominada Cluster Naval de Suape.

O subsolo encontrado nesta área apresenta uma variabilidade que vai desde solo residual aflorante, até aluviões muito moles. O conhecimento das características deste foi possível através de uma vasta campanha de investigação com ensaios de campo e de laboratório no qual foram realizadas sondagens à percussão com determinação de umidade a cada metro, sondagens rotativas, ensaios geofísicos, ensaio de palheta, retirada de amostra indeformadas, tipo Shelby, e os ensaios de laboratório de caracterização completa; teor de matéria orgânica, adensamento edométrico convencional e por drenagem vertical e ensaio de compressão triaxial.

Dado a amplitude da campanha realizada e associada aos rigorosos cuidados tomados em toda investigação e as características geotécnicas da área, foi possível o desenvolvimento de duas Pesquisas do Programa de Pós-graduação da Universidade Federal de Pernambuco. Um primeiro trabalho desenvolvido pela Mestra Débora Feijó Victor que contou com a orientação do professor Roberto Coutinho. A dissertação denominada de “Investigação geotécnica para avaliação da Variabilidade do Subsolo da área do Cluster Naval do Porto de Suape/PE” apresentou uma descrição da variabilidade dos perfis e de parâmetros de caracterização das argilas moles encontradas na área. Também fez parte desse trabalho a apresentação da distribuição espacial das camadas do subsolo através de mapa 3D com isoespessuras de camadas de aluvião mole.

Por fim, o presente trabalho, dará continuidade à dissertação de Victor, Débora Feijó(2013) com foco na avaliação da qualidade das amostras indeformadas e correções da curva de compressibilidade, além da discussão dos parâmetros geotécnicos obtidos, tais como os índices de recompressão (C_r), de compressão (C_c) e de expansão (C_s), tensão de sobreadensamento (σ'_{vm}) e coeficiente de adensamento (C_v), além das resistências não drenada (S_u), obtidos através dos ensaio de palheta. Ademais serão abordadas as correlações entre as referências obtidas, como C_c , C_s , w_h e e_0 .

1.2. OBJETIVO DA DISSERTAÇÃO

O trabalho teve como objetivo estudar as propriedades geotécnicas do Subsolo do Cluster Naval, localizado no Complexo industrial Portuário de Suape/PE.

Como objetivos específicos, podem ser citados:

- Analisar a estratigrafia dos depósitos de solos localizados na área onde serão destinadas as atividades da industrial naval em Suape/PE, Cluster Naval.
- Verificar a qualidade das amostras através das metodologias propostas por Lune (et.al) e Coutinho (2007);
- Corrigir a curva de compressibilidade e seus parâmetros;
- Calcular e analisar os parâmetros de compressibilidade, adensamento e resistência das ilhas de investigações;
- Correlacionar e comparar os parâmetros obtidos com outros estudos realizados em Suape, Recife e outros depósitos no Brasil.

1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A disposição dos capítulos e a abordagem de cada um deles ao longo deste trabalho estão apresentadas a seguir:

Neste primeiro capítulo foi apresentada a introdução e a estruturação desta dissertação.

O **Capítulo 2** compreende uma abordagem de investigação geotécnica sobre argila mole, a qual será detalhada informações teóricas e práticas dos ensaios, além das análises dos parâmetros geotécnicos e avaliações da qualidade das amostras indeformadas, bem como sua correção.

Em seguida o **Capítulo 3** referir-se-á ao caso em estudo, ao qual serão apresentadas as principais informações tais como: localização, características da obra, geologia e geotecnia da região, além de apresentar outros estudos realizados próximo da área de interesse.

O **Capítulo 4** detalha a campanha de investigação prevista para área em estudo, apresenta e discutem os parâmetros de caracterização do solo, como também construir perfis geotécnicos da área.

No **Capítulo 5**, foram discutidos a resistência não drenada, compressibilidade e adensamento, além de serem analisadas as qualidades das amostras indeformadas e realizadas suas correções. Neste capítulo, também, foram realizada as correlações com os parâmetros já corrigidos.

As conclusões e recomendações para futuras pesquisas estão apresentadas no **Capítulo 6**.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo abordará o tema da investigação geotécnica sobre argila mole. Inicialmente será realizado um breve resumo dos ensaios geotécnicos de campo e laboratório que fizeram parte do estudo, bem como a metodologia e cuidados utilizados nas coletas de amostras indeformadas tipo Shelby.

A segunda etapa desse capítulo terá como foco os parâmetros geotécnicos de compressibilidade e adensamento das argilas moles. Por fim, serão abordadas as metodologias para análise de qualidade das amostras e correção da curva de compressibilidade.

2.1 INTRODUÇÃO

Na Engenharia geotécnica, como em diversas outras ciências, como exemplo a saúde, a busca do entendimento de um problema e das possíveis alternativas de soluções passa inicialmente por uma análise bem feita, o que determinará o curso da tomada de decisão, tanto na elaboração de um projeto- na área da engenharia- quanto em um diagnóstico de doença- no caso da medicina.

A falta de investigação geotécnica ou a má interpretação de dados resulta em: projetos inadequados, atrasos na obra, aumento de custos por modificações de última hora e remediação; problemas ambientais e até mesmo a ruptura da obra. A investigação geotécnica além de minimizar os riscos e custos, é uma forma de demonstrar responsabilidade para com a sociedade e respeito à natureza.

Segundo Schaid & Odebrecht (2012):

“No Brasil, o custo envolvido na execução de sondagens de reconhecimento normalmente varia entre 0,2% e 0,5% do custo total de obras convencionais, podendo ser mais elevado em obras especiais ou em condições adversas de subsolo”.

Por se tratar de valor insignificante comparado com o custo final da obra, que trará benefícios tanto na redução dos riscos, quanto nos custos, é inconcebível o não planejamento e execução de uma investigação geotécnica bem feita, que

subsidiará através dos parâmetros geotécnicos corretos, a tomada de decisão do projetista.

Para a elaboração do Plano de investigação, o engenheiro geotécnico deve ponderar os custos e as características da obra com base na complexidade geológica e geotécnica do local, buscando informações prévias como as cartas geotécnicas e geológicas da região em estudo. Análises de estudos anteriores da região e visitas em campo também são de fundamentais importâncias na elaboração do Plano de investigação.

Os resultados obtidos na campanha de investigação deverão dar aporte ao projetista no entendimento das condições do subsolo, fornecendo-lhe parâmetros como: ângulo de atrito interno do solo (ϕ'), resistência ao cisalhamento não drenada (S_u), coeficiente de compressibilidade volumétrica na compressão edométrica (m_v), módulo cisalhante (G), coeficiente de empuxo no repouso (K_0), razão de pré-adensamento (OCR), índices de compressibilidade, entre outros.

A Tabela 1 a seguir desenvolvida por Lunne, Robertson e Powell (1997), resume as técnicas de ensaios e sua aplicabilidade para determinações de diferentes parâmetros geotécnicos.

Tabela 1 Aplicabilidade e uso de ensaios de campo (Lunne et al. 1997)

		Parâmetros													
Grupo	Equipamento	Tipo de solo	Perfil	u	ϕ'	S_u	D_r	m_v	c_v	K_0	G_0	σ_h	OCR	σ - ϵ	
Penetrômetro	Dinâmicos	C	B	—	C	C	C	—	—	—	C	—	C	—	
	Mecânicos	B	A/B	—	C	C	B	C	—	—	C	C	C	—	
	Elétricos (CPT)	B	A	—	C	B	A/B	C	—	—	B	B/C	B	—	
	Piezcone (CPTU)	A	A	A	B	B	A/B	B	A/B	B	B	B/C	B	C	
	Sísmicos (SCPT/SCPTU)	A	A	A	B	A/B	A/B	B	A/B	B	A	B	B	B	
	Dilatômetro (DMT)	B	A	C	B	B	C	B	—	—	B	B	B	C	
	Standard Penetration Test (SPT)	A	B	—	C	C	B	—	—	—	C	—	C	—	
	Resistividade	B	B	—	B	C	A	C	—	—	—	—	—	—	
Pressiômetro	Pré-furo (PBP)	B	B	—	C	B	C	B	C	—	B	C	C	C	
	Autoperfurante (SBP)	B	B	A	B	B	B	B	A	B	A	A/B	B	A/B	
	Cone-pressiômetro (FDP)	B	B	—	C	B	C	C	C	—	A	C	C	C	
Outros	Palheta	B	C	—	—	A	—	—	—	—	—	—	B/C	B	
	Ensaio de placa	C	—	—	C	B	B	B	C	C	A	C	B	B	
	Placa helicoidal	C	C	—	C	B	B	B	C	C	A	C	B	—	
	Permeabilidade	C	—	A	—	—	—	—	B	A	—	—	—	—	
	Ruptura hidráulica	—	—	B	—	—	—	—	C	C	—	B	—	—	
	Sísmicos	C	C	—	—	—	—	—	—	—	A	—	B	—	

Aplicabilidade: A = alta; B = moderada; C = baixa; — = inexistente

Definição de parâmetros: u = poropressão *in situ*; ϕ' = ângulo de atrito efetivo; S_u = resistência ao cisalhamento não drenada; D_r = densidade relativa; m_v = módulo de variação volumétrica; c_v = coeficiente de consolidação; K_0 = coeficiente de empuxo no repouso; G_0 = módulo cisalhante a pequenas deformações; σ_h = tensão horizontal; OCR = razão de pré-adensamento; σ - ϵ = relação tensão-deformação.

Fonte: Lunne, Robertson e Powell (1997).

Fonte: SCHNAID, F.; ODEBRECHT, E. Ensaios de Campo e suas aplicações à engenharia de fundação, 2 ed, p.16, 2012

Adiante serão discutidas as metodologias dos ensaios de campo e laboratório que compuseram este trabalho. Para tal, tomaram-se como base os relatórios técnicos elaborado pela empresa de consultoria geotécnica Mecasolo, além das normas técnicas brasileiras já consagradas, e das referências bibliográficas, como Schaid & Odebrecht (2012), as quais podem ser coletadas mais informações.

2.2 ENSAIOS DE CAMPO

2.2.1 Vane Test

O ensaio Vane test, também conhecido no Brasil como ensaio de palheta, tem como seu principal objetivo a determinação da resistência ao cisalhamento não drenada (S_u) em depósitos de argilas moles.

2.2.1.1 Histórico do ensaio

O ensaio foi desenvolvido na Suécia, em 1919, por John Olsson (Flodin;Brosms,1981). O equipamento apresentava a geometria das palhetas e os procedimentos dos ensaios eram diferentes dos utilizados atualmente. Ao término da

década de 1940, sofreu aperfeiçoamentos assumindo a formação que é empregada até hoje. O ensaio só foi introduzido no Brasil em 1949 pelo Instituto de Pesquisa Tecnológica de São Paulo (IPT) e pela Geotécnica S.A, do Rio de Janeiro, e atualmente é o mais empregado para a determinação *in situ* da resistência ao cisalhamento não drenada, S_u , de depósitos de argilas moles (Coutinho et. al., 2000). Em 1989, foi publicada a norma brasileira da ABNT MB-3122 “*Solo – Ensaios de palheta in situ*”, posteriormente registrada no INMETRO x como ABNT NBR 10905/1989 – “*Solo – Ensaios de palheta em situ*”.

2.2.1.2 Aplicabilidade do ensaio

A maior vantagem deste método de ensaio reside na simplicidade, no baixo custo do equipamento e sua rápida operação, bem como na vasta experiência mundial na utilização dos ensaios de palheta, o que o torna indicado na maioria dos projetos envolvendo solos moles (Wroth, 1984; Ortigão e Collet 1986; Coutinho et. al., 2000). Como já mencionado, anteriormente, sua maior aplicação é para determinação *in situ* da resistência ao cisalhamento não drenada, S_u , mas também, utiliza-se os resultados dos ensaios para obter outras informações como OCR, tipo de solo, observado na tabela 1.

O ensaio tem como limitação as seguintes recomendações de natureza prática:

- NSPT menor ou igual a 2, correspondendo a resistência de penetração (q_c) menor ou igual a 1.000 kPa;
- Matriz predominantemente argilosa (>50% passando na peneira #200, $LL > 25$, $IP > 4$);
- Ausência de lentes de areia (a ser definida previamente por ensaios de penetração).

A realização de ensaio em natureza que foge das especificações anteriores pode acarretar danos ao equipamento, como pode ser visto na figura 1, e/ou interpretação de resultados erroneamente.



Figura 1. Danificação da palheta ao realizar ensaio em solo resistente.

(Fonte: Foto retirada da campanha de investigação do Cluster Suape)

2.2.1.3 Equipamentos e procedimento

A norma brasileira NBR 10905 (ensaio de palheta “in situ”) prevê dois tipos básicos de equipamentos: tipo (A) com palhetas e hastes protegidas e tipo (B) o qual a palheta é inserida em perfuração prévia com haste não protegida. Ortigão e Collet (1986) compararam resultados obtidos com equipamentos semelhantes aos normalizados (A e B) no depósito de Sarapuí/RJ, obtendo perfis de resistência diferentes. Os autores comentam que os melhores resultados são obtidos com equipamento do tipo A. Essa dissertação tem como foco o equipamento tipo A, utilizados nos ensaios.

A utilização deste tipo de equipamento só é viável em solos de baixa consistência, onde é possível sua cravação estática com auxílio de um sistema hidráulico ou tripé de sondagem.

Durante a cravação, com o auxílio de um penetrômetro hidráulico, a palheta é protegida por uma sapata, e as hastes através do tubo de proteção são mantidas centralizadas e protegidas para redução de atritos mecânicos.

Foi desenvolvido em conjunto pela COPPE/UFRJ, UFPE e GROM um equipamento que possui sapata de proteção, medidor de torque próximo à palheta que elimina erros referentes ao atrito interno no equipamento e tubo de proteção da haste fina (bainha), que juntamente com a sapata de proteção elimina o atrito haste-solo. Este equipamento tem sido utilizado com excelentes resultados (Coutinho et al., 2000; Oliveira e Coutinho, 2000; Macedo, 2004; Crespo Neto, 2004; Almeida et

al., 2006; Jannuzzi, 2009) nos últimos anos no país e foi utilizado nos ensaios que fazem parte desta dissertação, figura 2.

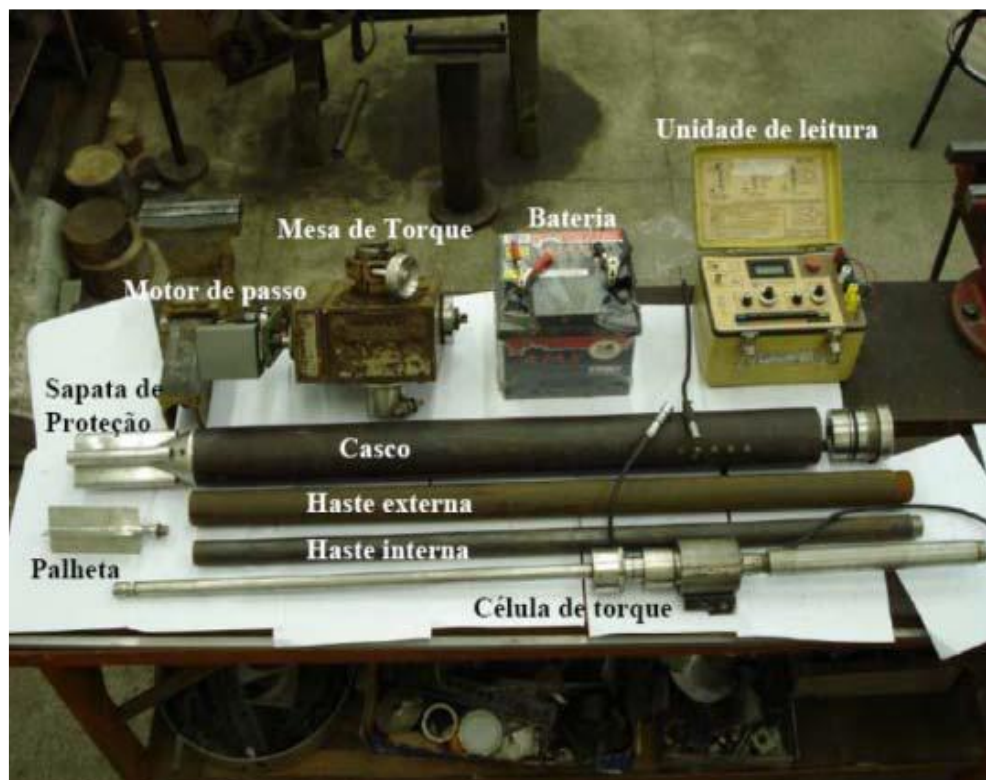


Figura 2. Vista geral dos componentes do equipamento de Palheta Elétrico

Fonte: BARONI, M. Investigação geotécnica em argilas orgânica muito compressíveis em depósitos da Barra da Tijuca. Dissertação (Mestrado). P 78. – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2010.

2.2.1.4 Resultados de ensaios

Após realizar todo o procedimento de cravação e atingir a profundidade desejada para realização do ensaio, aplica-se o torque com velocidade de 6°/minuto. O intervalo de tempo máximo admitido entre o fim da cravação da palheta e o início da sua rotação é de cinco minutos conforme preconiza a norma.

A Norma brasileira define a resistência não drenada (S_u) em função do diâmetro da palheta em metros (D) e o torque máximo (T) medido em kNm, conforme apresentado na figura 3.

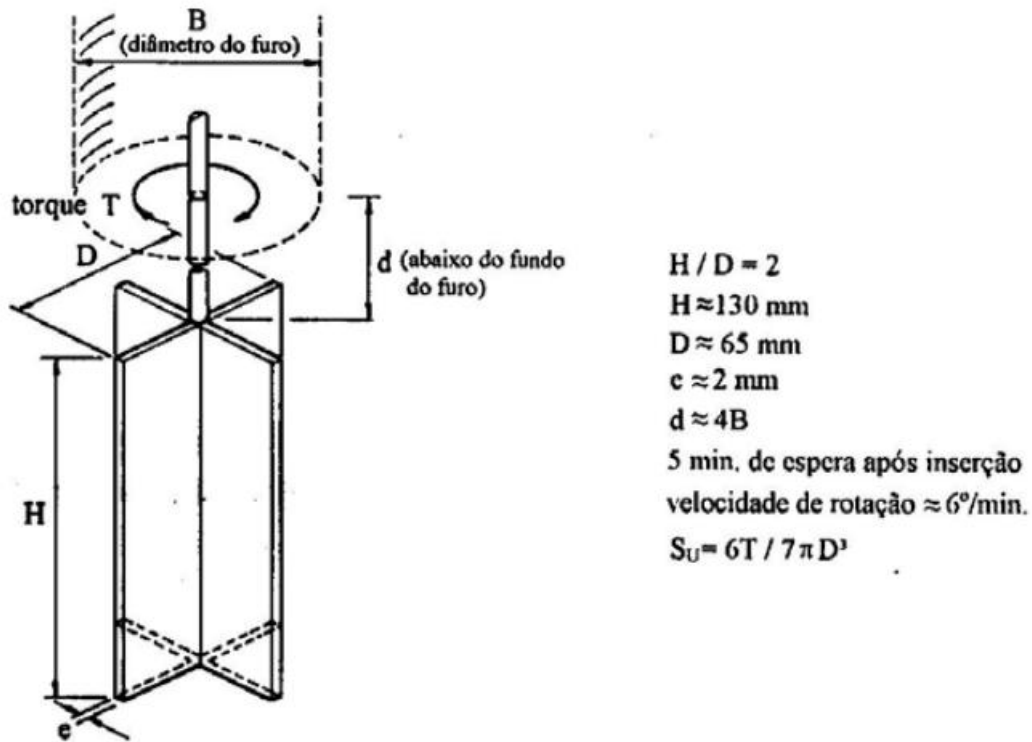


Figura 3. Resumo das dimensões e procedimentos mais usados no ensaio de palheta.

Fonte: (adaptado por Coutinho et al. 2000, de Chandler, 1988).

Sendo a resistência não drenada obtida a partir da equação:

$$T = S_u \pi D \frac{HD}{2} + 2 \int_0^{2\pi} \int_0^{D/2} S_u r^2 dr d\theta = S_u \pi \frac{D^2}{2} H + 2 \int_0^{2\pi} S_u \frac{r^3}{3} d\theta$$

$$= S_u \pi \frac{D^2}{2} H + 2\pi 2S_u \frac{D^3}{24} = S_u \pi \left(\frac{D^2}{2} H + \frac{D^3}{6} \right)$$

$$\text{Se } H = 2D; T = \pi S_u \left(D^3 + \frac{D^3}{6} \right) \therefore$$

$$S_u = \frac{6 T_{\text{máx}}}{7 \pi D^3} \quad (1)$$

Para a interpretação do ensaio e a obtenção do valor de S_u , são feitas algumas hipóteses (e.g., Cadling e Odenstad, 1950):

- i. A superfície de ruptura em torno da palheta é cilíndrica, e o diâmetro e altura do cilindro correspondem às dimensões da palheta (D e H, ver figura 2).

- ii. A distribuição de tensões relativa ao máximo torque é uniforme ao longo de toda a superfície do cilindro, inclusive no topo e na base.
- iii. O atrito nas hastes é desprezado.
- iv. Material seja isotrópico e homogêneo e, ainda, que não haja ruptura progressiva (Coutinho et al., 2000).
- v. Considerando-se a relação H/D igual a 2.

O torque máximo é obtido através do gráfico torque *versus* rotação. A correta interpretação desse gráfico também poderá revelar possíveis interferências ocorridas no ensaio, como presença de conchas, raízes e lente de areias.

“Em relação ao solo, a presença de pequenas quantidades de areias ou silte na matriz argilosa, ou a ocorrência de lentes arenosas, pode promover um ganho de resistência decorrente de drenagem parcial durante o tempo de rotação da palheta. Interferências produzidas por conchas, raízes e partículas granulares podem, ainda, dá origem a curvas descontínuas, com a presença de patamares localizados, sem com isso, comprometer a qualidade do ensaio”. Schaid & Odebrecht (2012) Ensaios de Campo e suas aplicações à Engenharia de Fundações, 2.ed.

A sensibilidade da argila é outro importante parâmetro obtido através deste ensaio, sua determinação se dá através da razão entre a resistência não drenada (S_u) e a resistência não drenada amolgada (S_{ur}), conforme apresentado na expressão (2).

$$S_t = \frac{S_u}{S_{ur}} \quad (2)$$

Imediatamente, após a conclusão do ensaio indeformado são realizadas dez revoluções completas na palheta, e refeito o ensaio para a determinação da resistência não drenada amolgada (S_{ur}).

Estudos realizados por Oliveira e Coutinho (2000) mostram variações de sensibilidade para argilas de Recife que vão de 4,5 a 15,8.

Bjurrum (1973) considerou a combinação dos fatores que influenciam o resultado do ensaio, tais como velocidade de carregamento, anisotropia e fluência, bem como propôs sua correção para o cálculo da estabilidade de taludes, conforme expressão (3).

$$S_u \text{ (corrigido)} = \mu S_u \text{ (palheta)} \quad (3)$$

O fator de correção empírico μ , figura 4 tem como base a retro análise de rupturas em aterro e escavações em depósitos argilosos (Bjerrum, 1973; Azzouz; Baligh; Ladd, 1983). No Brasil, a correção foi baseada nos estudos de casos (Ortigão, 1980; Coutinho, 1986; Ortigão; Collet, 1987; Ortigão; Almeida, 1988, Sandroni, 1993, Massad, 1999; Bello, 2004; Magnani, 2006; Almeida; Marques; Lima, 2010).

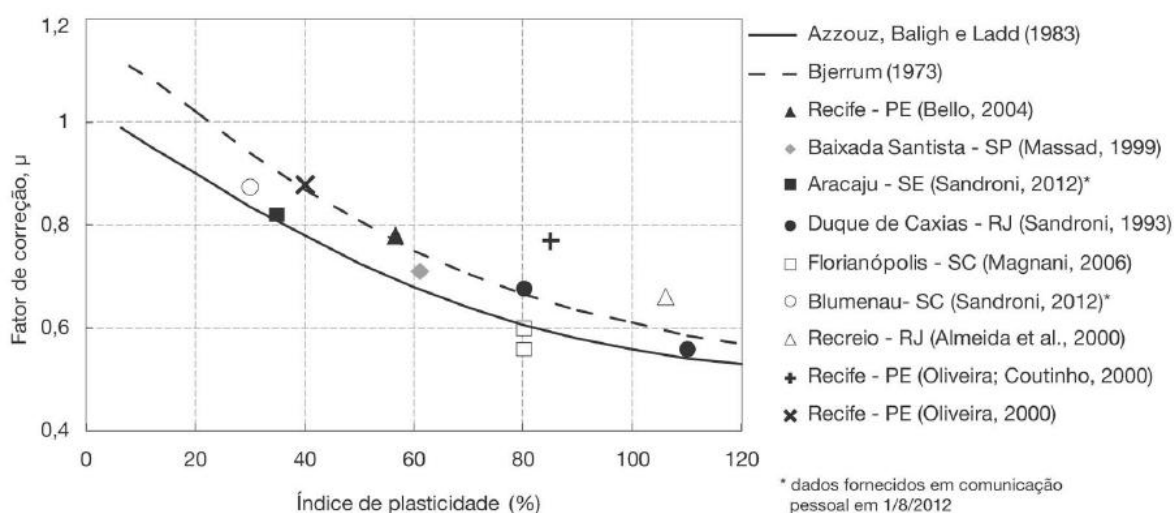


Figura 4. Fator de correção empírica da relação entre a resistência de ruptura retroanalizada e o ensaio de palheta: experiência internacional e brasileira.

Fonte: Schaid & Odebrecht (2012). Ensaios de Campo e suas aplicações à engenharia de fundação, 2 ed, p.132, 2012.

2.2.2 Piezocone

O ensaio de Piezocone da mesma forma denominado CPTU (*piezocone penetration test*), consiste na cravação contínua de uma ponteira de forma cônica que é conectada à extremidade de um conjunto de hastes, sendo introduzida no solo a uma velocidade constante igual a $20 \text{ mm/s} \pm 5 \text{ mm/s}$. O cone tem vértice de 60° e em geral, um diâmetro típico de 35,68 mm (que corresponde a uma área de 10 cm^2), conforme apresentado na figura 5.

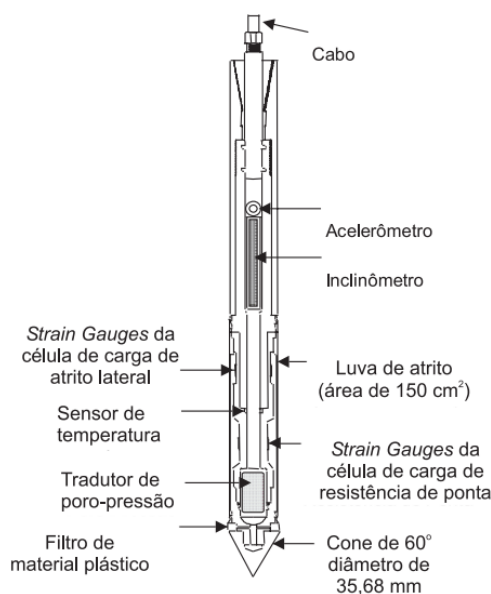


Figura 5. Piezocone com inclinômetro, sensor de temperatura e acelerômetro

Fonte: (Davies & Campanella, 1995).

Durante a penetração as forças medidas pela ponta e pelo atrito lateral variam em função das propriedades dos materiais atravessados. Os registros de resistência de ponta (q_c), atrito lateral local (f_s) e poropressão (u) são medidos por sensores eletrônicos. Simultaneamente, também podem ser medidas a temperatura e a inclinação durante o avanço da penetração. Todos os registros são monitorados continuamente e digitalizados em intervalos típicos de 10, 25 ou 50 mm.

Seu resultado permite determinar as propriedades mecânicas dos solos, principalmente em depósitos de solos moles, que podem ser estimadas por correlações empíricas e semiteóricas disponíveis na literatura. Da mesma forma, apresenta como diferencial do ensaio a possibilidade da interpretação da dissipação da poropressão, determinação da estratigrafia do subsolo e a previsão de capacidade de carga de fundações.

Este ensaio é reconhecido nacional e internacionalmente como uma das mais importantes ferramentas de prospecção geotécnica.

Devida às dificuldades de apreciação de resultados obtidos em diferentes equipamentos, buscou-se a padronização do ensaio através das normas como a ASTM D3441 (1986), tanto para o ensaio com medida de poropressões (CPTU – Cone Penetration test Undrained), como para o ensaio sem essa medida (CPT – Cone Penetration test). No Brasil, o ensaio é padronizado pela NBR 12069 (MB 3406) (ABNT).

A partir da análise da tabela 01, percebe-se que esse ensaio apresenta uma vasta quantidade de fundamentos com aplicabilidade alta- tipo (A)- como exemplo: determinação do tipo de solo, perfil geotécnico e poropressão (u) e densidade relativa (D_r), este último, variando sua aplicabilidade entre moderada a alta.

Considerando os parâmetros que apresentam aplicabilidade tipo B, moderada, tem-se, ângulo de atrito efetivo (Φ'), resistência ao cisalhamento não drenada (S_u), coeficiente de variação volumétrica (m_v), coeficiente de empuxo no repouso (K_0), módulo cisalhante a pequenas deformações (G_0) e razão de pré-adensamento (OCR).

2.2.3 Retirada de amostra indeformada tipo Shelby

As amostras indeformadas são aquelas que não apresentam distorções e alterações de volume, preservando suas características de resistência. Podendo assim ser usadas nos ensaios de laboratório para determinação das características das tensões internas e de adensamento sem que ocorram erros significativos (Tschebotarioff,1973).

A coleta de amostras de má qualidade resulta na distorção dos parâmetros geotécnicos determinados em laboratório. Buscando minimizar essa problemática, pesquisadores vêm estudando o aperfeiçoamento no processo de amostragem.

Será apresentada adiante a metodologia da amostragem utilizada nesse trabalho, atendendo aos requisitos da norma brasileira, ABNT NBR 9820/1997 – “Coleta de amostras indeformadas de solos de baixa consistência em furos de sondagem”.

2.2.3.1 Tipo e geometria dos segmentos do tubo de revestimento

Em conformidade com a norma ABNT NBR 9820/1997,

“o material empregado na confecção do tubo amostrador deve ser tenaz e resistente à corrosão, aceitando-se o latão, bronze ou aço inoxidável e a utilização de tubo sem costura ou soldado; desde que a solda não sobressaia da costura. O tubo deve apresentar as superfícies externa e

interna lisas, sem protuberâncias, rebarbas ou ranhuras e deve ser empregado limpo e livre de ferrugem e poeira”.

A norma especifica que a extremidade inferior do tubo amostrador deve ser torneada em bisel com ângulo α entre 5° “e” 10° (conforme indicado na figura 6) e indica como sendo recomendável para maior proteção desta extremidade que exista um chanfro adicional β entre 20° e 30°.

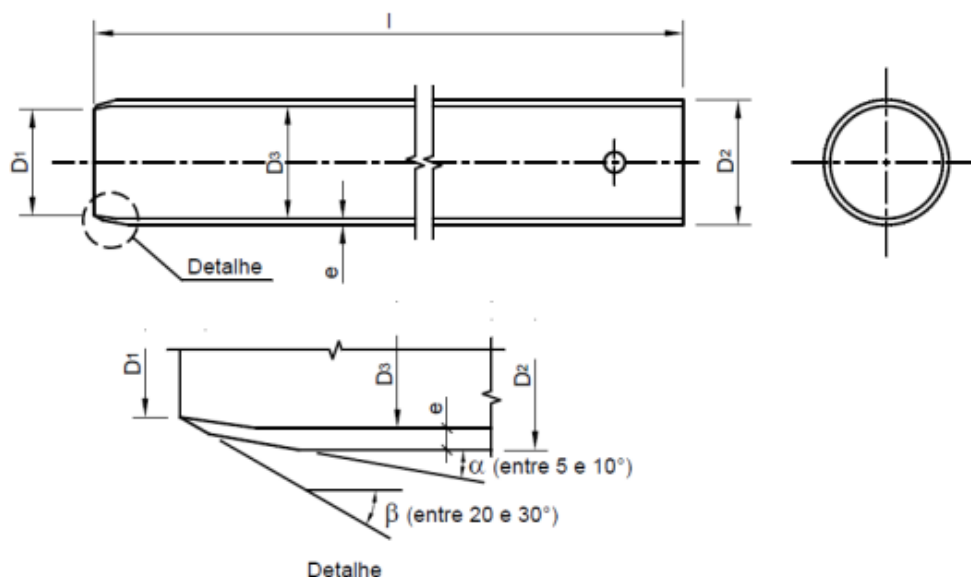


Figura 6. Detalhe do amostrador conforme especificação em norma

Fonte: ABNT-NBR 9820/1997 – “Coleta de amostras indeformadas de solos de baixa consistência em furos de sondagem – Procedimento”

2.2.3.2 Cravação da amostra

O avanço do tubo de revestimento deve ser realizado de modo que o avanço por lavagem esteja sempre adiantado em relação à cravação do tubo, sendo à distância de aproximadamente 0,5m. Próximo à profundidade de amostragem, a defasagem entre o avanço por lavagem e o tubo deve ser de 0,25m. Portanto, esta deve ser a distância entre o tubo e o fundo do furo no momento da cravação do tubo Shelby. O Esquema da figura 7 a seguir, ilustra esta metodologia.

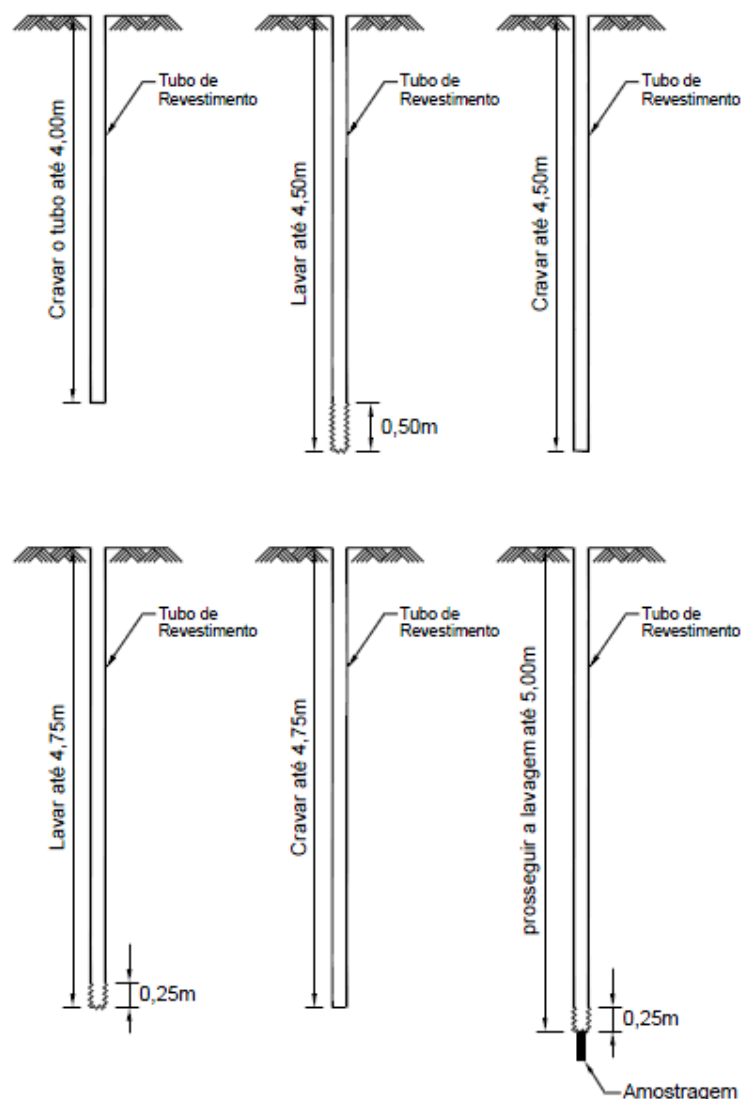


Figura 7. Esquema de avanço do tubo de revestimento e amostragem a 5,0m.

Fonte: Feijó, R. L., e Martins, I. S. M., 1993.

2.2.3.3 Quanto à água de circulação

Antes da cravação do amostrador, é importante que a lavagem seja efetuada até que a água de circulação esteja totalmente desprovida de sólidos. Caso isso não seja verificado a precipitação desses sólidos acarretará na formação de uma camada de material “falso” (grumos) que ocupará certo volume na parte superior do amostrador, diminuindo o volume da amostra “indeformada” dentro deste.

Recomenda-se o uso de lama bentonítica densa ou água com o próprio solo mole com seu nível sempre mantido no mínimo 1m acima do nível do terreno. Este

procedimento tem por objetivo manter uma tensão vertical atuando na amostra a fim de evitar sua ruptura por extensão.

2.2.3.4 Tempo de Repouso

Após a cravação do amostrador, este deverá ficar em repouso para posteriormente realizar sua retirada. A aplicação desse procedimento tem por objetivo permitir que a amostra expanda-se, e conseqüentemente, acomode-se dentro do amostrador, como exibido na figura 8 a seguir.

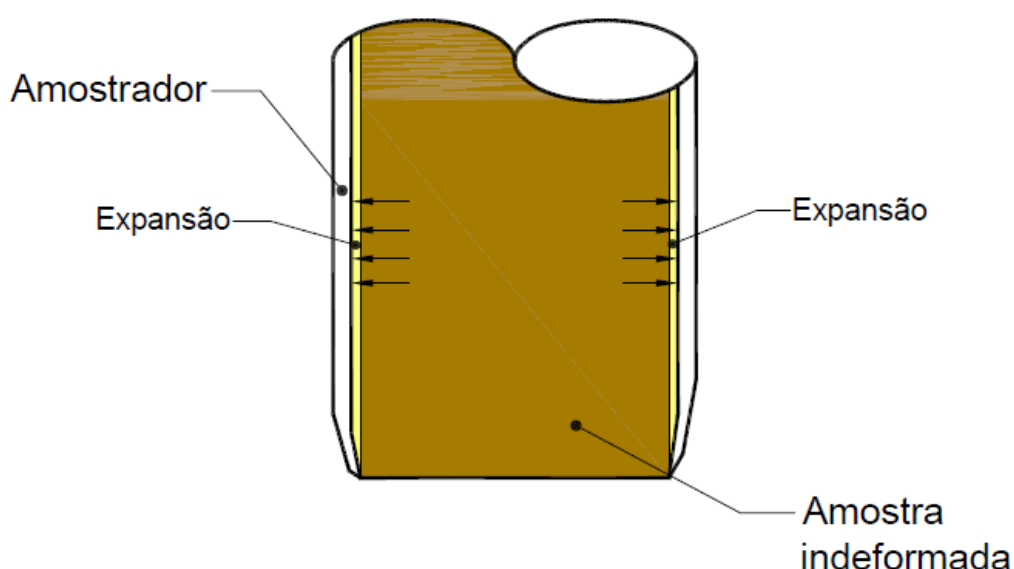


Figura 8. Acomodação da amostra dentro do amostrador.

Fonte: MECASOLO; Relatório Técnico – Documento 9, Especificações técnica para retirada de amostras indeformadas 4” , p.11, 2010.

2.2.3.5 Manipulação da amostra

A lacragem deve ser executada conforme recomendações descritas na norma NBR- 9820/1994. Entretanto, antes da aplicação da parafina, recomenda-se cobrir a superfície da amostra primeiramente com filme de pvc que ficará bem aderido à amostra e posteriormente com papel laminado. Este procedimento deve ser adotado nas duas extremidades, pois garante maior eficácia na conservação da umidade. Após a colocação do papel laminado, o lacre da extremidade biselada completa-se executando as recomendações da norma NBR-9820.

2.2.3.6 Identificação das amostras

A identificação das amostras indeformadas é um item importante da amostragem que deve ser seguida segundo as recomendações descritas na norma NBR-9820/1994.

2.2.3.7 Transporte

Seguir recomendações descritas na norma NBR-9820/1994. Durante o transporte, as caixas de madeira devem ser mantidas sempre na mesma posição com tubos amostradores na vertical com bico voltado para baixo.

2.3 ENSAIOS DE LABORATÓRIO

2.3.1 Ensaio de Caracterização

O ensaio de caracterização compreende análise granulométrica por peneiramento e sedimentação, determinação de umidade natural (h_{nat}), limites de liquidez (LL) e plasticidade (LP), densidade dos grãos (G_s) e teor de matéria orgânica.

O ensaio de análise granulométrica por peneiramento e sedimentação é regulado pela norma ABNT NBR 7181/1984 – *“Solo – Análise Granulométrica – Método de Ensaio”*.

Para a determinação do limite de liquidez (LL), o ensaio é regido pela norma ABNT NBR 6459/1984 – *“Solo – Determinação do Limite de Liquidez – Método de ensaio”*. Já quanto ao ensaio de limite de plasticidade (LP), as diretrizes foram seguidas de acordo com a ABNT NBR 7180/1984 – *“Solo – Determinação do Limite de Plasticidade – Método de ensaio”*.

O exame de densidade dos grãos (G_s) foi executado seguindo o que estabelece a norma ABNT NBR 6508/1984 – *“Grãos de solos que passam na peneira de 4,8mm – Determinação da massa específica – Método de ensaio”*. Já o ensaio de determinação do teor de matéria orgânica, seguiu a norma ABNT NBR

13600/1996 – “Solo – Determinação do teor de matéria orgânica por queima a 440°C – Método de ensaio”.

2.3.2 Ensaio de adensamento

O ensaio de adensamento unidimensional tem por objetivo determinar parâmetros de compressibilidade de solos saturados, tais como c_v (coeficiente de adensamento vertical), C_c (índice de compressão), C_r (índice de recompressão) e σ'_{vm} (tensão de sobreadensamento).

O ensaio consiste na aplicação de uma sequência de carregamentos e/ou descarregamentos com a aferição dos deslocamentos verticais da amostra até que os excessos de poro pressão tenham sido dissipados. Em geral, as cargas são aplicadas em estágios, dobrando-se o valor da carga a cada estágio.

A seguir serão descritas as especificações técnicas seguidas neste trabalho.

2.3.2.1 Moldagem dos Corpos de prova

O manuseio das mostras de solos moles requer cuidados para não ocorrer perturbação e consequentemente distorções nos parâmetros a serem determinados.

A especificação técnica seguida nesse trabalho recomenda que para a moldagem dos corpos de provas, sejam seguidos os trabalhos de Ladd e Degroot (2003) (LADD, C.C., & DEGROOT, D.J., 2003, “Recommended Practice for Soft Ground Site Characterization”, Arthur Casagrande Lecture, 12th Panamerican Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering), com o intuito de eliminar os efeitos de amolgamento decorrentes da extrusão da amostra do tubo amostrador.

Para a moldagem dos corpos de prova, o tubo amostrador deve ser posicionado horizontalmente sobre rodízios fixados a uma prancha de madeira que, por sua vez, deverá ficar sobre uma bancada rígida, conforme apresentado na figura



Figura 9. Cortando um trecho do bico do amostrador/amostra.

Fonte: COPPE/UFRJ; Relatório Técnico resultados dos ensaio do Cluster Naval – PE.

Em seguida, deverá ser retirado o segmento de tubo PVC fixado à extremidade biselada inferior do tubo amostrador e o lacre desta extremidade- com extremo cuidado-também deverá ser retirado para que tanto o segmento de tubo de PVC quanto o lacre possam ser reaproveitados para lacragem da extremidade do amostrador no final da moldagem dos corpos de prova. Posteriormente, deverá ser medida e registrada a distância (folga) entre esta extremidade do amostrador e a base da amostra no interior do tubo.

Após esse procedimento, deve-se cortar o amostrador com o comprimento desejado para o ensaio de adensamento, desprezando os 10 centímetros iniciais da amostra para ensaio que requerem amostras indeformadas, pois este material é considerado impróprio para moldagem de corpos de prova de adensamento, porém poderá ser ensacado para ser utilizado nos ensaios de caracterização caso haja necessidade. A parede fina do tubo amostrador deverá ser cortada com uma serra (com extremo cuidado) de modo a não atingir a amostra. Após a eliminação dos primeiros 10 centímetros da amostra, deverão ser cortados da mesma forma os demais seguimentos, conforme se ilustra na figura 10.

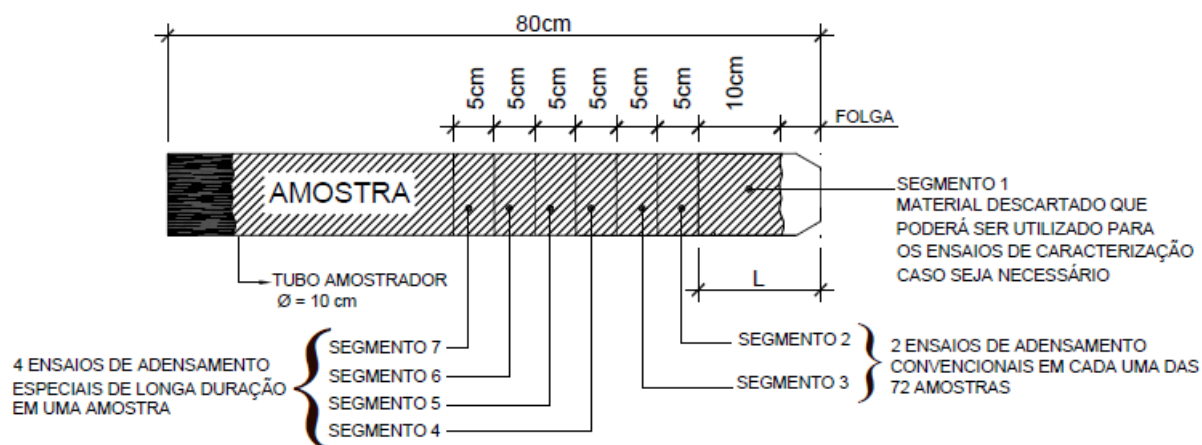


Figura 10. Esquema de corte do amostrador.

Fonte: MECASOLO; Relatório Técnico – Documento 11, Especificações técnica para execução dos ensaios de laboratório, p.50, 2010.

É importante que após o corte a amostra seja imediatamente protegida com filme de PVC e lacrada com o mesmo lacre retirado inicialmente, sendo mantida na câmara úmida até a realização do ensaio.

Para a moldagem do corpo de prova recomenda-se, inicialmente, passar quatro vezes o fio de aço ao longo de sua geratriz, a fim de promover o desprendimento da superfície lateral da amostra à superfície lateral interna do tubo amostrador, conforme apresentado na figura 11.



Figura 11. Introdução do fio de aço junto a interface solo-tubo amostrador.

Fonte: MECASOLO; Relatório Técnico – Documento 11, Especificações técnica para execução dos ensaios de laboratório, p.11, 2010.

O corpo de prova deverá ser moldado em um anel metálico rígido de aproximadamente 2cm de altura e 7cm de diâmetro com uma de suas extremidades biselada atendendo as especificações da norma ABNT NBR 12007/1990 – “Solo – Ensaio de adensamento unidimensional”.

A seguir serão listados alguns cuidados que deverão ser tomados durante esse processo, figura 12:

- O anel metálico deverá ter sua superfície interna untada com graxa de silicone a fim de diminuir o atrito entre a amostra e o anel durante a cravação deste na amostra e durante o ensaio de adensamento;
- O anel deverá ser cravado estaticamente de cima para baixo a partir do topo do segmento da amostra por meio de um anel metálico de apoio e uma chapa de acrílico;
- O anel metálico deverá ser cravado com a sua extremidade biselada voltada para baixo a fim de facilitar a sua penetração na amostra minimizando os efeitos de perturbação da amostra provocados pela cravação;
- O corpo de prova deverá ser posicionado de modo que a extremidade biselada do anel metálico fique voltada para cima, a fim de manter o sentido das tensões cisalhantes impostas à superfície lateral da amostra durante o ensaio de adensamento.



Figura 12. Anel metálico posicionado sobre a amostra para ser cravado.

Fonte: MECASOLO; Relatório Técnico – Documento 11, Especificações técnica para execução dos ensaios de laboratório, p.12, 2010.

2.4 TEORIA DO ADENSAMENTO

A teoria do adensamento desenvolvida por Terzaghi e Frolich (1936) foi um marco na análise do comportamento de solos compressíveis submetidos a carregamentos verticais, propõem uma relação entre os valores de tensão efetiva e índice de vazios, de forma que estas grandezas físicas, além da deformação e pressão neutra, possam ser conhecidas em qualquer momento do processo de adensamento em qualquer posição de camada.

Essas condições ocorrem no campo quando se faz um carregamento uniforme numa área muito grande, por exemplo, um aterro de grande largura. Quanto menor a relação entre a largura da área carregada e a espessura da camada compressível mais afastado estar-se-á das condições estudadas pela teoria clássica.

Terzaghi e Frolich (1936) admitiram as seguintes hipóteses simplificadoras para a dedução da equação do adensamento:

- I. O solo é totalmente saturado
- II. A compressão é unidimensional
- III. O fluxo da água é unidimensional
- IV. O solo é homogêneo
- V. As partículas sólidas e a água são tidas como incompressíveis
- VI. O solo pode ser estudado como elementos infinitesimais
- VII. O fluxo é governado pela Lei de Darcy
- VIII. As propriedades do solo não variam no processo de adensamento
- IX. O índice de vazios varia linearmente com o aumento da tensão efetiva durante o adensamento

Baseando nas hipóteses descritas acima a equação fundamental do adensamento desenvolvida pelos autores, foi apresentada como:

$$\frac{k_v \cdot (1+e)}{a_v \cdot \gamma_w} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{\partial u_e}{\partial t} \quad (4)$$

Onde: u_e = excesso de poropressão no tempo t ; t = tempo; K_v = coeficiente de permeabilidade vertical; e = índice de vazios; a_v = coeficiente de compressibilidade; γ_w =

peso específico da água; z = distância vertical entre um ponto e a superfície e a superfície de aplicação do carregamento.

A equação (4) interfere diretamente no tempo para que ocorra o processo de transferência de tensões entre a água (poropressão) e o esqueleto sólido (tensão efetiva) e reflete as características do solo (permeabilidade e compressibilidade). A adoção de um coeficiente como uma constante do solo constitui a hipótese (5).

$$C_v = \frac{K_v(1+e)}{\gamma_w a_v} = \frac{K_v}{\gamma_w m_v} \quad (5)$$

Onde: K_v = coeficiente de permeabilidade vertical; γ_w = peso específico da água; e = índice de vazios; m_v = coeficiente de compressibilidade volumétrica; a_v = coeficiente de compressibilidade ($a_v = -\Delta e / \Delta \sigma'_v$); Δe = variação de índice de vazios.

A equação do adensamento unidimensional é uma equação diferencial linear parcial de segunda ordem, de coeficientes constantes, cujas variáveis independentes são z (variável espacial - profundidade) e t (tempo). Trata-se de um problema de valor inicial e de valores de contorno.

Considera-se o valor inicial e os valores de contorno do problema como:

1. $t = 0$; $u = u_0$, para $0 \leq z \leq H$
2. $z = 0$; $u = 0$, para qualquer $t > 0$
3. para $z = H$; $\frac{\partial u}{\partial z} = 0$, para qualquer $t > 0$

Estabelecidos os valores de contorno e o valor inicial, chega-se à seguinte solução para o problema,

$$u(z, t) = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{2u_0}{M} \left(\sin \frac{Mz}{H} \right) e^{(-M^2 T_v)} \quad (6)$$

Onde:

$$M = \frac{1}{2} \pi (2m + 1) \quad (7)$$

$$T = \frac{C_v t}{H d^2} \quad (8)$$

Em termos de grau de adensamento (U_z), tem-se que:

$$U_z(z, t) = 1 - \sum_{m=0}^{\infty} \frac{2}{M} \operatorname{sen} \left(\frac{Mz}{H} \right) e^{(-M^2 T_v)} \quad (9)$$

Que permite, através da substituição de diversos pares de valores (z, t) a construção das isócronas de porcentagem de adensamento, conforme mostrado na figura 13. Estas isócronas fornecem uma visualização de como se desenvolve o processo do adensamento ao longo de toda a camada compressível.

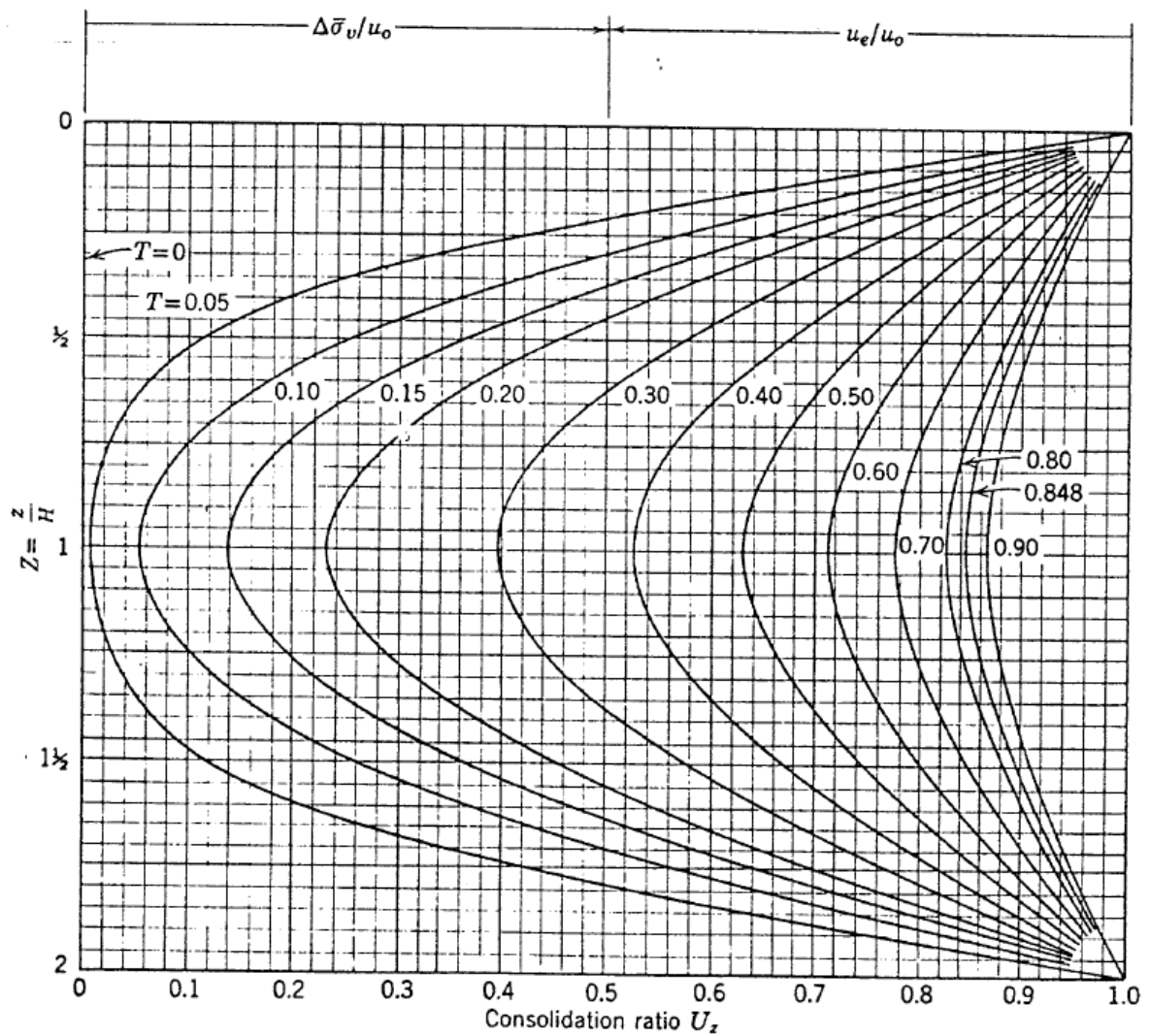


Figura 13. Isócronas de Porcentagem de Adensamento.

Fonte: Lambe; Whitman, Soil Mechanics, Massachusetts Institute of Technology, p.408,1969.

2.5 ANÁLISE DA QUALIDADE DO CORPO DE PROVA

A obtenção de amostra de qualidade tem sido uma temática bastante abordada no meio geotécnico, pois é de fundamental importância na confiabilidade dos valores dos parâmetros obtidos a partir de ensaios de laboratório.

Esforços estão sendo feitos através de pesquisas para entender, quantificar e se possível corrigir o efeito da perturbação nas argilas (Coutinho 1976, Ferreira 1982, Ferreira & Coutinho 1988, Coutinho et al. 1998c).

No Brasil, o estudo de qualidade de corpos de prova argilosas teve início no Projeto IPR através dos estudos de Coutinho (1976). Outros estudos se sucederam como os de Coutinho (1980), Ferreira (1982), Martins (1983), Martins E Lacerda (1994), Futai (2010), Martins e Louvise (2015).

Segundo Lunne et al. (1997). O NGI – Norwegian Geotechnical Institute utiliza desde muito tempo a deformação volumétrica (ε_{v0}) correspondente às tensões geostáticas no campo (σ'_{v0}) com indicador de amolgamento e consequentemente da qualidade do corpo de prova (Andresen & Kolstad, 1979).

LUNNE et al. (1997) sugerem a utilização de $\Delta e/e_0$, ao invés de ε_{v0} para classificar amostras de argila, onde $\Delta e = e_0 - e_{v0}$. Os autores consideram e_0 o índice de vazio inicial da amostra e e_{v0} o índice de vazio correspondente à tensão efetiva de campo. Estes autores justificam que uma variação no volume de vazios (Δe) é mais prejudicial à estrutura do solo quanto menor for o índice de vazio inicial (e_0), sendo então sugerido usar $\Delta e/e_0$.

Baseado na experiência do NGI, os autores propuseram um critério de avaliação de amolgamento conforme apresentado na tabela 2.

Tabela 2. Critério de classificação da qualidade do corpo de prova (Lunne et al. 1997)

OCR	$\Delta e/e_0$			
	Vary good to excellent	Good to Fair	Poor	Vary poor
1 – 2	<0,04	0,04 – 0,07	0,07 – 0,14	>0,14
2 – 4	<0,03	0,03 – 0,05	0,05 – 0,10	>0,10

COUTINHO et al. (1998) e OLIVEIRA (2002) / COUTINHO (2007) considerando a proposta de LUNNE et al (1997) muito rigorosa para as argilas plásticas brasileiras, propôs uma adaptação do critério, conforme apresentado na tabela 3.

Tabela 3. Critério de classificação da qualidade do corpo de prova– Argilas moles de Recife (COUTINHO et al. 1998c, Oliveira 2002), Coutinho 2007.

OCR	$\Delta e/e_0$			
	Vary good to excellent	Good to Fair	Poor	Vary poor
1 – 2,5	<0,05	0,05 – 0,08	0,08 – 0,14	>0,14

2.5.1 Correção da Curva de Compressibilidade

2.5.1.1 Proposta de SCHMERTMANN (1955)

Diante da dificuldade de obter parâmetros geotécnicos confiáveis nas amostragens de má qualidade, Schmertmann propôs em 1955 um procedimento para correção da curva de compressibilidade (figura 14) tornando-se mais próxima de uma amostra indeformada.

O procedimento segue as seguintes etapas:

1. A partir do índice de vazio inicial (e_0), traçar uma reta horizontal até atingir a tensão vertical efetiva de campo (σ'_{v0});
2. Traçar uma paralela ao trecho de descarregamento do ensaio passando pelo ponto (e_0, σ'_{v0});
3. Adotar um valor da tensão de pré-adensamento (σ'_{vm}) igual ou superior ao obtido no ensaio e marcar este valor na reta paralela da etapa 2;
4. Traçar uma linha reta a partir do ponto marcado na etapa 3 até o ponto da curva ou seu prolongamento correspondente ao índice de vazios igual à $0,42 e_0$.
5. Calcular as diferenças entre os índices de vazios da curva experimental e corrigida, plotando os valores em função do $\log \sigma'_v$. Se o valor da tensão de pré-adensamento estiver correto, o gráfico da diferença será simétrico em

relação à σ'_{vm} , caso contrário, adotar outro valor para σ'_{vm} e repetir as etapas 3 a 5.

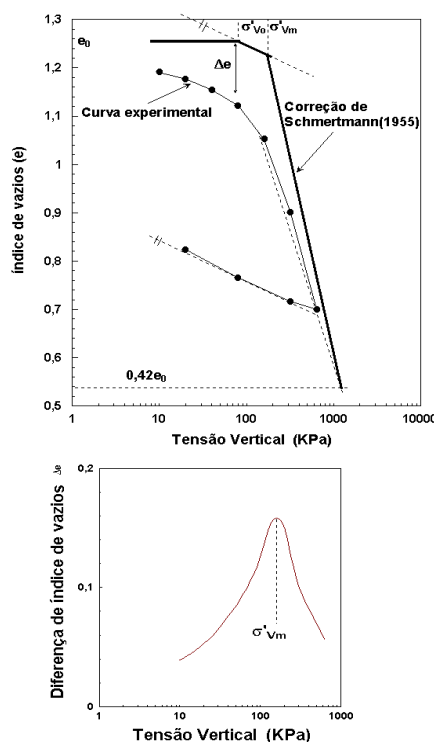


Figura 14. Procedimento esquemático para correção de SCHMERTMANN(1955)

Fonte: OLIVEIRA, A Influência da qualidade da Amostra no comportamento tensão-deformação-resistência de Argilas Moles COPPE/UFRJ, 2002.

2.5.1.2 Proposta de Oliveira (2002)

Oliveira desenvolveu uma metodologia para correção da curva de compressibilidade e tensão de pré-adensamento em parceria com o GEGEP (Grupo de Engenharia Geotécnica de Encosta e Planícies/UFPE) e a COPPE- UFRJ. O autor propõe a utilização de procedimento operacionalmente mais simples e com base na utilização de banco de dados regionais.

Oliveira desenvolveu o ábaco, apresentado na figura 15, no qual são apresentadas curvas correlacionadas à razão entre o índice de vazios final/índice de vazios inicial (e_f/e_0) versus o índice de vazios inicial (e_0), para cada uma das tensões normalmente utilizadas em laboratório (5,10,20,40,80,160,320,640 e 1280 kPa).

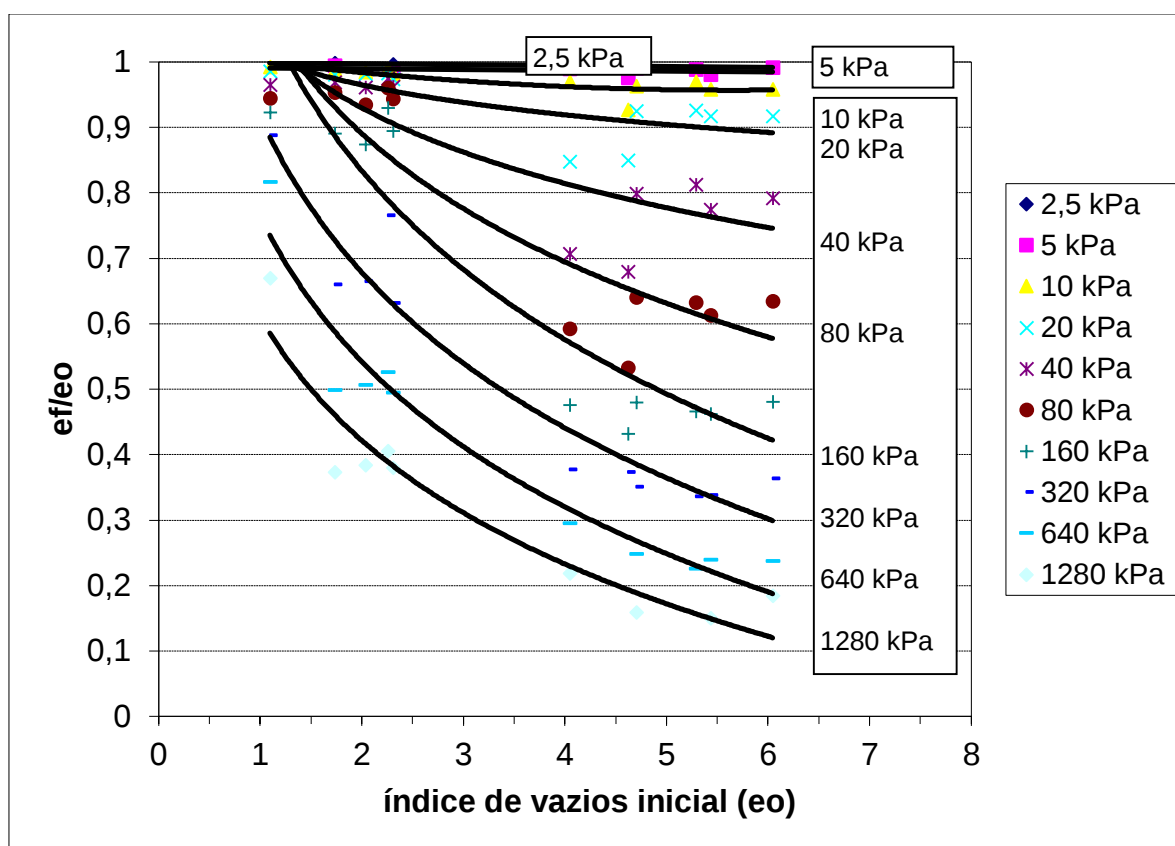


Figura 15. Ábaco índice de vazio inicial (e_0) versus (e_f/e_0) proposto por Oliveira (2002).

Fonte: OLIVEIRA, A Influência da qualidade da Amostra no comportamento tensão-deformação-resistência de Argilas Moles COPPE/UFRJ, 2002.

2.5.1.3 Coutinho (2007)

Coutinho (2007) apresentou em sua proposta correlações entre a razão de compressão (CR) e OCR em função da deformação volumétrica (ε_{v0}) para o depósito do SESI-Ibura. Verificou-se que os valores de CR e OCR diminuem fortemente quando ε_{v0} aumenta e que existe um limite mínimo para valores de CR (20%) e para os valores de OCR (0,25), nos quais as amostras estão quase totalmente amolgadas. Este tipo de correlação pode ser útil para uma correção aproximada dos valores de CR e OCR (ou σ'_{vm}), quando for considerada a qualidade de amostras em projetos práticos, ou seja, estas de má qualidade, podem ser corrigidas segundo a equiparação proposta e utilizada para os cálculos de projetos. O autor ressalta ainda sobre a interpretação dos parâmetros por camada, sendo elaborada para cada camada estudada uma correspondência.

A figura 16 apresenta as curvas de CR e OCR vs ε_{v0} propostas por Coutinho para o SESI-Ibura, Recife –PE.

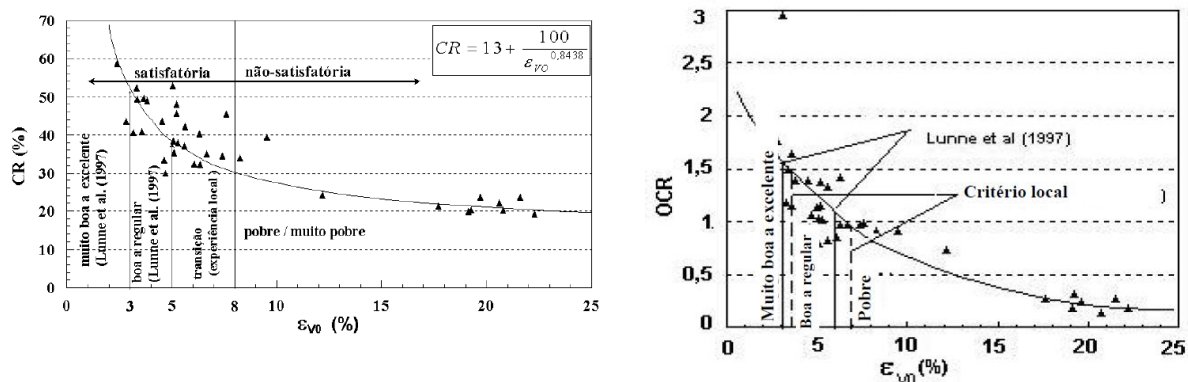


Figura 16. Curvas de OCR vs ε_{v0} e CR vs ε_{v0} para os depósitos do SESI-Ibura, Recife-PE (Coutinho et al, 1998)

Fonte: OLIVEIRA, A influência da qualidade da Amostra no comportamento tensão-deformação-resistência de Argilas Moles COPPE/UFRJ, 2002 e BELLO, Parâmetros geotécnicos e Banco de dados de argila moles: o caso de Suape, 2011.

CAPÍTULO 3

DESCRIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

Neste capítulo inicialmente será apresentada a localização da área em estudo e o entendimento do projeto. Posteriormente, serão abordadas as características geológicas e geotécnicas da região. Para tal, foi apresentada a carta geotécnica e de suscetibilidade a processos geológicos do município de Ipojuca/Pernambuco. Para um aprofundamento do conhecimento da área buscou-se um estudo geotécnico realizado próximo à área de interesse, a exemplo, o acesso à ilha de Tatuoca, realizado pelo grupo de Engenharia Geotécnica de Encosta e Planícies (GEGEP) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Coutinho (2006) e SOILS and ROCKS, Coutinho & Bello (2014).

Também será apresentado um resumo do primeiro trabalho fruto da campanha de investigação geotécnica do Cluster Naval desenvolvido por Victor.D.F.(2013).

3.1 INTRODUÇÃO

O Complexo Industrial Portuário de Suape (CIPS) situa-se no município de Ipojuca (figura 17) que ocupa uma área territorial de 527,107 km². Sendo quase 100% constituído pela zona rural, localizado na região metropolitana, com uma distância de 49 km de Recife, capital pernambucana.

O caso em estudo trata-se da obra denominada Cluster Naval, que está localizada no CIPS. Buscando consolidar um pólo Naval em Pernambuco e retomar o crescimento da construção naval no Brasil, o Complexo iniciou o investimento naval com a operação do Estaleiro Atlântico Sul e a instalação do Estaleiro CMO. Projetando também um conjunto de empreendimentos concentrando as atividades da indústria naval numa mesma área denominada Cluster Naval de SUAPE.

Para viabilizar a consolidação e implantação desses empreendimentos, faz-se necessária a abertura de canais de navegação e a execução de aterros para implantação de retro-áreas, de modo a não conflitar com as instalações operacionais do porto.

A área destinada para a implantação do Cluster Naval (figura 18) apresenta um subsolo que varia desde o solo residual resistente aflorante - como encontrado na ilha de Tatuoca- até aluviões de solo muito mole de mangue, distribuída em sua maior área.

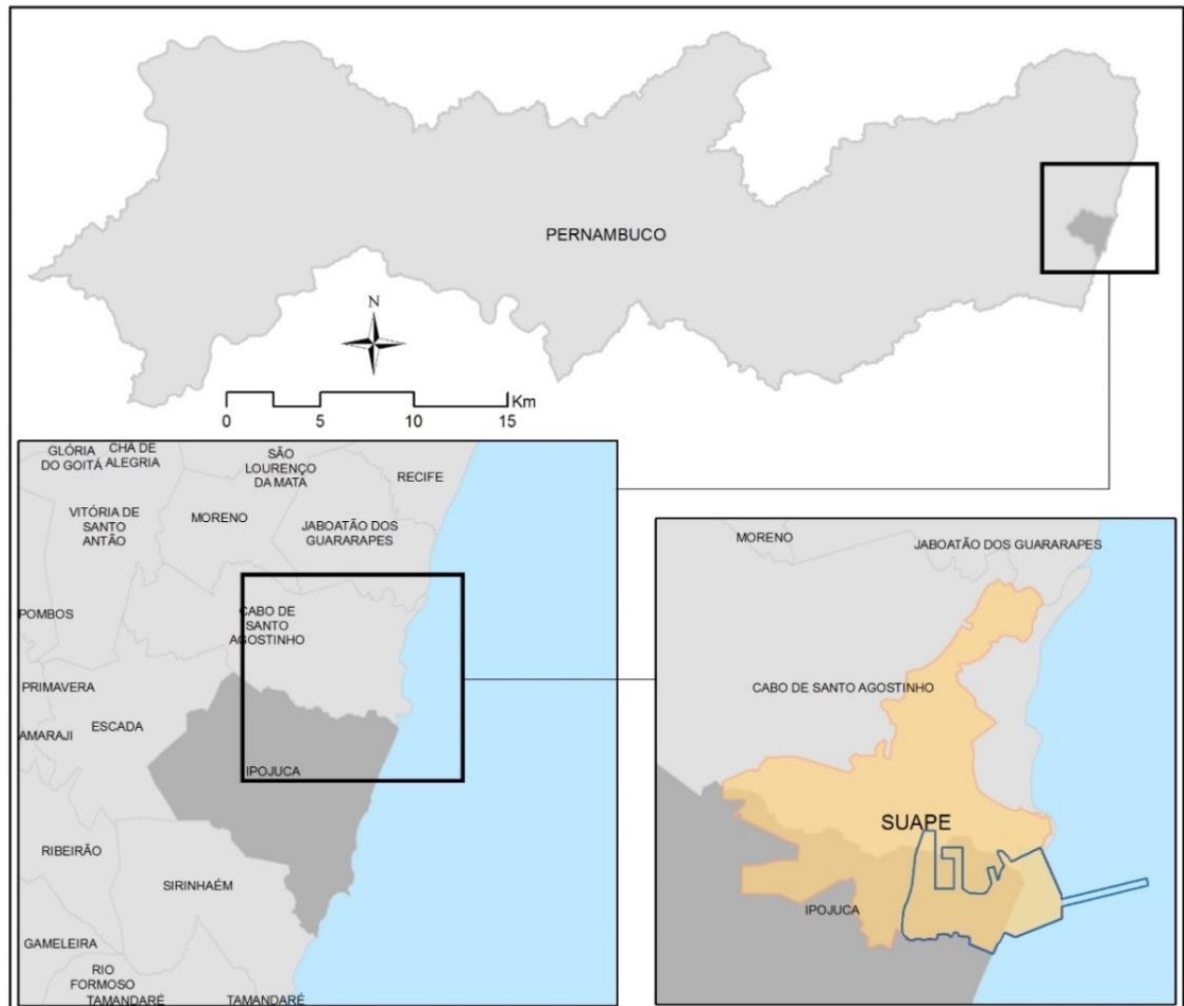


Figura 17. Localização do empreendimento

qualidades exigidos nas normas brasileiras e orientações dos consultores envolvidos no estudo.

Diante da identificação dos riscos, deverão ser tomadas medidas para elidi-los. São considerados riscos aqueles que possam vir a afetar cada um dos empreendedores por conta de possíveis rupturas ou recalques, ou deslocamentos horizontais danosos às estruturas próprias de cada um, como também, os riscos de instabilização dos taludes do canal de dragagem e riscos de conflitos entre empreendedores vizinhos por conta de soluções de tratamento de fundação que possam prejudicar as instalações existentes e/ou futuras das áreas adjacentes.

3.2 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS E GEOTÉCNICAS DA REGIÃO

3.2.1 Geologia

No município de Ipojuca, encontram-se quatro unidades geológicas: Complexo Gnáissico-Migmatíticos, os Granitoides, o Grupo Pernambucano e as Coberturas Quaternárias, sendo esta última unidade, encontrada na área em estudo. Segue uma descrição retirada da Carta Geotécnica e de Suscetibilidade a processos geológicos do município de Ipojuca/Pernambuco, volume 2.

“As Coberturas Quaternárias estão constituídas por sedimentos inconsolidados, de idade quaternária (± 120.000 anos até hoje), formando os Depósitos Aluvionares, Sedimentos de Praia, Sedimentos Flúvio-Lagunares, Depósitos de Mangues, Terraços Litorâneos Holocênicos e Terraços Litorâneos Pleistocênicos.

Os Depósitos Aluvionares possuem uma constituição basicamente arenosa, com intercalações de silte e argila, podendo atingir até 10m de espessura (planície de inundação do rio Ipojuca).

Os Sedimentos de Praia estão compostos por areias quartzosas de cor branca que acompanham o litoral do município.

Os Sedimentos Flúvio-Lagunares são compostos por areias finas, siltes, argilas e sedimentos turfáceos que formam as áreas mais baixas (cotas até 2m).

Mais próximos do mar encontram-se os Depósitos de Mangues, constituído predominantemente por argilas orgânicas, siltes, areias finas e restos orgânicos formando áreas baixas, periodicamente inundáveis, situadas principalmente ao longo dos trechos inferiores dos rios que sofrem a influência direta do mar e estão cobertas por uma vegetação característica que se assenta em um substrato de sedimentos finos, ricos em matéria orgânica.

Os terraços litorâneos são formados por sedimentos inconsolidados, arenosos, com granulometria variando, principalmente, de fina a média, com matéria orgânica no topo da camada e óxido de ferro abaixo de 3m de profundidade. Os Terraços Pleistocênicos encontram-se em cotas que variam de 2m a 10m, enquanto os Terraços Holocênicos variam entre as cotas de 1m e 5m (Martins, 1991)”

3.2.2 Geotecnia

Na análise geotécnica, o município de Ipojuca pode ser dividido ao menos em duas áreas distintas: Bacia do Cabo e Terrenos Cristalinos. O Complexo Industrial de Suape está localizado na unidade denominada Bacia do Cabo. Segue uma descrição retirada da Carta Geotécnica e de Suscetibilidade a processos geológicos do município de Ipojuca/Pernambuco, volume 2.

“Seis tipos litológicos distintos são encontrados na área: conglomerados, calcários, rochas vulcânicas, arenitos, argilitos e sedimentos inconsolidados (englobam areias, argilas, siltes, cascalhos e turfas). As formas de relevo esculpidas nessas litologias estão representadas por morros, planícies (inundáveis em vários pontos), terraços marinhos e praias.

As características geotécnicas de cada uma dessas litologias foram melhor estudadas na área do Complexo Industrial e Portuário de Suape. Os resultados desses estudos foram muito úteis para a compreensão das características geotécnicas dos materiais existentes no restante da região.

Os conglomerados possuem grande coesão e são bastante estáveis para cortes verticais.

Características similares possuem os arenitos; entretanto, em virtude da sua grande variação granulométrica e composicional, podem apresentar um comportamento geotécnico diferenciado a nível local. Os argilitos exibem boas características de coesão e suporte. Entretanto, em vários locais, ensaios SPT (Standard Penetration Test) destinados a medir a capacidade de suporte do solo, apresentaram valores muito baixos, da ordem de 2/30.

As rochas vulcânicas apresentam-se principalmente na forma de derrames, sills e diques que cortam as litologias sedimentares, encontrando-se bastante alteradas na maioria dos casos, originando materiais argilosos, de cor vermelha, com boa estabilidade no caso de cortes em talude. Todavia, os leitos das estradas construídos sobre estes materiais tornam-se imensos atoleiros nas épocas de chuva. Quando estas rochas afloram na forma de morros, encontram-se pouco alteradas, maciças, com elevada resistência, com a presença de disjunções colunares e pouco fraturadas. As litologias desta unidade apresentam relevo ondulado com morros e colinas cujas altitudes são inferiores a 100m; quando intemperizadas, dão origem a solos do tipo terra roxa.

Os calcários mostram-se pouco alterados, maciços, pouco fraturados, bastante coerentes, isotrópicos e resistentes; ocorrendo na forma de dois afloramentos, e caracterizados por duas colinas de altitudes em torno de 40m.

Os sedimentos inconsolidados, que formam as áreas planas do município, mesclam-se de áreas com boa capacidade de suporte, caracterizadas pelos terraços litorâneos, planícies aluviais, praias e planície flúvio-lagunar, compostas por camadas de areias, cascalhos e algumas argilas, com áreas de baixa capacidade de suporte (camadas de turfas, areias fofas e argilas orgânicas), representadas pelas áreas de manguezais e alguns trechos da planície flúviolagunar.

As camadas de argila mole estão presentes em grande parte da área baixa e plana do município, com espessuras de até 33m e SPT 1/70. Junto a essas argilas, também ocorrem camadas de areia fofa com espessuras que podem chegar a 13m e SPT 1/60, além de camadas de turfa com espessuras de até 4m e SPT 1/70.

Na área do Complexo Industrial e Portuário de Suape, o topo rochoso, obtido através de sondagens mistas, varia entre 3,90m 120m. Todavia, esse limite atinge maiores profundidades em áreas mais ao sul do referido complexo industrial.”

A figura 19 apresenta parte da carta geotécnica e de Suscetibilidade a Processos Geológicos do Município de Ipojuca – PE, com foco na área em estudo.

Na mesma referência são apresentadas as características de cada uma das sete unidades geotécnicas e de suscetibilidade a processos geológicos da Bacia do Cabo (I a VII), onde se localiza o Complexo Industrial Portuário de Suape.

“I - Áreas com substrato formado por sedimentos de mangues (areias finas, siltes, argilas e matéria orgânica), presença de camadas de argila orgânica com baixa capacidade de carga, declividade < 2%, periodicamente inundáveis. Tratam-se de áreas de preservação.

II - Área formada por sedimentos recentes (areias, argilas e siltes), de origem flúvio-lagunar, com camadas de argila com baixa capacidade de carga e depósitos de turfas, declividade < 2%, nível freático raso e sujeita a inundações. Área com possível uso para agricultura.

III - Área formada por sedimentos aluviais (areias, siltes, argilas e cascalhos), substrato com razoável capacidade de carga, nível freático raso, declividade < 2%, pouco sujeita a inundação. Área com uso possível para agricultura e ocupação urbana planejada.

IV- Área formada por sedimentos marinhos (areias), boa capacidade de carga, nível freático raso (em torno de 3m), declividade < 2% e remotas possibilidades de inundação. Área sugerida para ocupação urbana.

V - Áreas com depósitos de tálus ou colúvio, declividade entre 2% e 5%, sujeita a processos de erosão e instabilidade. Tratam-se de áreas de preservação.

VI - Área com substrato arenoso/areno-argiloso, nível freático em torno de 5m, boa capacidade de carga, declividade em torno de 5% a 10%, suscetível a erosão. Área com possível uso agrícola planejado.

VII - Áreas com substrato predominantemente argiloso (origem vulcânica), boa capacidade de carga e declividade entre 10% e 20%. Área com possível uso agrícola planejado.”

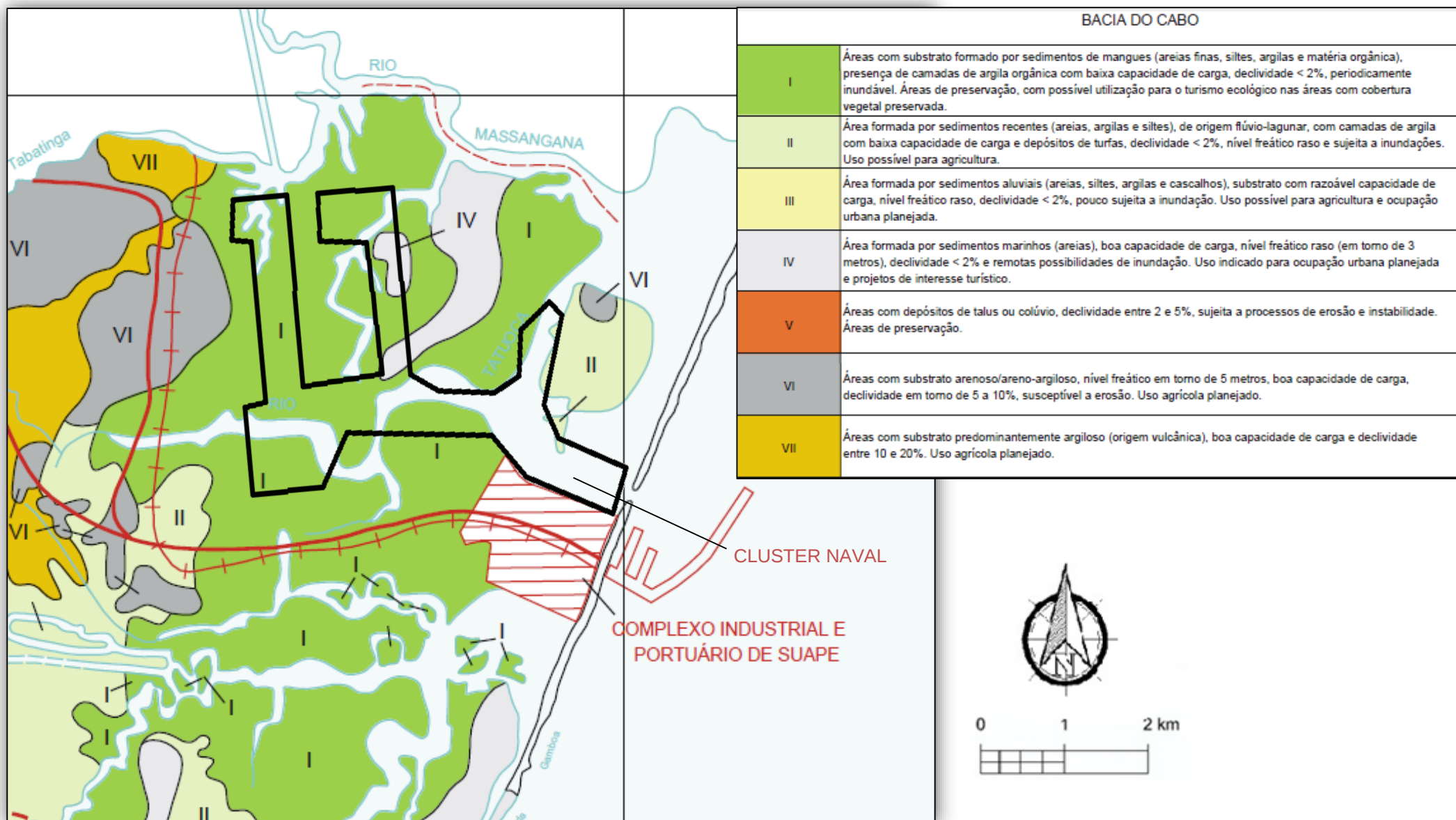


Figura 19. Carta Geotécnica e de Suscetibilidade a Processos Geológicos da Obra em estudo

Fonte: Adaptado da Carta Geotécnica e de Suscetibilidade a processos geológicos do município de Ipojuca/Pernambuco, CPRM, FIDEM, vol.2,1999.

3.3 ESTUDOS GEOTÉCNICOS PRÓXIMO DA ÁREA DE INTERESSE

3.3.1 Acesso à Ilha de Tatuoca

O Complexo Industrial Portuário de Suape por ser um dos territórios com maior desenvolvimento nos últimos anos na região, vem sendo bastante estudado pela comunidade geotécnica, uma vez que nele se encontram grandes obras de engenharia e por apresentar um subsolo geotecnicamente problemático, com ocorrência de solos moles e solos expansivos.

Para um conhecimento prévio da área em estudo, foi realizada uma pesquisa em artigos, em anais de congressos, em dissertações de mestrado; em teses de doutorado desenvolvidas nas universidades de Pernambuco e em dados de investigações geotécnicas realizadas por alguns projetos na área de Suape que se encontram disponíveis.

Além do CPRM-Serviço Geológico do Brasil e do FIDEM, já mencionado anteriormente, e das sondagens à percussão realizadas no acesso à Ilha de Tatuoca, outro trabalho relevante utilizado foi à investigação geotécnica de campo e laboratório realizada pela Universidade Federal de Pernambuco em 2006. No projeto do NOVO ACESSO ESTALEIRO – COMPLEXO INDUSTRIAL PORTUÁRIO DE SUAPE- deu origem a seis relatórios técnicos intitulados de “*Relatório técnico Prospecção Geotécnica – Acesso à Ilha de Tatuoca – SUAPE – Ipojuca/PE –...*” (Coutinho, 2006). O primeiro relatório apresenta os resultados da campanha de amostragem indeformada, onde foram extraídas 30 amostras. O segundo aborda os ensaios de palheta de campo (Vane Test), na qual foram realizados seis verticais, totalizando 70 ensaios. Os relatórios 3 e 4 apresentam os resultados dos ensaios de laboratórios com caracterização física, ensaios de adensamento edométrico e ensaio de Resistência ao cisalhamento não-drenada; no relatório 5 foram apresentados os ensaios de Piezocone Sísmico, e por fim, o relatório 6 abordou o ensaio de laboratório Triaxial CIUC.

Na figura 20, pode-se observar a localização desses ensaios, que se encontram próximos a área tema desta dissertação.

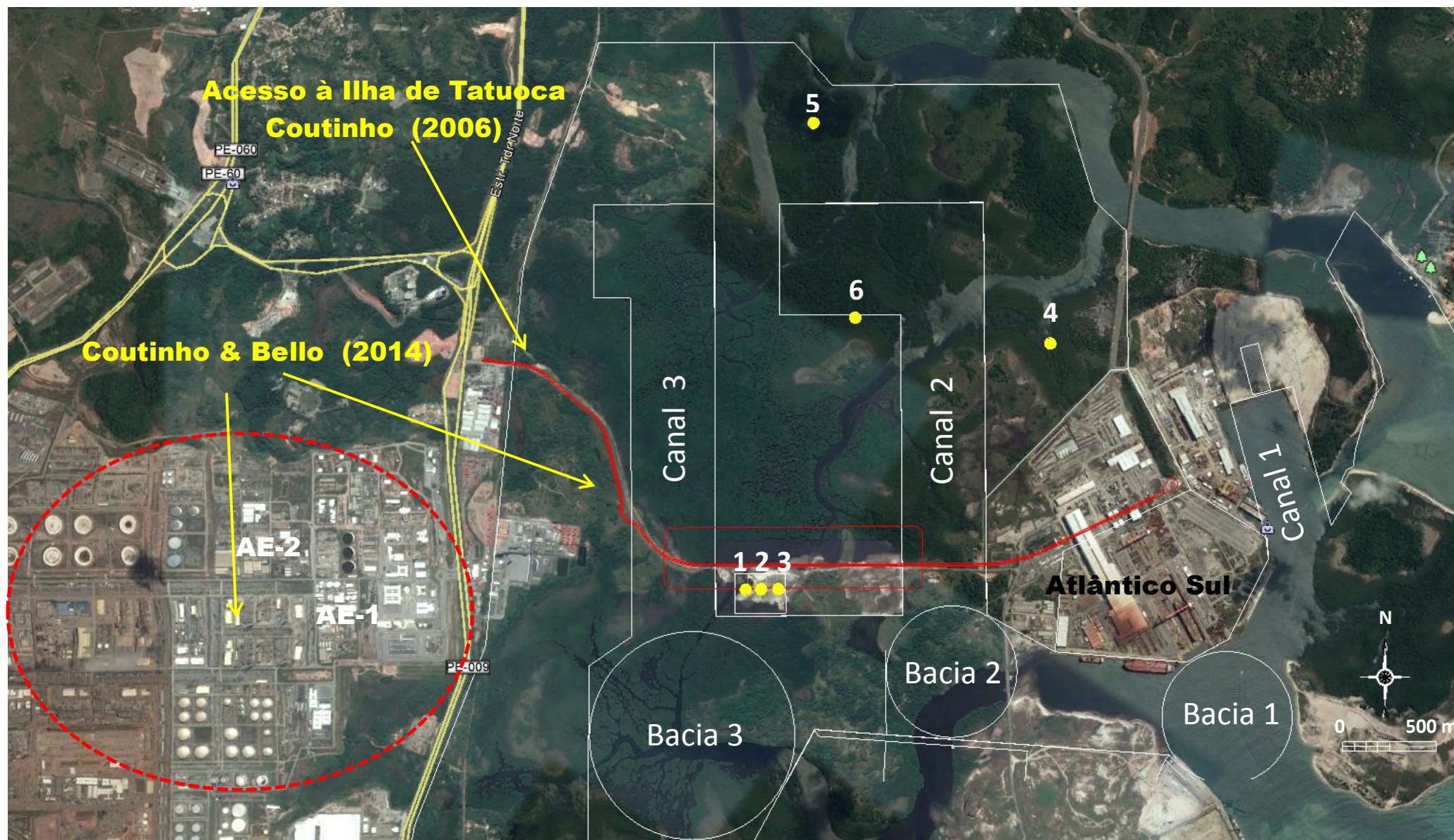


Figura 20. Localização do estudo de acesso à Ilha de Tatuoca.

Esta investigação foi dividida em dois trechos chamados de: 1º trecho de Mangue, onde compreende as estacas E98, E103, E112 e E120; e o 2º trecho de Mangue que compreende as estacas E137 e E144.

As sondagens realizadas mostraram, em sua maior parte, uma argila orgânica muito mole, com espessura de 22 metros no 1º trecho e de 31 metros no 2º trecho.

A tabela 4 apresenta um resumo dos ensaios realizados em cada trecho de investigação.

Tabela 4. Resumo dos tipos e quantidades dos ensaios realizados na investigação acesso à ilha de Tatuoca.

ENSAIOS	QUANTIDADES	
	1º Trecho	2º Trecho
Amostragem (pistão)	19	11
Palheta de campo		
- indeformada + deformadas	46	24
Piezocone sísmico		
- Leitura contínua (metros)	52 m	22 m
- Ensaios sísmicos	52	22
- Dissipação poro-pressão	21	9
Laboratório		
- Caracterização (granulometria, limites, massa específica, peso específico, teor de unidade e matéria orgânica)	19	11
- Adensamento vertical	10	5
- Triaxial UU	19	9
- Triaxial CIU	8	4

Fonte: Dados coletados do Relatório técnico Prospecção Geotécnica – Acesso à Ilha de Tatuoca – SUAPE – Ipojuca/PE, Coutinho, 2006.

3.3.1.1 Amostras Indeformadas – Acesso à ilha de Tatuoca

No relatório desenvolvido para apresentação do trabalho realizado nas coletas de amostras indeformadas tipo Shelby é indicado todo cuidado tomado para garantir a qualidade da amostra, conforme o texto:

“O procedimento para coleta de amostras de boa qualidade foi bastante cuidadoso. Os furos foram revestidos com 6” de diâmetro, tomando-se cuidado com a limpeza adequada destes. Para evitar levantamento da argila no fundo do furo, ele foi sempre preenchido com lama betonítica bem grossa, até o nível do terreno. Após a cravação esperava-se pelo menos 15 minutos para permitir uma boa aderência da argila com as paredes do tubo para obter boa recuperação. Após a retirada do furo, os tubos metálicos contendo as amostras eram vedados em suas extremidades com parafina e remetidos para o laboratório de Solos e Instrumentação do DEC/UFPE onde permaneciam em câmara úmida em posição vertical até a realização dos ensaios. “O transporte das amostras para o laboratório foi realizado com

todo cuidado e com controle de velocidade de modo a não perturbá-las.”.
Coutinho.R.Q (2006).

Apesar de todos os cuidados tomados para garantir a qualidade das amostras, os resultados dos ensaios constataram que de modo geral estas não apresentaram boa qualidade.

3.3.1.2 Caracterização das amostras

Com os resultados de caracterização (tabela 5) foi possível analisar os índices de consistências através da carta de plasticidade proposta por Casagrande (figura 21).

No gráfico (apresentado adiante), verifica-se que a maior parte das amostras encontra-se próximas à linha A, sendo em maior quantidade, abaixo da linha, o que caracteriza a presença de solos orgânicos.

Outra classificação proposta na carta de plasticidade é quanto à compressibilidade dos solos: observou-se que quanto maior o seu limite de liquidez, maior será a compressibilidade destes. Sendo classificadas como solo de alta plasticidade (H) e solos de baixa plasticidade (L).

Praticamente todas as amostras apresentaram elevados limites de liquidez e, conseqüentemente, alta compressibilidade.

Tabela 5. Resumo das propriedades físicas dos trechos 1 e 2.

Estaca	Prof. (m)	2º TRECHO DE MANGUE							
		W _n (%)	W _L (%)	W _p (%)	IP (%)	TMO (%)	γ _s (kN/m³)	γ _{nat} (kN/m³)	% argila
E137	2 a 3	161,1	175,9	85,58	90,32	12,41	25,2	15,6	26
	4 a 5	193,3	197,9	93,75	104,15	15,61	24,4	12,4	54
	6 a 7	274,3	204,2	111,6	92,6	28,33	24,3	11,7	37
	8 a 8,7	38,69	45,78	24,43	21,35	2,53	26,4	18,1	50
	10 a 10,17	40,46	61,14	32,11	29,03	3,39	26,4	17,7	-
E144	2 a 3	208,4	220	82,77	137,23	17,29	24,2	12,4	29
	4 a 5	164,6	194	68,07	125,93	14,14	25,1	12,6	34
	6 a 7	181,7	195,4	80,57	114,83	16,35	24,1	12,5	25
	10 a 11	183,7	201,9	89,25	112,65	13,75	24,3	12,1	29
	14 a 15	174,2	194,2	72,45	121,75	16,51	24,6	12,6	33
	18 a 19	192	215,8	80,98	134,82	16,99	23,5	12,3	35

Fonte: Dados coletados do Relatório técnico Prospecção Geotécnica – Acesso à Ilha de Tatuoca – SUAPE – Ipojuca/PE, Coutinho, 2006.

1 ° TRECHO DE MANGUE									
Estaca	Prof. (m)	W _n (%)	W _L (%)	W _p (%)	IP (%)	TMO (%)	γ _s (kN/m ³)	γ _{nat} (kN/m ³)	% argila
E98	2 a 3	223,61	205,74	89,7	116,04	32,87	24,38	12,22	24
	4 a 4,74	136,8	140,53	64,62	75,91	12,73	24,41	13,28	20
	6 a 7	171,11	164,76	41,72	123,04	16,12	25,37	13,11	48
	8 a 9	216,09	181,35	70,8	110,55	15,05	24,14	12,78	50
E103	2 a 3	154,08	164,17	46,45	117,72	20,11	25,24	14,1	22
	4,6 a 5,6	210,13	205,56	68,78	136,78	13,87	23,6	13,04	33
	6,5 a 7,5	63,87	89,76	43,85	45,91	3,38	26,23	17,16	29
	8,5 a 9,5	86,3	24,98	14,4	10,58	4,64	26,23	15,64	21
E112	2 a 3	74,53	132,86	80,53	52,33	7,29	25,24	13,08	22
	4 a 5	125,25	143,53	59,55	83,98	12,48	25,3	12,66	52
	6 a 7	152,83	158,25	87,14	71,11	11,58	24,86	12,77	50
	8 a 9	168,02	185,82	64,4	121,42	10,7	24,44	12,61	35
	10 a 11	108,82	131,22	71,08	60,14	10,93	25,89	18,92	54
	14 a 15	122,09	104,96	45,99	58,97	8,8	26,44	13,45	57
E120	17,5 a 18,5	110,3	83,69	45,09	38,6	5,17	26,26	14,51	61
	2 a 3	154,39	164,42	67,5	96,92	11,43	24,59	13,07	30
	4 a 5	158,73	157,14	59,58	97,56	11,35	25,02	12,62	44
	6 a 7	189,77	192,23	72,08	120,15	15,29	24,32	12,27	46
E120	9 a 10	98,44	115,2	63,92	51,28	8,57	26,2	15,9	42

Fonte: Dados coletados do Relatório técnico Prospecção Geotécnica – Acesso à Ilha de Tatuoca – SUAPE – Ipojuca/PE, Coutinho, 2006.

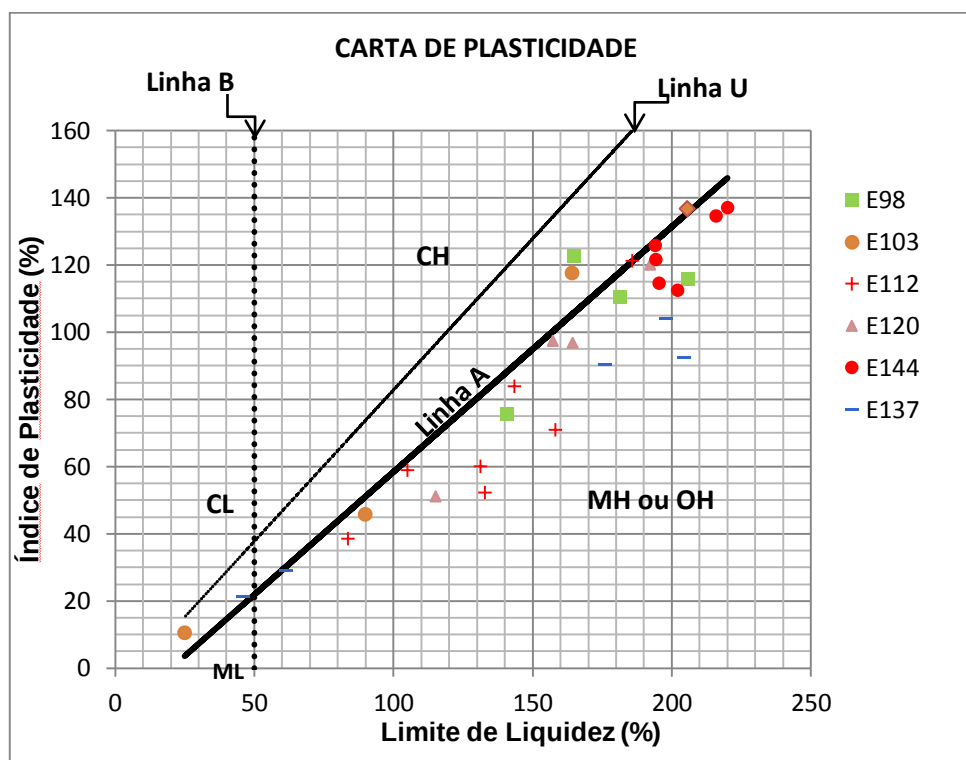


Figura 21. Carta de Plasticidade dos ensaios da ilha de Tatuoca.

Fonte: Dados coletados do Relatório técnico Prospecção Geotécnica – Acesso à Ilha de Tatuoca – SUAPE – Ipojuca/PE, Coutinho, 2006.

3.3.1.3 Ensaios de Palheta de Campo (Vane Test)

Os ensaios de palheta de campo mostraram no 1º trecho valores de $S_{u \text{ indef}}$ menor que 10 kPa até a profundidade de 6 m, com um aumento a partir desta

profundidade para valores entre 10 a 30 kPa. No segundo trecho, observa-se uma resistência mais elevada nas profundidades iniciais, provavelmente, pela presença de raízes, a partir desta profundidade os valores variam crescentemente com a profundidade na faixa de 6 a 30 kPa. Os valores de sensibilidade ficaram em geral na faixa de 1 a 10.

Considerando o tipo de depósito mole (mangue virgem), os resultados apresentaram comportamento de acordo com a experiência local.

3.3.1.4 Ensaios de Piezocone Sísmico

Os ensaios de Piezocone sísmico foram realizados em 6 verticais, sendo quatro ao longo do 1º Trecho e 2 verticais no segundo trecho. Nos ensaios foram obtidos valores de resistência de ponta, relação de atrito e poropressão. As figuras 22 e 23 apresentam resultados obtidos no ensaio da estaca 144.

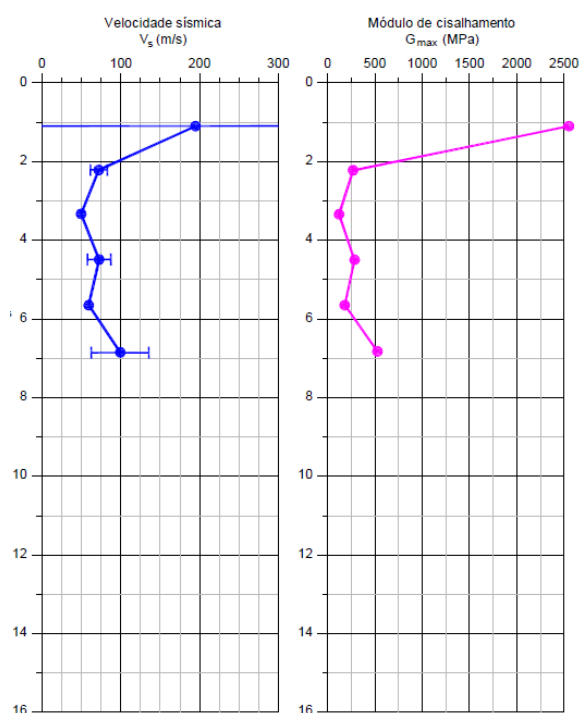


Figura 22. Resultado dos ensaios de Piezocone sísmico na estaca E144.

Fonte: Dados coletados do Relatório técnico Prospecção Geotécnica – Acesso à Ilha de Tatuoca – SUAPE – Ipojuca/PE, Coutinho, 2006.

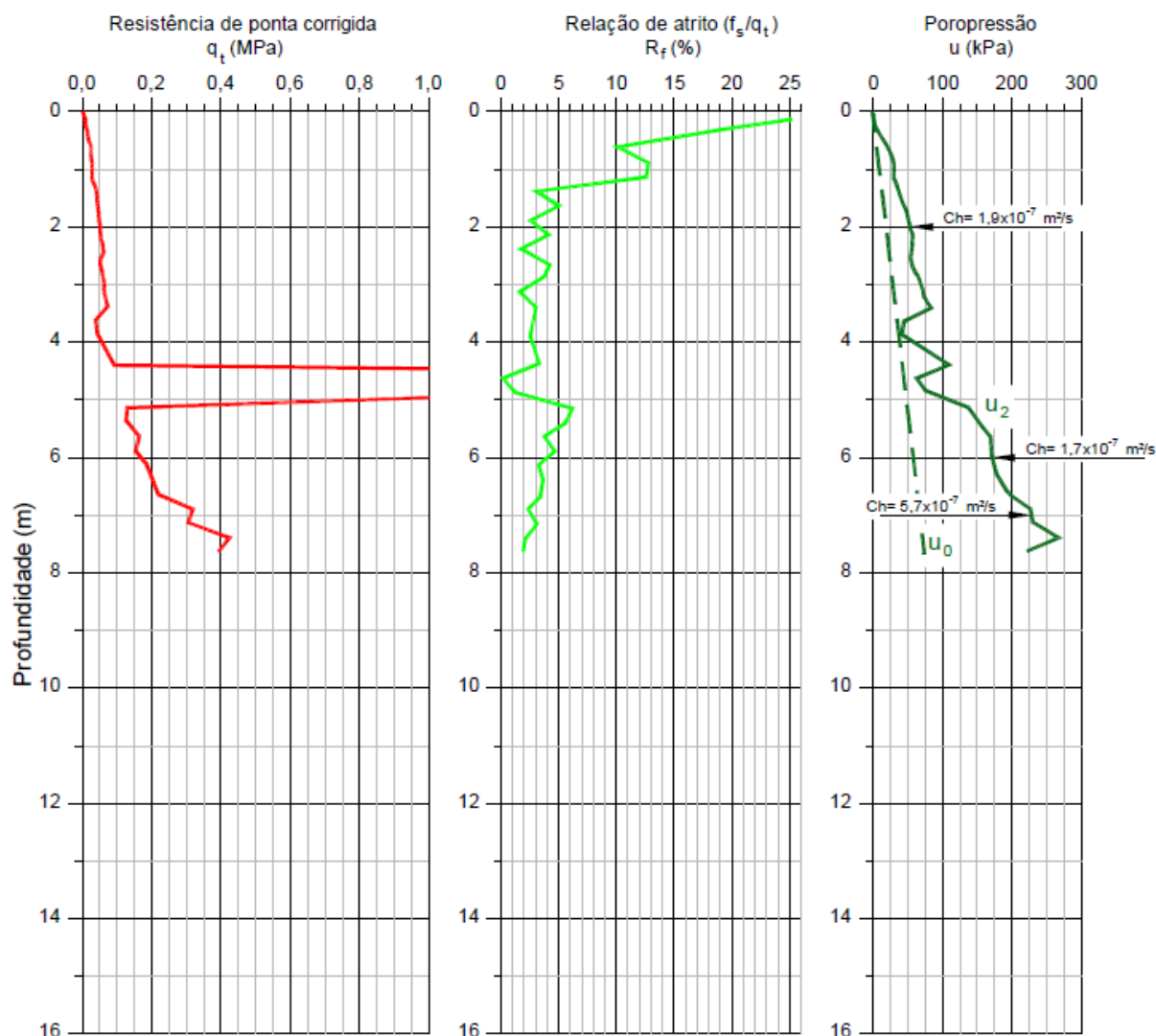


Figura 23. Resultados dos ensaios de Piezocone sísmico na estaca E144.

Fonte: Dados coletados do Relatório técnico Prospecção Geotécnica – Acesso à Ilha de Tatuoca – SUAPE – Ipojuca/PE, Coutinho, 2006.

3.3.1.5 Características de compressibilidade e adensamento das amostras

Na maior parte das amostras coletadas nessa campanha houve dificuldades na determinação da tensão de pré-adensamento utilizando o gráfico índice de vazios vs. Log tensão, pois 80% delas encontravam-se em má qualidade.

O relatório do ensaio descreve o seguinte:

“Pode-se observar claramente o efeito do amolgamento na tensão de pré-adensamento obtidas nas amostras indicadas, as quais se apresentaram bastantes inferiores à tensão vertical efetiva indicando um falso subadensamento da

argila. Por consequência não se aconselha a determinação do OCR para estes casos.”

“A argila era extraída dos tubos metálicos (shelbys), utilizando-se o extrator vertical. Devido ao amolgamento e/ou contaminação provocado na parcela do material amostrado que ocupa a parte inicial e final do amostrador, os primeiros 8 cm e os últimos 5 cm de argila da amostra não foram utilizados para ensaios especiais.

Vale registrar que, em face de dificuldade de amostragem em material muito mole, tipo mangue, foram observadas amostras de boa qualidade e amostras de má qualidade. Esta questão que influência os resultados obtidos será discutido posteriormente neste relatório.”

O valor de $\varepsilon_{\sigma'_{v0}}$ é utilizado na avaliação da qualidade do corpo de prova pelo critério de Coutinho et al. (1998) “Estudo Quantitativo da Qualidade de Amostras de argilas Moles Brasileiras – Recife e Rio de Janeiro” – XI COBRAMSEG – Vol.2, p. 927-936, Brasília-DF.

Quanto maior o valor de $\varepsilon_{\sigma'_{v0}}$, pior é a qualidade do corpo de prova, sendo que Coutinho et al. (1998) estabelecem a qualidade de “Transição de Regular para Pobre” como sendo o intervalo de valores de $\varepsilon_{\sigma'_{v0}}$ entre 0,056 e 0,084 (tabela 6).

Tabela 6. Resumo dos parâmetros obtidos no ensaio de compressão edométrica

Estaca	Prof. (m)	e_0	σ'_{v0} (kPa)	σ'_{vm} (kPa)	OCR	C_c	C_r	$\varepsilon_{\sigma'_{v0}}$
E98	2,2	4,9	4,8	9	1,9	3,6	0,39	0,05
	4,2	3,2	9,5	7,0(*)	-	2,46	0,21	0,11
	6,2	3,6	16	4,0(*)	-	1,18	0,25	0,19
	8,2	5	22,2	6,0(*)	-	2,48	0,41	0,2
E103	2,2	3,8	9	7,0(*)	-	1,14	0,65	0,23
	4,9	4,6	19,7	9,9(*)	-	1,47	0,45	0,24
	6,7	1,4	26,1	11,0 (*)	-	0,51	0,12	0,08
	8,7	1,6	40,1	10,0(*)	-	0,44	0,15	0,2
E112	2,2	1,8	6,8	14	2,1	0,89	0,12	0,02
	4,2	3,8	12,9	9,3(*)	-	1,27	0,25	0,11
	6,2	3,8	18,2	15,0(*)	-	1,81	0,38	0,11
	8,2	4,1	23,6	14,0(*)	-	1,1	0,3	0,16
	10,2	1,9	30,1	26,0(*)	-	1,06	0,11	0,1
	14,2	3,2	64,7	24,0(*)	-	1,18	0,2	0,21
	17,7	2,1	77	18,0(*)	-	0,73	0,15	0,2
E120	2,2	3,7	6,8	17	2,5	1,26	0,26	0,02
	4,2	3,3	12,8	11,0(*)	-	1,28	0,27	0,07
	6,2	4,7	18	11,5(*)	-	2,41	0,36	0,05
	9,2	2,2	25,5	13,0(*)	-	1,33	0,12	0,06
E137	2,2	3	12,3	21	1,7	1,91	0,4	0,05
	4,2	4,8	26,9	22,0(*)	-	2,66	0,2	0,14
	6,2	6	31,5	9,0(*)	-	2,15	0,25	0,23

	8,2	1,2	36,2	35,0(*)	-	0,36	0,09	0,06
	10,1	6,7	52,1	30,0(*)	-	1,26	0,4	0,1
	2,2	4,7	5,3	14	2,7	1,66	0,15	0,05
	4,2	4,1	10,1	31	3,1	1,2	0,3	0,02
E144	6,2	4,5	15,3	20,0(*)	-	1,5	0,3	0,11
	10,2	6	25,2	16,0(*)	-	1,85	0,35	0,19
	14,2	4,3	33,7	14,0(*)	-	1,4	0,4	0,25
	18,2	4,7	44,1	17,0(*)	-	1,4	0,2	0,26

Fonte: Dados coletados do Relatório técnico Prospecção Geotécnica – Acesso à Ilha de Tatuoca – SUAPE – Ipojuca/PE, Coutinho, 2006.

O relatório registra as possíveis causas da perturbação das amostras conforme descrito:

“É importante ressaltar a dificuldade de se obter amostras de boa qualidade no tipo de solo ensaiado (argila muito mole). Embora todo o cuidado na retirada e manuseio das amostras, algumas delas apresentaram valores insatisfatórios.

Vale registrar que o aterro provisório construído para acesso à Ilha de Tatuoca provavelmente perturbou o material do mangue virgem influenciando na qualidade da amostra indeformada. No início da campanha de amostragem já era possível verificar algumas rupturas localizadas. Procurou-se realizar a campanha de amostragem com algum afastamento do aterro, entretanto é difícil garantir que não ocorreram perturbações”.

3.3.1.6 Ensaios de Compressão Triaxial do tipo CIUC

Em duas amostras de cada um dos seis furos extraídos, foram realizados os ensaios de compressão triaxial do tipo CIUC (adensamento hidrostáticamente, não-drenado, com medição de poropressão) sob tensões de confinamento de 50, 100, 150 e 200 kPa.

Foram obtidos nesses ensaios os parâmetros de resistência em termos de tensões efetivas (c' e ϕ'). Na Tabela 7 serão apresentados os parâmetros obtidos apenas nas amostras que apresentaram boa qualidade:

Tabela 7. Resumo dos parâmetros obtidos nos ensaios de compressão Triaxial CIUC.

ESTACA	PROF. (m)	C' (kPa)	ϕ' (°)
E120	2 a 3	16,6	21,0
E144	4 a 5	19,0	26,0

Fonte: Dados coletados do Relatório técnico Prospecção Geotécnica – Acesso à Ilha de Tatuoca – SUAPE – Ipojuca/PE, Coutinho, 2006.

3.3.2 Caracterização das argilas moles de Suape/PE (Coutinho & Bello, 2014)

Outra pesquisa detalhada próxima à área de interesse foi realizada pelo Grupo de Geotecnia (GEGEP) da Universidade Federal de Pernambuco, o trabalho desenvolvido por Coutinho & Bello (2014), apresentara resultados de investigações geotécnicas importantes realizadas em duas áreas dentro do Complexo Industrial Portuário de Suape, conforme pode ser observado na figura 24.



Figura 24. Localização das áreas de estudos de Coutinho & Bello: Suape, Ipojuca.

Fonte: Adaptada de Coutinho & Bello, Soils and Rocks, Setembro – Dezembro, 2014.

Os parâmetros geotécnicos foram obtidos a partir de ensaios de laboratório (classificação, compressão e resistência) e in situ (SPT, palheta e CPTU). De posse dos resultados os autores fizeram comparações empíricas regionais e propostas apresentadas na literatura.

A figura 25 e 26 apresentam gráficos de plasticidade com os resultados dos ensaios de laboratório realizados em umas das áreas estudadas pelos autores.

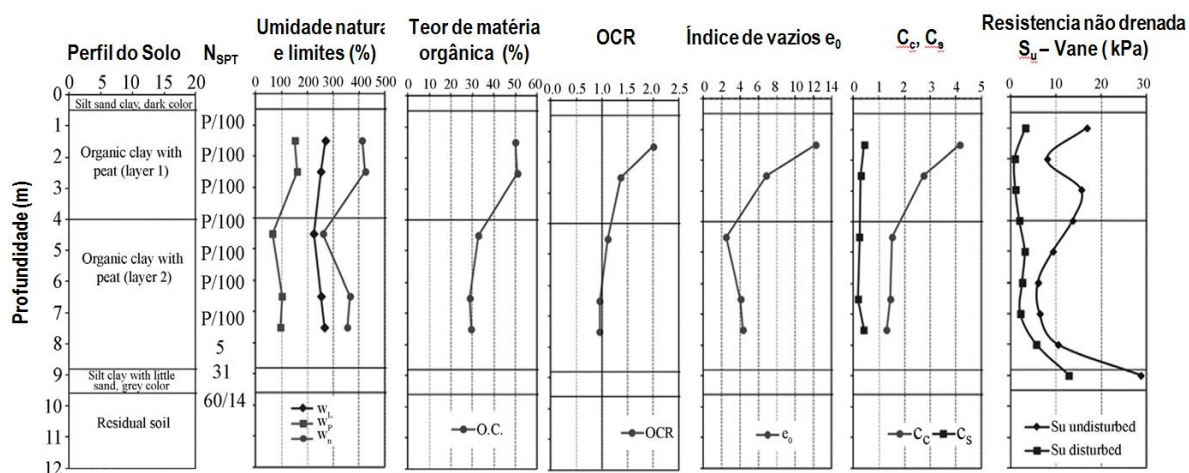


Figura 25. Perfil geotécnico do E106 (área de estudo AE - 2, SUB- ÁREA A) , Suape (Coutinho, 2010; Bello, 2014) .

Fonte: Coutinho & Bello, Soils and Rocks, pg 258, Setembro – Dezembro, 2014.

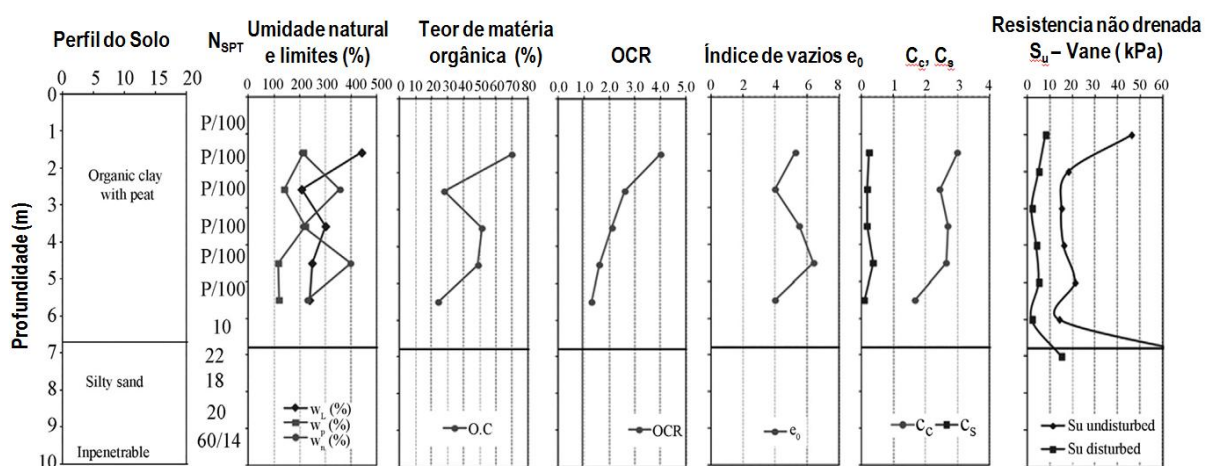


Figura 26. Perfil geotécnico do E121 (área de estudo AE - 2, SUB- ÁREA C) , Suape (Coutinho, 2010; Bello, 2014) .

Fonte: Coutinho & Bello, Soils and Rocks, pg 258, Setembro – Dezembro, 2014.

A figura 27 apresenta a carta de plasticidade com os resultados dos ensaios dos solos moles de Suape, incluindo solos orgânicos. Os autores também apresentam resultados de outros dois depósitos brasileiros (Recife – PE e Juturnaíba – RJ).

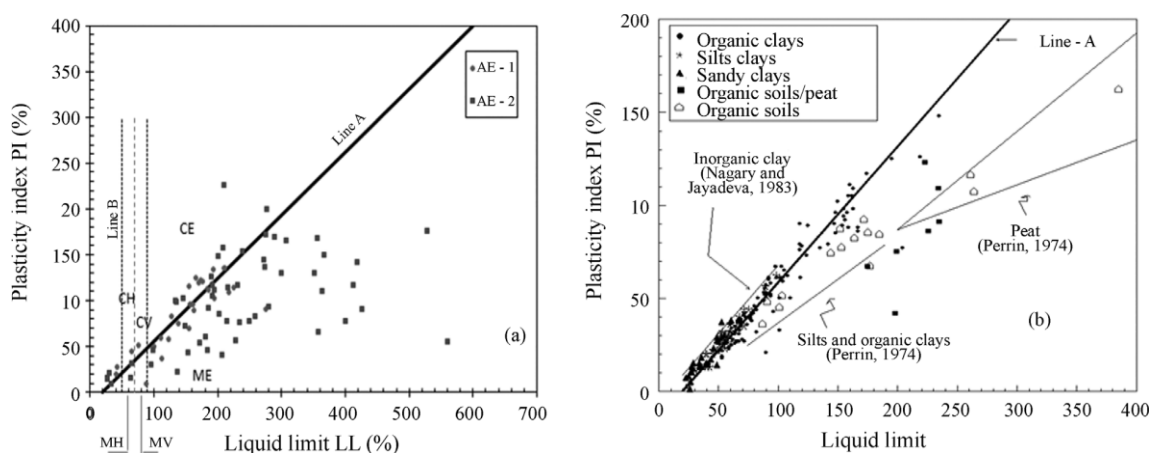


Figura 27. Carta de Plasticidade dos resultados ensaios (a) Suape (Coutinho & Bello, 2014); (b) Recife e Juturnaíba (Coutinho et al., 1998) .

Fonte: Coutinho & Bello, Soils and Rocks, pg 259, Setembro – Dezembro, 2014.

Os autores avaliaram a qualidade das amostras considerando a proposta apresentada em Coutinho (2007), que melhor representa a experiência brasileira e que tomou como base a proposta de Lunne et al. (1997). O estudo mostrou que algumas amostras sofreram perturbações consideráveis, sendo corrigidos e obtidos novos parâmetros de compressibilidade, desta vez com resultados equivalentes as amostras foram classificadas como muito boas e de excelente qualidade.

Os resultados mostram que os depósitos apresentam argilas com elevados índices de vazios e altíssima compressibilidade. A figura 28 apresenta correlações estatísticas (C_c vs. e_0 e C_c vs. $w(\%)$) desenvolvidas utilizando resultados do banco de dados dos ensaios de laboratórios corrigidos, depósitos orgânicos de Juturnaíba (Coutinho, 1986; Coutinho & Lacerda, 1987) e também os resultados das argilas moles de Recife (Coutinho et al., 1998); Coutinho (2007).

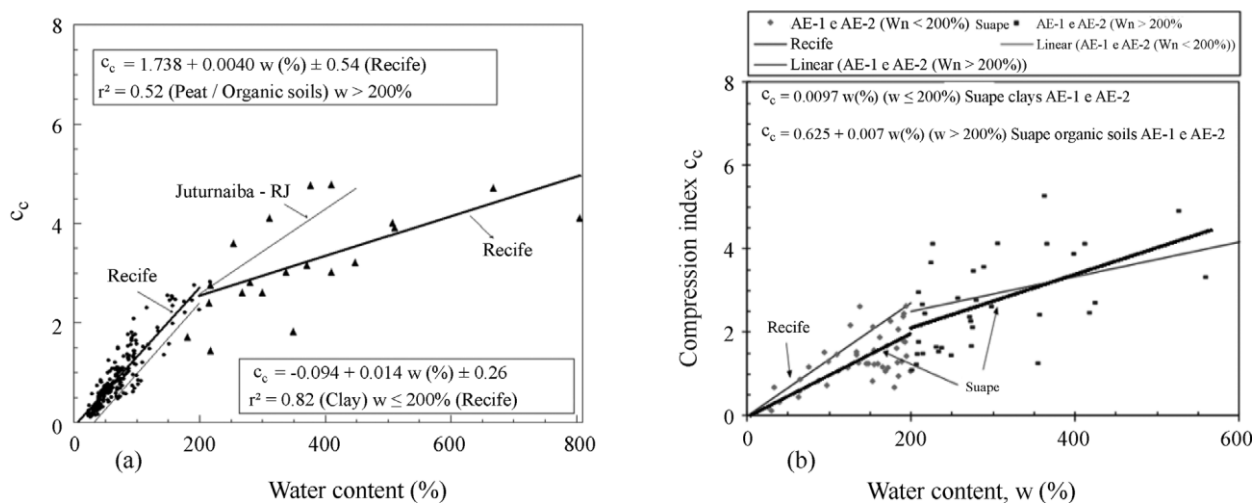


Figura 28. Correlações estatísticas para solos orgânicos e argilas moles/ médios: (a) Recife e Juturnaíba (Coutinho et al, 1998) ; (b) Suape (Coutinho & Bello, 2014)

Fonte: Coutinho & Bello, Soils and Rocks, pg 263, Setembro – Dezembro, 2014.

Os resultados mostram que as argilas de Suape apresentaram uma menor inclinação quando comparado com Recife, sendo Recife com $C_c=0.0126w$ (%) e Suape $C_c = 0.0097w(\%)$.

Também foram realizados ensaios para determinação de resistências não drenada em campo (ensaio de Palheta) e laboratório (Triaxial UU), conforme apresentado nas figuras 29 e 30.

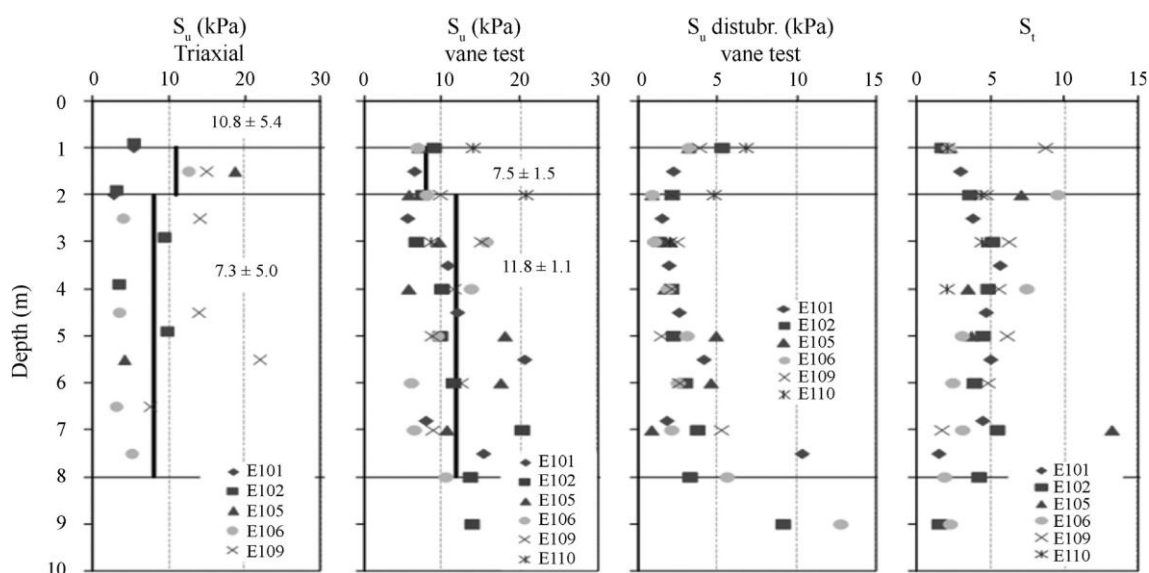


Figura 29. Resultados dos ensaios de palhetas de campo e triaxial - SUB- ÁREA A, área de estudo AE- 2 - Suape (Coutinho & Bello, 2014b) .

Fonte: Coutinho & Bello, Soils and Rocks, pg 267, Setembro – Dezembro, 2014.

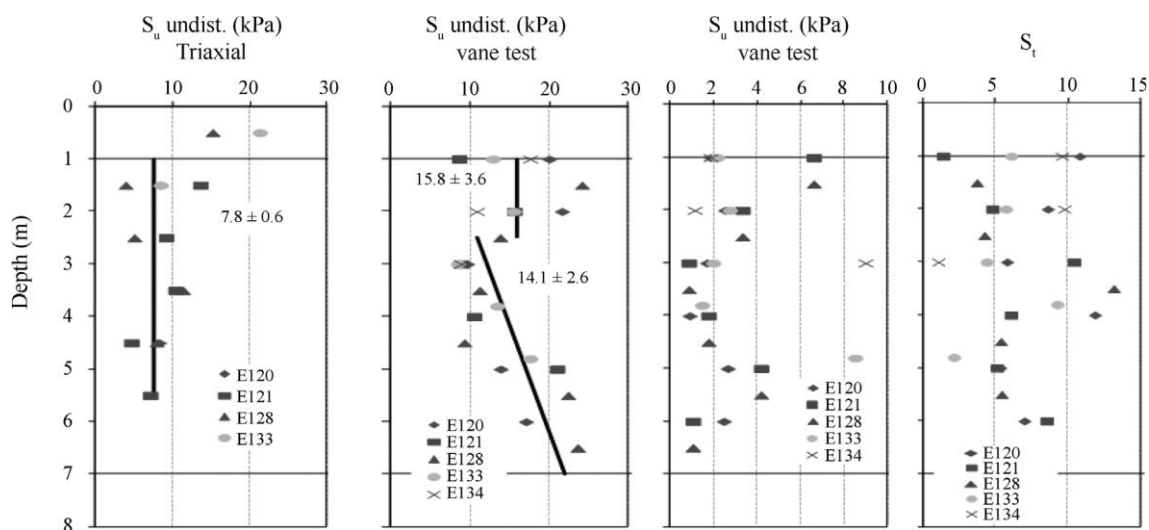


Figura 30. Resultados dos ensaios de palhetas de campo e triaxial - SUB- ÁREA C, área de estudo AE- 2 - Suape (Coutinho & Bello, 2014b) .

Fonte: Coutinho & Bello, Soils and Rocks, pg 267, Setembro – Dezembro, 2014.

3.3.3 Investigação Geotécnica para avaliação da variabilidade do Subsolo da área do Cluster Naval do Porto de Suape/PE; Victor, Débora Feijó (2013).

Conforme descrito anteriormente, o Complexo Industrial do Porto de Suape – CIPS concentrou as atividades da indústria naval numa mesma área, denominada Cluster Naval de Suape. A vasta campanha de investigação geotécnica desenvolvido para a elaboração do projeto possibilitou a realização de um primeiro trabalho, denominado de ***Investigação Geotécnica para avaliação da variabilidade do Subsolo da área do Cluster Naval do Porto de Suape/PE***, desenvolvida pela M.Sc Débora Feijó Victor que contou com a orientação do Prof. Roberto Coutinho. Na campanha também foram realizados ensaios geofísicos (Sísmica de refração e Imageamento geoeletrico) em algumas áreas com o objetivo da identificação do topo rochoso e o cálculo de volume de derrocagem nos canais de navegação. A autora realizou modelagem tridimensional com os dados obtidos nas investigações, para facilitar a visualização e compreensão das interfaces de solos, principalmente a variabilidade desse subsolo. Utilizando-se para isto, o software da Microsoft Excel, na geração de um banco de dados, e o AutoCad Civil 3D para a modelagem tridimensional.

3.3.3.1 Modelagem tridimensional do perfil geotécnico

A autora realizou o tratamento dos dados, classificando camadas e identificando as profundidades iniciais e finais em todos os boletins de sondagens. Assim, utilizando o software Civil 3D, permitiu a elaboração de superfícies que representem as camadas geotécnicas, fazendo interpolação linear entre as profundidades dos materiais em diversos pontos e acompanhando a superfície do terreno natural. Após a criação de uma superfície com o banco de dados furto da campanha de investigação realizada, a pesquisadora construiu o mapa de isoepessura das argilas moles com variação de N_{SPT} de 0 a 5, conforme apresentado na figura 31. Nesta fica evidente a grande espessura de argilas mole ao sudoeste do terreno com camadas atingindo até 40m de profundidade. Além de evidenciar as áreas onde as camadas de solo moles são pequenas ou mesmo não existem.

Pode-se verificar também uma grande área em branco na região nordeste do mapa, tal mancha deve-se ao fato de que nesta área não foi encontrado solo mole, e no estudo sísmico aponta uma grande espessura de rocha.

Fica evidente que quase toda a área destinada à implantação do Cluster Naval apresenta solos moles, porém, o local mais crítico é o sudeste dessa área onde foi locado o aterro piloto.

Espessura da Camada Argilosa Cluster Naval - PE

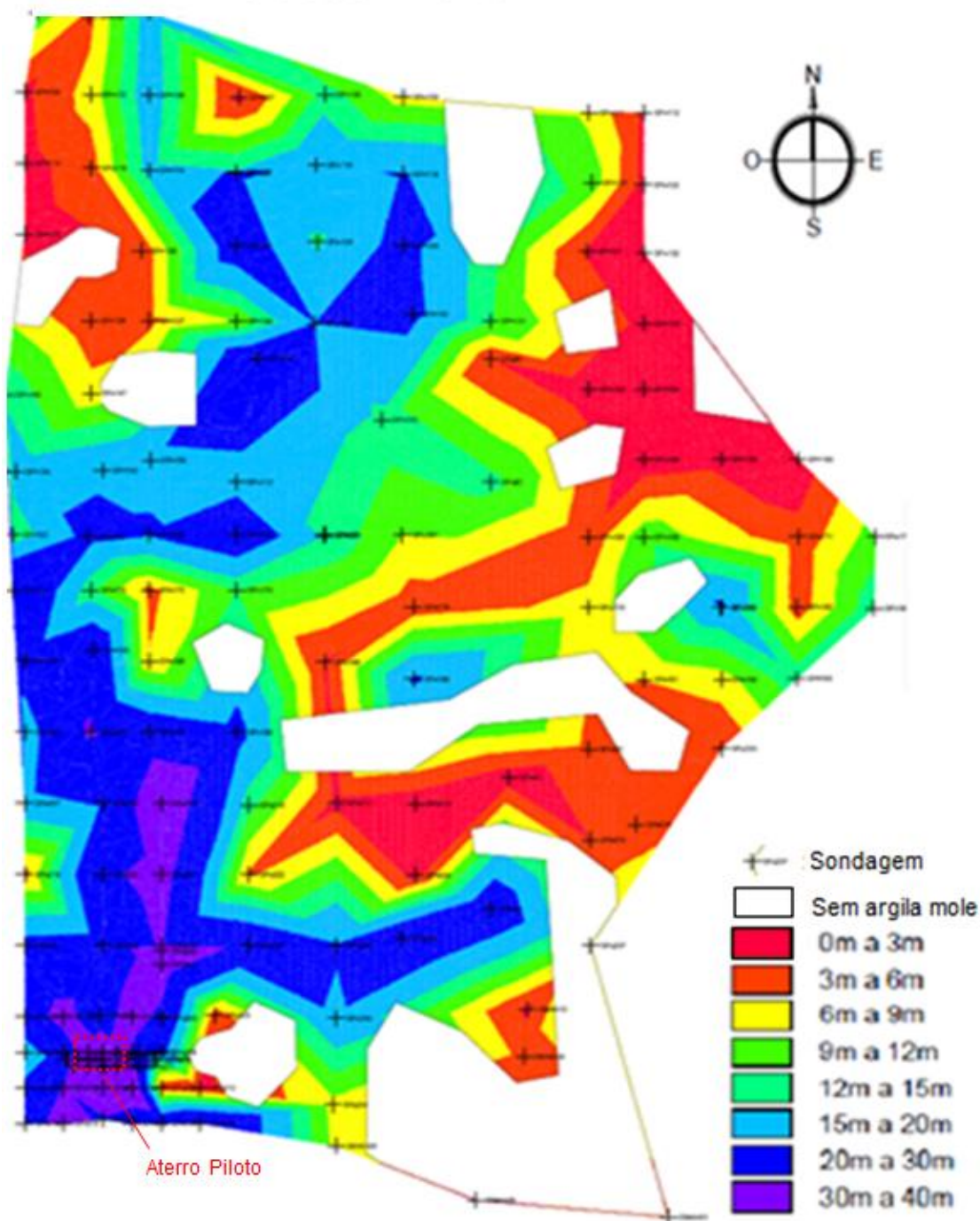


Figura 31. Mapa de isoespessuras das camadas de argila muito mole do Cluster Naval.

Fonte: Victor, Débora Feijó. Investigação geotécnica para avaliação da variabilidade do subsolo da área do Cluster Naval do Porto de Suape/ PE, Dissertação de mestrado, 2013.

Também foi elaborado um perfil geotécnico (figura 32) representando à proximidade do aterro piloto, no qual fica evidente a variabilidade do depósito de argilas moles localizadas na área.

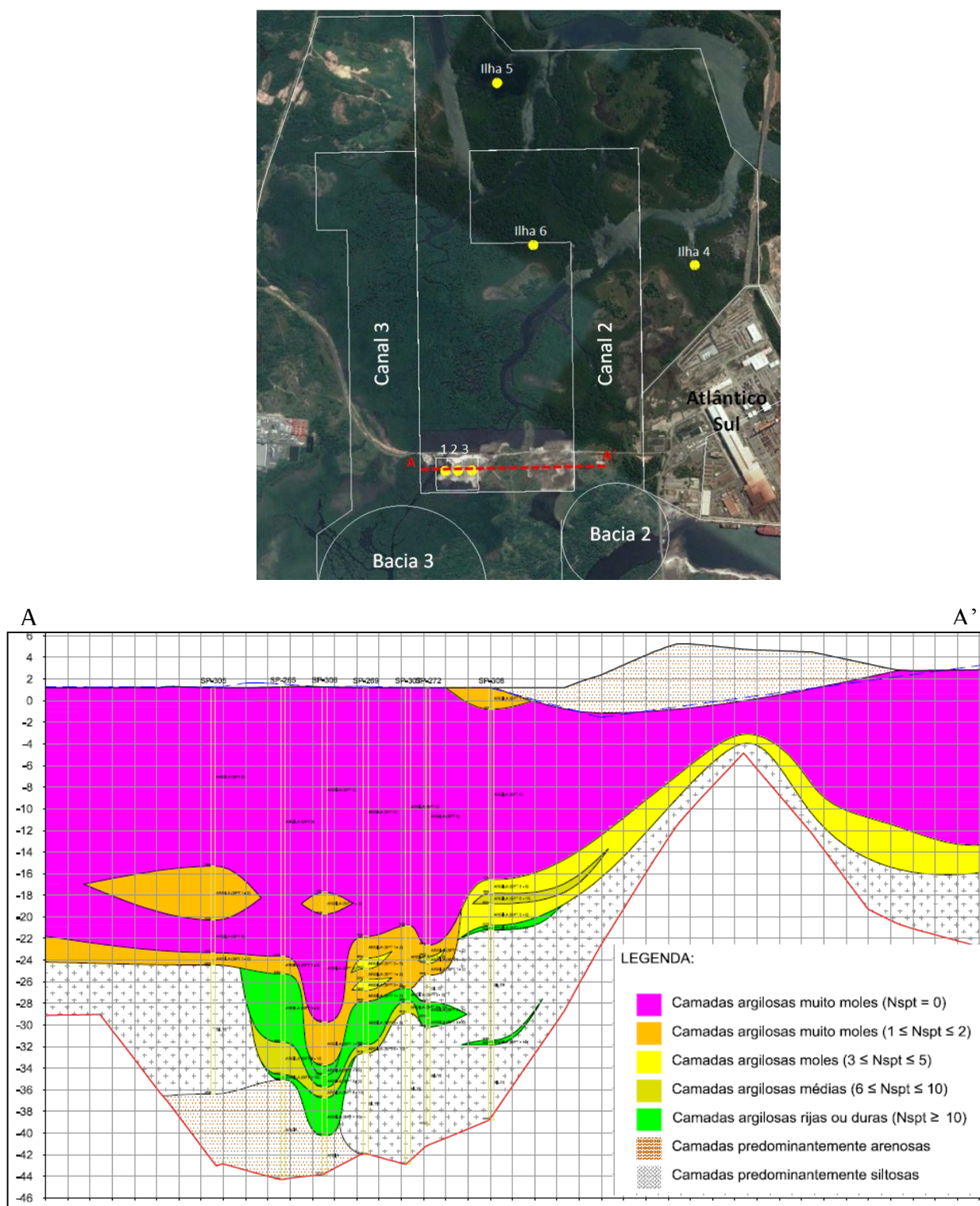


Figura 32. Perfil transversal na área do aterro piloto, Cluster Naval.

Fonte: Adaptado de Victor, Débora Feijó. Investigação geotécnica para avaliação da variabilidade do subsolo da área do Cluster Naval do Porto de Suape/ PE, Dissertação de mestrado, 2013.

Por se tratar de uma grande área e da variabilidade do seu perfil geotécnico, a autora buscou analisar o subsolo de forma prática, dividindo em camadas, correlacionado aos perfis dos parâmetros de caracterização e índices físicos ao longo da profundidade, tentando obter um padrão. A tabela 8 apresenta a variação dos parâmetros encontrados das diferentes ilhas investigadas no Cluster Naval, assim como os valores de parâmetros encontrados por Coutinho et al (1998), Perin (1974) e Nagaray e Jayadeva (1983), obtidos a partir do gráfico apresentado por Coutinho & Bello (2014).

Tabela 8. Parâmetros mínimos e máximos encontrados nas diferentes camadas do subsolo do Cluster Naval e os valores de parâmetros encontrados por Coutinho et al (1998), Perin (1974) e Nagaray e Jayadeva (1983), adaptado de Coutinho e Bello (2014).

ilhas	Camadas	LL (%)		IP (%)		w (%)		eo		M.O. (%)	
		mín	máx	mín	máx	mín	máx	mín	máx	mín	máx
	Argilas moles/médias de Recife (Coutinho et al 1998)	23	235	5	148	18	215	0,5	5,3		
	Solos orgânicos de Recife e Juturnaiba (Coutinho et al 1998)	175	235	40	120	180	800	3,5	14,4		
	Siltos e Argilas Orgânicas (Perrin,1974)	75	190	25	80						
	Argilas Inorgânicas (Nagaray and Jayadeva, 1983)	10	68	20	100						
	Turfas (Perrin,1974)	200	400	90	135						
		200	400	90	190						
ilhas 1, 2 e 3	Camada A	206	283	70	80	401	464	8,87	10,11	35	54,7
	Camada B	151	193	103	137	129	171	3,2	4,2	8,3	32,5
	Camada C	176	244	48	73	128	171	3,6	6,3	9,9	16,6
	Camada D	87	127	59	96	82	125	2,2	3,5	4,5	13,8
ilha 4	Camada A	318	374	150	176	239	248	5,47	7,24	34,2	47
	Camada B	160		85		126	333	3,09	3,17	14,2	
ilha 5	Camada A	254		162		225	226	5,75		9,4	
	Camada B	178	262	104	164	181	222	4,6	5,7	10,8	12,9
	Camada C	197		129		169		4,3	4,3	9,0	
	Camada D	123	134	71	83	105	123	2,8	3,2	12,0	17,0
ilha 6	Camada A	198		143		155	172	4,42	4,87	10,2	
	Camada B	228	238	128	142	191	211	5,03	5,25	17	18,2

Fonte: D.F.Victor, Investigação geotécnica para avaliação da variabilidade do subsolo da área do Cluster Naval do Porto de Suape/ PE, Dissertação de mestrado, 2013.

CAPÍTULO 4

CAMPANHA DE INVESTIGAÇÃO E PARÂMETROS DE CARACTERIZAÇÃO

Inicialmente este capítulo abordará a campanha de investigação realizada neste trabalho, apresentando as quantidades e disposição dos ensaios realizados, também serão discutidos os cuidados tomados e peculiaridade de cada ensaio. Posteriormente, apresentarão os resultados de caracterização geotécnica do Culster Naval, com destaque nas ilhas de investigações 1,2 e 3, nas quais se encontram o aterro Piloto (área crítica). Além disso, serão apresentados os perfis geotécnicos e a comparação dos resultados de caracterização com outros depósitos de solos moles brasileiros.

4.1 CAMPANHA DE INVESTIGAÇÃO – CLUSTER NAVAL

4.1.1 Sondagens a Percussão

Com o objetivo de determinar a extensão, profundidade, espessura, descrição, compacidade, entre outras características perceptíveis das camadas de subsolo, foi realizada uma campanha de investigação que contemplou 205 sondagens à percussão em toda área de estudo e mais 20 sondagens mistas com maior concentração na bacia de evolução do canal 2, onde foi encontrada a presença de topo rochoso com cotas positivas.

As sondagens foram dispostas em uma malha de aproximadamente 200 x 200m, nas áreas a serem aterradas adjacentes à área de dragagem do canal 2, bem como nas áreas dos taludes de dragagem, o que totalizou 139 sondagens. Posteriormente, foram realizadas mais 18 sondagens na área da Construcap, com o intuito de melhorar o conhecimento da distribuição em planta da espessura do pacote de material argiloso muito mole a mole no local, em que seria implantado o aterro piloto.

Após a análise minuciosa de todas as sondagens, até então executadas, foi definida a localização do aterro piloto. Sendo realizado um novo refinamento com a execução de 15 sondagens na área definida. Com isso, restaram apenas 3 sondagens à percussão a serem locadas na área do cluster, que foram executadas

nos centros das ilhas de investigações geotécnicas e projetadas fora da área do aterro piloto.

Diante do surgimento de empecilhos que impossibilitaram a construção do aterro piloto na área ora definida, surgiu a necessidade de realocá-lo e definir uma nova programação de investigação para essa nova área. Sendo assim, foram realizadas 20 novas sondagens à percussão.

Com o objetivo de avançar os estudos de dragagem do canal 2, foram realizadas mais 10 sondagens à percussão ao longo do eixo do canal. Totalizando assim as 205 sondagens à percussão em toda a investigação. Com o andamento da campanha de apuração geotécnica na área da dragagem do canal 2, constatou-se a presença de rocha em cotas acima do nível do mar na bacia de evolução, tornando-se necessária a realização de sondagens mistas nessa área, na qual foram realizadas 20 sondagens mistas.

A figura 33 apresenta a campanha de sondagens realizadas no caso em estudo e a locações das ilhas.

As sondagens à Percussão $\Phi 2 \frac{1}{2}$ " com determinação do NSPT a cada metro, executaram-se conforme indicado no relatório técnico desenvolvido pela Mecasolo, ***“Projeto conceitual de melhoria do solo debaixo dos taludes de dragagem e programação de investigações geotécnicas, incluindo aterro piloto instrumentado na área do Cluster Naval do Porto de SUAPE”*** e, atendendo as prescrições das normas técnicas: NBR 6484, NBR 6491 e NBR 6497, conforme descrito no capítulo 2.

Os pontos de sondagem foram locados por topografia adotando sistema DATUM WGS 84. Alternativamente, nos casos em que o acesso no momento da locação não foi possível, devido às condições de terreno ou por haver dificuldade com o transporte de equipamentos da topografia, estes foram efetuados através de GPS de alta precisão do tipo RTK.

Devido à complexidade dos empreendimentos e de seus riscos associados, foi adotado neste estudo, como critério de parada para as sondagens, o impenetrável à lavagem com trépano.

Nas amostras coletadas no bico do amostrador-padrões foram determinados suas umidades naturais a cada metro. Para esta determinação, as amostras coletadas foram devidamente etiquetadas e hermeticamente fechadas. Buscando uma maior celeridade e qualidade nos resultados, foi construído um laboratório na obra onde as amostras eram imediatamente pesadas. As secagens destas foram

realizadas através de estufa e seguiu as especificações técnicas do relatório 7: **“Especificações técnicas para execução das sondagens a percussão ϕ 2 ½” com SPT a cada metro até o impenetrável à lavagem”** desenvolvido pela Mecasolo Engenharia e Consultoria Ltda.

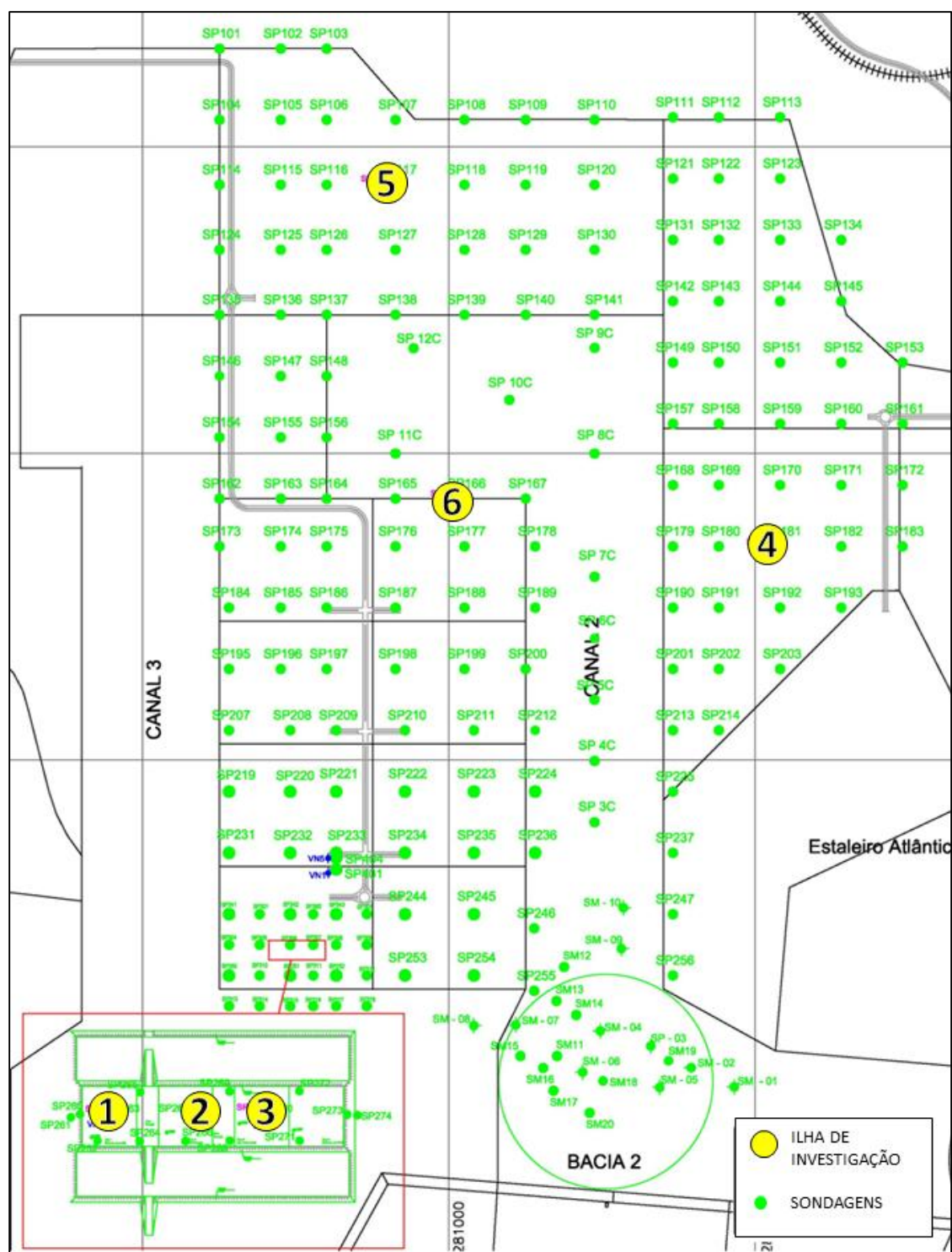


Figura 33. Campanha de sondagens realizadas no projeto Cluster Naval Locação e localização das ilhas de investigações

A figura 34, apresentada fotos em diferentes etapas das sondagens realizadas.



Passarelas construídas para o acesso de Sondagens



Controle de execução



Locação topográfica com GPS RTK



Sondagens em flutuante



Coleta de amostra do amostrador-padrão



Execução da sondagem

Figura 34. Imagens em diferentes etapas das sondagens realizadas no Cluster Naval.

4.1.2 Ilhas de investigações

Neste estudo foram planejadas e executadas 6 ilhas de investigações, sendo 3 ilhas na área destinada ao aterro piloto e outras três distribuídas nas demais áreas (figura 33). Para escolha das localizações das ilhas de investigações, foi executada uma campanha inicial de sondagens, escolhidas estrategicamente de forma a fornecer informações prévias de toda a área, assim, possibilitando a definição de locação destas, conforme mencionado anteriormente.

Em cada ilha de investigação foi programada inicialmente a execução de um ensaio de piezocone, uma vertical de palheta, e um furo de 6" para retirada de amostras "indeformadas" de 4", executados próximos à sondagem à percussão inicialmente escolhida como centro da ilha de investigações.

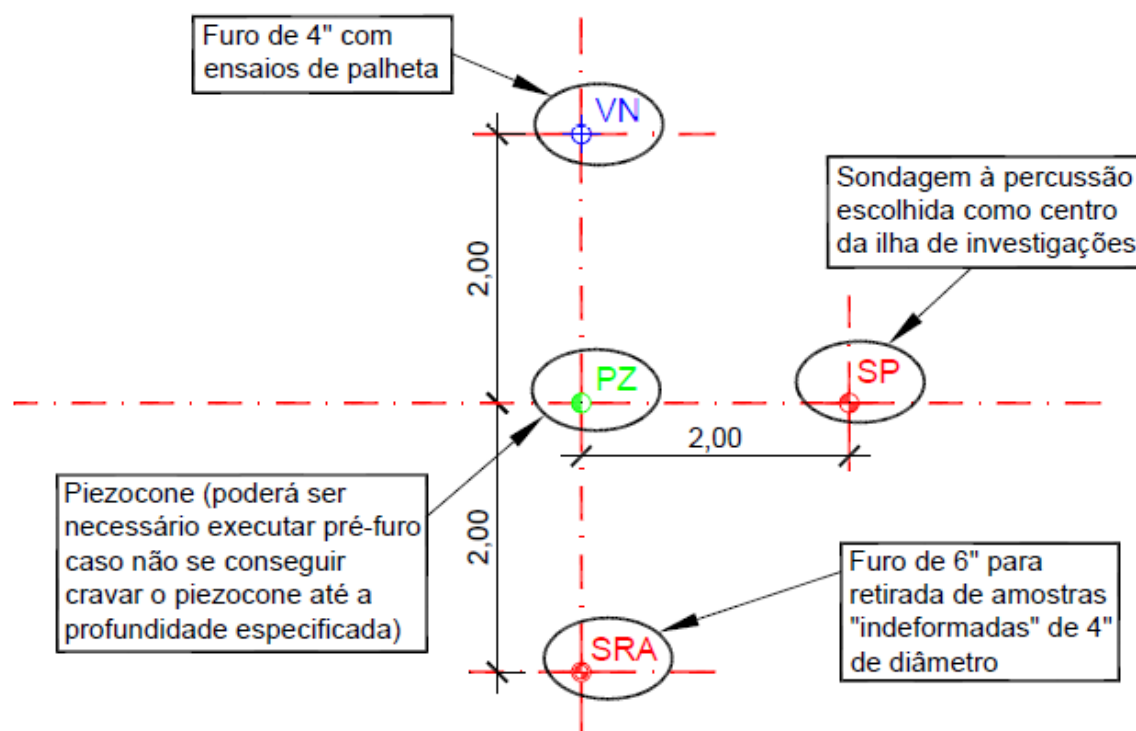


Figura 35. Distribuição dos ensaios nas ilhas de investigações

Fonte: MECASOLO; Relatório Técnico – Documento 11, Especificações técnica para execução dos ensaios de palheta, p.02, 2010.

Por se tratar de áreas de mangue com difícil acesso foi necessário desenvolver um planejamento detalhado para a realização dos ensaios. Sendo confeccionadas passarelas e praças de madeira nos trechos de mangue e estruturas flutuantes nos pontos de rio.

Em especial para a execução do ensaio de Piezocone foi necessário planejar uma outra estrutura que comportasse o equipamento e garantisse o sistema de reação necessário para a realização do ensaio, o que o tornou muito oneroso, se agravando ainda mais pela falta de empresas na região que realizassem o ensaio. Diante destas dificuldades, os ensaios de Piezocone não foram realizados.

A tabela 9 apresenta um resumo com os ensaios realizados em cada ilha de investigação.

Tabela 9. Ensaios realizados em cada uma das seis ilhas de investigações geotécnicas.

ILHA	SONDAGEM	AMOSTRA SHELBY	PALHETA
1	SP-263	SRA-1	VN-2
2	SP-267	SRA-2	VN-3
3	SP-270	SRA-3	VN-4
4	SP-181 e SP-319	SRA-4	VN-6
5	SP-117 e SP-320	SRA-5	VN-7
6	SP-166 e SP-321	SRA-6	VN-8

4.1.2.1 Retirada de amostras indeformadas tipo Shelby

A retirada de amostras indeformadas contou com a orientação do Professor Ian Schumann Marques Martins e seguiu as recomendações descritas no capítulo 2, atendendo as exigências da norma **ABNT NBR 9820/1997 – “Coleta de amostras indeformadas de solos de baixa consistência em furos de sondagem”** e as recomendações técnicas descrita no relatório **“Especificações técnicas para retirada de amostras indeformadas ϕ 4”** desenvolvido pela empresa Mecasolo Engenharia e Consultoria LTDA.

Nas seis ilhas de investigação foram realizadas as extrações de 24 amostras indeformadas, sendo doze amostras extraídas nas ilhas localizadas dentro da área do aterro piloto (SRA-1, SRA-2 e SRA-3) e encaminhadas a Grupo de Reologia dos Solos do Programa de Engenharia Civil da COPPE/UFRJ. E as outras doze coletadas nas demais ilhas (SRA-4, SRA-5 e SRA-6) foram encaminhadas ao laboratório de Solos e Instrumentação da UFPE.

A figura 36 apresenta a sequência de uma amostragem realizada no Cluster Naval.



Cravação do amostrador



Retirada do amostrador



Colocação do papel filme



Colocação do papel laminado



Colocação da tela de proteção



Pincelamento da parafina



Vedação com



Vedação com parafina



Armazenamento das amostras



Transporte das amostras

Figura 36. Sequência da amostragem tipo Shelby realizada.

Fonte: Fotos retiradas da campanha de investigação do Cluster Suape.

Para garantir a qualidade das amostras, além dos cuidados tomados durante todo o processo de extração e vedação, foram pensadas formas de minimizar ao máximo possível os amolgamentos ocorridos durante seu transporte, em especial, nas amostras destinadas ao Rio de Janeiro.

Pensando nisto, desenvolveram-se caixas de madeiras nas quais as amostras permaneceram mantidas na vertical e afastadas de possíveis impactos que pudessem acarretar um amolgamento. Para garantir sua rigidez dentro da caixa, foram preenchidos os espaços vazios entre a amostra e o orifício com espuma expansiva de poliuretano em spray. Também foi colocado um colchão na base do veículo onde foram assentadas as caixas. Por fim, as caixas foram agrupadas e amarradas, a fim de minimizar as possíveis vibrações durante o transporte.

A figura 37 apresenta as imagens com os cuidados tomados durante o processo de transporte.



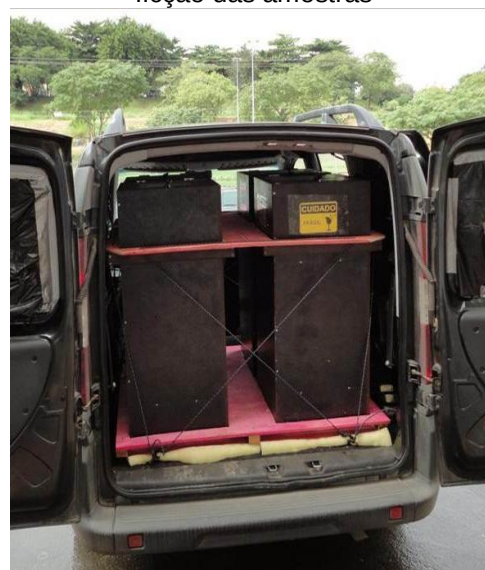
Caixa de madeira com alças para transporte



Colocação da espuma de poliuretano para fixação das amostras



Agrupamento das caixas para reduzir o efeito de vibrações



Colocação da espuma na base do veículo e fixação das caixas com elásticos.

Figura 37. Sequência de imagens mostrando os cuidados tomados no transporte das amostras tipo Shelby.

Fonte: Fotos retiradas da campanha de investigação do Cluster Naval, Suape.

4.1.2.2 Ensaio de palheta de campo.

Os ensaios de palheta realizados pela equipe da COPPE/UFRJ, sob a coordenação do professor Danziger, F.A.B., seguiram a metodologia conforme descrito no capítulo 2 e atenderam os requisitos exigidos na norma NBR 10905/1986. Foi utilizado o equipamento de palheta elétrica desenvolvido pela COPPE/UFRJ, UFPE e GROM Eng.

Foram previstos oito verticais a serem ensaiadas, destas, seis dispostas nas ilhas de investigações e outras duas, nas extremidades da área prevista para a

execução do aterro piloto. Com a necessidade de mudar a locação do aterro piloto, foram relocados os pontos anteriormente previstos.

A tabela 10 apresenta um resumo dos ensaios de palheta realizados nesta campanha de investigação.

Tabela 10. Ensaios de palheta realizados.

PONTO	LOCAL	PROFUNDIDADE DE ENSAIO (m)	OBS.
VN-2	Ilha 1	2,00 - 4,00 - 6,00 - 8,00 - 10,00 - 12,00 - 14,00 - 16,00 - 18,00 - 20,00 - 22,00	Ensaios em profundidades a partir de 18,00 m com lavagem até 17,00 m. Ensaios a 20,00 e 22,00 m descartados.
VN-3	Ilha 2	2,00 - 4,00 - 6,00 - 8,00 - 10,00 - 12,00 - 14,00 - 16,00 - 18,00	
VN-4	Ilha 3 -11	2,00 - 4,00 - 6,00 - 8,00 - 10,00 - 12,00 - 14,00 - 16,00 - 18,00 - 22,00 - 25,00	Ensaios em profundidades a partir de 16,00 m com lavagem até 15,00 m.
VN-6	Ilha 4 - 6	2,00 - 4,00 - 6,00 - 8,00 - 10,00 - 12,00	Ensaios em profundidades a partir de 8,00 m com lavagem até 7,00 m. Houve lavagem até 13,00 m para ensaio a 14,00 m, porém não foi possível a cravação do equipamento nem da palheta.
VN-7	Ilha 5 - 9	2,00 - 4,00 - 6,00 - 8,00 - 10,00 - 12,50 - 14,00 - 16,00 - 18,00	Para o ensaio de 12,00 m só se conseguiu penetrar a palheta 0,40 m. A palheta foi recolhida e o ensaio realizado a 12,50 m.
VN-8	Ilha 6	2,00 - 4,00 - 6,00 - 8,00 - 9,70	Só foi possível a cravação da sapata até 9,20 m, tendo sido o ensaio realizado a 9,70 m.
VN-101	Extremidade do Aterro piloto	1,00 - 2,00 - 3,00 - 4,00 - 5,00 - 6,00 - 8,00 - 10,00 - 12,00 - 14,00 - 16,00 - 18,00 - 20,00 - 22,00 - 24,00	
VN-104	Extremidade do Aterro piloto	1,00 - 2,00 - 3,00 - 4,00 - 5,00 - 6,00 - 8,00 - 10,00 - 12,00 - 16,00 - 20,00 - 24,00	Ensaio à profundidade de 24,00 m com lavagem até 23,00 m.

Fonte: Adaptado de Relatório técnico – Realização de ensaios de palheta complexo industrial de Suape, COPPE/UFRJ, Danziger, F.Z.B, 2012.

4.1.3 Ensaios de laboratório

As amostras indeformadas extraídas das seis ilhas de investigações foram encaminhadas aos Laboratórios de Reologia dos Solos da COPPE/UFRJ e Solos e Instrumentação da UFPE para as realizações dos ensaios. Estes seguiram os procedimentos descritos no capítulo 2, estando em conformidade com as normas técnicas brasileiras e as especificações elaboradas pela empresa de consultoria geotécnica Mecasolo.

4.1.3.1 Laboratório de Reologia dos Solos da COPPE/UFRJ

Foram encaminhadas para o laboratório as amostras extraídas dos furos SRA-1, SRA-2 e SRA-3, das ilhas 1, 2 e 3, respectivamente.

A tabela 11 apresenta a relação das amostragens coletadas e suas respectivas profundidades.

Nas amostras encaminhadas a COPPE/UFRJ foram realizados os seguintes ensaios:

- Em cada amostra um conjunto de ensaios de caracterização completa e determinação do teor de matéria orgânica, perfazendo 14 ensaios.
- Para cada amostragem dois ensaios de adensamento edométricos convencionais, totalizando 24 análises.

Tabela 11. Relações das amostras enviadas para COPPE/UFRJ.

ILHA	AMOSTRA	PROF. (m)
SRA-1	AM-1-1	2,00
	AM-1-2	8,00
	AM-1-3	18,00
SRA-2	AM-2-1	2,00
	AM-2-2	4,00
	AM-2-3	10,00
	AM-2-4	12,00
	AM-2-5	14,00
	AM-2-6	16,00
SRA-3	AM-3-1	5,00
	AM-3-2	7,30
	AM-3-3	9,00
SRA-2	AM-D-2-1	0,00 a 0,50m
Amostras deformadas	AM-D-2-2	1,00 a 1,30m

4.1.3.2 Laboratório de Solos e Instrumentação da UFPE

Foram encaminhadas para o laboratório as amostras extraídas dos furos SRA-4, SRA-5 e SRA-6, das ilhas 4, 5 e 6, respectivamente.

A tabela 12 apresenta a relação das amostras coletadas e suas respectivas profundidades.

Nas amostragens encaminhadas para UFPE, foram realizados os seguintes ensaios:

- Em cada amostra um conjunto de ensaios de caracterização completa e determinação do teor de matéria orgânica, totalizando 12 ensaios.
- Para cada amostragem dois ensaios de adensamento edométricos convencionais, totalizando 24 ensaios.
- Ensaios Triaxiais UU.

Tabela 12. Relações das amostras enviadas para UFPE

ILHA	AMOSTRA	PROF. (m)
SRA-4	AM-4-1	4,0
	AM-4-2	6,0
	AM-4-3	10,0
SRA-5	AM-5-1	2,0
	AM-5-2	4,0
	AM-5-3	6,0
	AM-5-4	10,0
	AM-5-5	13,8
	AM-5-6	17,0
SRA-6	AM-6-1	2,0
	AM-6-2	4,0
	AM-6-3	6,0

4.1.4 Resumo dos ensaios

A seguir as tabela 13 e 14 apresentam uma síntese dos ensaios de campo e laboratório realizado na campanha de investigação que faz parte deste trabalho.

Tabela 13. Resumo dos ensaios de campo

ENSAIOS	QUANTIDADE
Sondagens à percussão	205
Sondagens mistas	20
Coleta de amostras indeformadas tipo Shelby	24
Coleta de amostras deformadas	2
Ensaio de Palheta	78 (em 8 verticais)

Tabela 14. Resumo dos ensaios de laboratório

ENSAIOS	QUANTIDADE
Descrição tátil- visual das amostras	26
Granulometria completa: peneiramento + sedimentação	26
Limites de Atterberg: LL e LP	26
Densidade dos grãos	26
Umidade Natural	26
Teor de Matéria Orgânica	26
Ensaio de adensamento com drenagem Vertical	24
Ensaio Triaxiais UU	7

4.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO

As ilhas 1, 2 e 3 por serem locadas dentro da área onde será destinado o aterro piloto e por estarem dispostas próximas umas das outras, serão analisadas em conjunto, e posteriormente serão caracterizadas as demais ilhas.

Inicialmente serão apresentados os resultados obtidos nas sondagens das ilhas de investigações, sendo traçado o perfil geotécnico das respectivas áreas. No Anexo 01 encontram-se os boletins de sondagens das seis ilhas estudadas.

Após o entendimento do perfil geotécnico, serão apresentados e discutidos os resultados obtidos no ensaio de caracterização. Os ensaios seguiram as especificações técnicas exigências das normas brasileiras, conforme descrito no capítulo 2.

4.2.1 Ilhas de investigações 1, 2 e 3

As sondagens à percussão realizadas nas ilhas de investigações 1, 2 e 3, conforme tabela 9, apresentam uma camada de aluvião muito mole a mole que varia entre 30 a 35 metros de profundidade, sendo destes, aproximadamente vinte e três metros com resultados de SPT apresentando valores em PP (peso próprio), o que corresponde à penetração padrão do amostrador apenas com o peso do sistema (martelo, hastes e amostrador), sem a aplicação da energia correspondente a queda do martelo a uma altura de 75 cm.

Encontram-se nas três ilhas, uma primeira camada com presença de argila orgânica que varia de 4,0 a 8,0 m de profundidade, seguidas por uma camada de argila siltosa, alcançando uma profundidade média de 35 metros, e por fim, uma camada de areia de aproximadamente 10 metros de espessura, conforme pode ser observado no perfil geotécnico apresentado na figura 38.

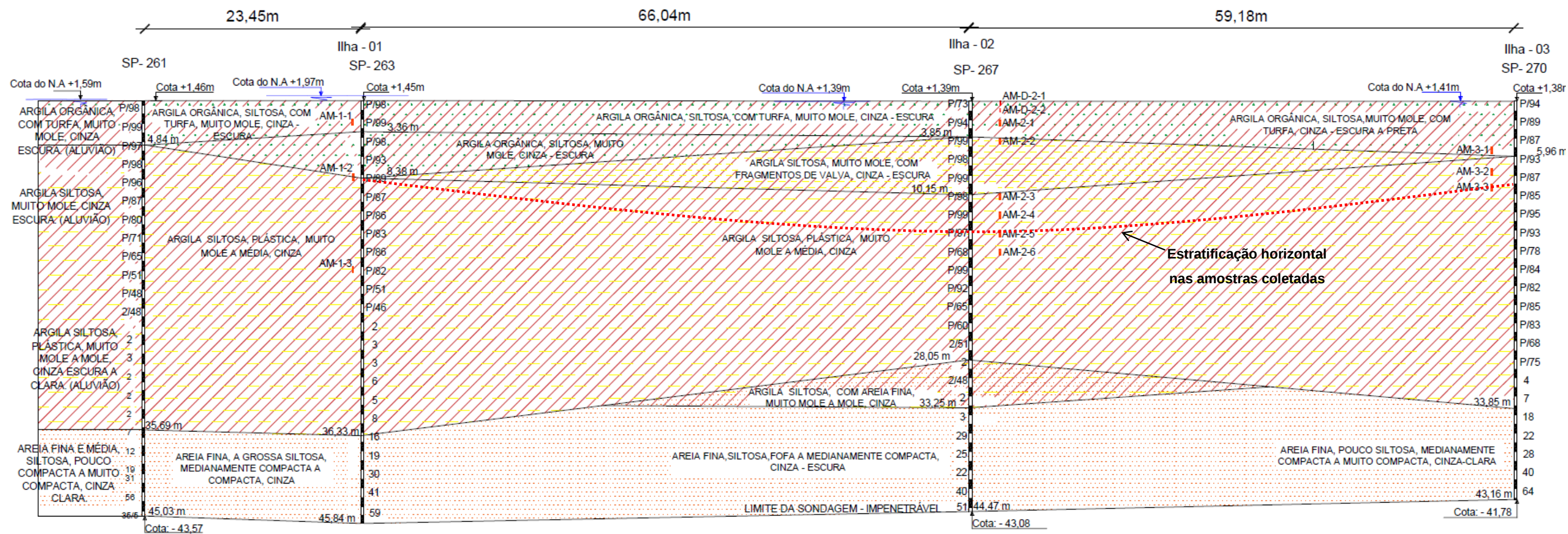


Figura 38. Perfil geotécnico nas ilhas de investigações 1,2 e 3.

Na ilha de investigação 2, coletaram-se duas amostras deformadas para caracterização completa (análise granulométrica por peneiramento e sedimentação, determinação de umidade natural (h_{nat}), limites de liquidez (LL) e plasticidade (LP), densidade dos grãos (Gs) e teor de matéria orgânica), uma na superfície e a outra a um metro de profundidade. Ambas apresentaram um forte cheiro de matéria orgânica, presença de folhas e raízes, o que já era esperado por se tratar de uma área de mangue. Verificou-se também essas características em algumas amostras indeformadas das três ilhas estudada. Observou-se, inclusive, a presença de conchas e fragmentos em algumas amostras. Na amostra AM-2-5, coletada a 14 m metros da ilha de investigação 2, ficou visível uma estratificação horizontal, conforme pode ser visto na figura 39.



Amostra **AM-2-5**, apresentando uma visível estratificação horizontal.



Amostra **AM-3-1**, foi encontrado uma grande concha no meio da amostra.



Amostra **AM-1-1**, observado pequenos pedaços de madeira.



Amostra **AM-2-4**, apresentando bom aspecto.

Figura 39. Imagens de algumas amostras das ilhas 1, 2 e 3.

Fonte: Imagens retiradas do Relatório Técnico – COPPE/UFRJ, Martins, I.S.M., 2012.

A tabela 15 a seguir, apresenta um resumo das observações realizadas em todas as amostras coletadas das três ilhas em questão.

Tabela 15. Tabela de descrição das amostras das ilhas 1, 2 e 3

ILHA	AMOSTRA	PROF. (m)	COR	OBSERVAÇÃO
SRA-1	AM-1-1	2,00	Cinza-carvão	Cheiro de matéria orgânica
	AM-1-2	8,00	Marrom-acinzentada	Descontinuidades naturais
	AM-1-3	18,00	Cinza claro	Forte odor de matéria orgânica e pequenas conchas
SRA-2	AM-2-1	2,00	Marrom-escuro	Cheiro de matéria orgânica e presença de pedaço de raiz esponjosa em decomposição avançada
	AM-2-2	4,00	Cinza-amarronzada	Cheiro de matéria orgânica
	AM-2-3	10,00	Cinza-esverdeado	Cheiro forte de matéria orgânica com vestígios de pequenas conchas
	AM-2-4	12,00	Cinza	Presença de fragmentos de conchas
	AM-2-5	14,00	Cinza-claro	Visível estratificação horizontal, além da presença de conchas.
	AM-2-6	16,00	Cinza	Forte odor de matéria orgânica e presença de conchas
SRA-3	AM-3-1	5,00	Marrom-esverdeada	Forte cheiro de matéria orgânica
	AM-3-2	7,30	Cinza-amarronzada	
	AM-3-3	9,00	Cinza esverdeado	Estratificação horizontal
SRA-2 Amostras deformadas	AM-D-2-1	0,00 a 0,50m	Marrom-escuro	Cheiro forte de matéria orgânica, muito raízes e folhas.
	AM-D-2-2	1,00 a 1,30m	Marrom-escuro	Cheiro forte de matéria orgânica, raízes, folhas e presença de conchas.

Fonte: Adaptado do Relatório Técnico – COPPE/UFRJ, Martins, I.S.M, 2012.

A tabela 16 e 17 a seguir, apresentam os resultados dos ensaios de caracterização e índices físicos realizados nas ilhas de investigações 1, 2 e 3, que foram ordenados em função das profundidades. Todos os ensaios das três ilhas foram realizados no Laboratório de Geotecnia da COPPE/UFRJ, sob coordenação do Prof. Ian Schumann Marques Martins.

A figura 40 apresenta a carta de plasticidade realizada com os resultados dos ensaios apresentados na tabela 17 e 18. Observa-se que todas as amostras apresentaram um elevado limite de liquidez, com variação de 87% a 283% e o índice de plasticidade variando de 59% a 203% localizado a direita da linha B, o que caracteriza solos de alta compressibilidade. Pode-se observar que os resultados estão entorno da linha A com valores acima desta, o que caracterizam solos predominantemente argilosos. Observa-se também uma redução do limite de liquidez com o aumento da profundidade.

Tabela 16 - Valores dos parâmetros de caracterização e índices físicos, das ilhas 1, 2 e 3.

Amostra	Prof. (m)	Granulometria			Limites de Atterberg			G	Corpo de prova	Prof. (m)	w (%)	γ_{nat} (kN/m ³)	e ₀	S (%)	M.O. (%)
		Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)								
AM-D-2-1	0,0 a 0,50	41	37	22	206	70	136	2,298	CP-D-2-1-B	(**)	407	11,8	8,87	100	35,0
									CP-D-2-1-A	(**)	401	11,1	9,34	99	45,6
AM-D-2-2	1,0 a 1,30	27	55	18	283	80	203	2,157	CP-D-2-2-B	(**)	464	10,9	10,11	99	33,2
									CP-D-2-2-A	(**)	422	10,8	9,43	97	54,7
AM-1-1	2,0 a 2,40	19	56	25	171	51	120	2,444	CP-1-1-B	2,28 a 2,32	171	12,8	4,18	100	16,3
									CP-1-1-A	2,32 a 2,36	159	13,0	3,88	100	32,5
AM-2-1	2,0 a 2,70	2	65	33	151	48	103	2,413	CP-2-1-D	2,46 a 2,50	158	13,1	3,74	100	-
									CP-2-1-C	2,50 a 2,54	152	13,1	3,64	100	-
									CP-2-1-B	2,54 a 2,58	153	13,1	3,66	100	14,3
									CP-2-1-A	2,58 a 2,62	159	12,9	3,86	99	14,2
AM-2-2	4,0 a 4,70	2	41	57	155	38	117	2,526	CP-2-2-B	4,54 a 4,58	149	13,1	3,80	99	9,2
									CP-2-2-A	4,58 a 4,62	152	13,1	3,86	99	8,3
AM-3-1	5,0 a 5,43	3	40	57	178	45	133	2,467	CP-3-1-B	5,24 a 5,28	129	13,6	3,15	100	10,8
									CP-3-1-A	5,35 a 5,39	150	13,2	3,68	100	11,6
AM-3-2	7,3 a 8,00	9	41	50	193	56	137	2,407	CP-3-2-B	7,84 a 7,88	169	12,7	4,09	100	11,9
									CP-3-2-A	7,88 a 7,92	166	12,7	4,03	99	10,7
AM-1-2	8,0 a 8,70	2	39	59	208	72	136	2,349	CP-1-2-B	8,54 a 8,58	221	11,8	5,42	96	13,9
									CP-1-2-A	8,58 a 8,62	206	12,3	4,85	100	10,4

Fonte: Adaptado do Relatório Técnico – RL-SUA-GEO-PPE-003, Consórcio Projotec, Planave, Eicomnor, desenvolvido pela Mecasolos, 2012.

Tabela 17 - Valores dos parâmetros de caracterização e índices físicos, das ilhas 1, 2 e 3.

Amostra	Prof. (m)	Granulometria			Limites de Atterberg			G	Corpo de prova	Prof. (m)	w (%)	γ_{nat} (kN/m ³)	e_0	S (%)	M.O. (%)
		Areia	Silte	Argila	LL	LP	IP								
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)								
AM-3-3	9,00 a 9,70	1	33	66	244	73	171	2,324	CP-3-3-B	9,53 a 9,57	264	11,6	6,26	98	15,6
									CP-3-3-A	9,57 a 9,62	262	11,9	6,07	100	16,6
AM-2-3	10,00 a 10,70	3	32	65	176	48	128	2,503	CP-2-3-F	10,42 a 10,45	149	13,4	3,66	100	-
									CP-2-3-E	10,45 a 10,48	142	13,3	3,55	100	-
									CP-2-3-D	10,48 a 10,51	148	13,3	3,67	100	-
									CP-2-3-C	10,51 a 10,54	153	13,1	3,82	100	-
									CP-2-3-B	10,54 a 10,58	151	13,3	3,74	100	9,9
									CP-2-3-A	10,58 a 10,62	165	12,7	4,23	98	13,7
AM-2-4	12,00 a 12,70	5	48	47	87	28	59	2,625	CP-2-4-B	12,54 a 12,58	82	15,2	2,15	100	4,9
									CP-2-4-A	12,58 a 12,62	83	15,1	2,19	99	4,6
AM-2-5	14,00 a 14,70	2	39	59	101	32	69	2,563	CP-2-5-D	14,46 a 14,50	121	13,5	3,19	98	
									CP-2-5-C	14,50 a 14,54	123	13,9	3,12	100	
									CP-2-5-B	14,54 a 14,58	125	12,9	3,47	93	13,8
									CP-2-5-A	14,58 a 14,62	99	14,4	2,53	100	8,1
AM-2-6	16,00 a 16,70	5	47	48	127	31	96	2,466	CP-2-6-B	16,45 a 16,50	88	13,6	2,41	90	7,0
									CP-2-6-A	16,54 a 16,58	93	14,7	2,24	100	4,5
AM-1-3	18,00 a 18,60	3	37	60	104	26	78	2,588	CP-1-3-B	18,44 a 18,48	96	14,5	2,50	99	7,1
									CP-1-3-A	18,48 a 18,52	97	14,4	2,55	98	6,3

Fonte: Adaptado do Relatório Técnico – RL-SUA-GEO-PPE-003, Consórcio Projotec, Planave, Eicomnor, desenvolvido pela Mecasolos, 2012.

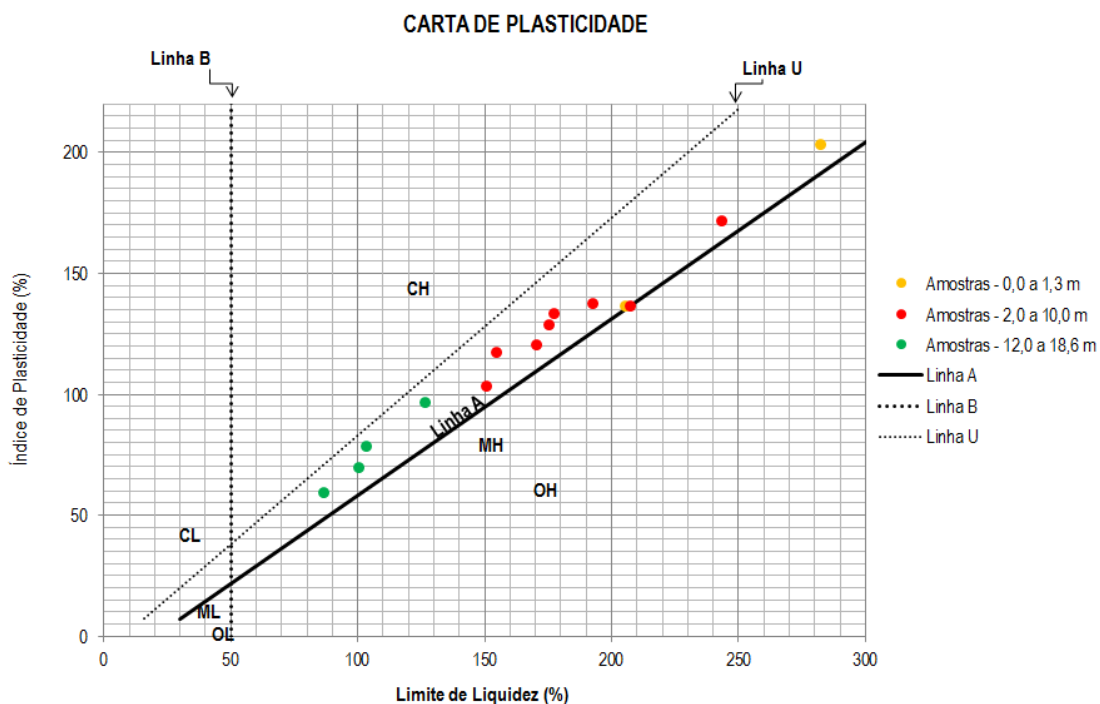


Figura 40. Carta de Plasticidade das ilhas 1, 2 e 3

As figuras 41, 42, 43 e 44 apresentam os resultados dos ensaios de caracterização em função da profundidade nas três ilhas em questão.

Na ilha 2 foram extraídas amostras deformadas superficiais que apontaram a presença de turfa, com alto teor de matéria orgânica, altíssimas umidades e índices de vazios; além do baixo peso específico natural. A camada foi representada no perfil da figura 42, na cor amarela. O valor de teor de matéria orgânica nessa camada atingiu 54%, a umidade chegou ao valor de 464%, já o índice de vazios, apresentou um valor de 10,11. Pelas proximidades das ilhas de investigações e pelo reconhecimento tátil visual, também podemos indicar a presença dessa camada nas ilhas 1 e 3, o que não pôde ser ratificado por falta de amostras.

Na Ilha 2, além da camada superficial de turfa, os resultados mostraram claramente mais duas camadas, uma que variou entre 2,5 a 10,5 metros, com valores médios de umidade de 152%, peso específico 13,12 kN/m³ e índice de vazios de 3,72.

Na camada mais profunda, localizada entre 12,5 a 16,5 metros, observou-se uma redução da umidade, teor de matéria orgânica, índice de vazios e uma elevação do peso específico natural. Os parâmetros obtidos nessa camada, apresentaram os seguintes valores médios: umidade de 101%, teor de matéria orgânica 7,1%, índice de vazios de 2,66 e peso específico 14,16 kN/m³.

Na ilha 1, além da provável camada superficial de turfa, o perfil mostra mais três camadas. Comparado com a ilha 2, as camadas localizadas a 2,3 e 18,5 metros de profundidade se assemelharam com as encontradas nessa ilha em suas respectivas profundidades, porém na camada intermediária, a 8,5 metros, observa-se uma diferença nos valores médios obtidos.

Na ilha 3 foram extraídas amostras nas profundidades de 5,3, 7,8 e 9,5 metros, os valores obtidos dos parâmetros de caracterização encontram-se na mesma faixa das ilhas 1 e 2, exceto na profundidade de 9,5 metros onde observou-se um crescimento dos valores de umidade natural, TMO e índice de vazios.

O peso específico natural apresentou uma média inferior a 13 kN/m^3 , faixa aceitável para solos muito moles, conforme classificação de Godoy (1972) apresentado na tabela 18.

Tabela 18 – Peso específico de solos argilosos (Godoy, 1972)

NSPT	Consistência da argila	Peso específico (kN/m^3)
≤ 2	Muito mole	13
3 - 5	Mole	15
6 - 10	Média	17
11 - 19	Rija	19
$20 \geq$	Dura	21

Analisando as ilhas 1, 2 e 3 em conjunto, o presente trabalho adotará o perfil dividido em três diferentes camadas. A camada superficial com os valores extraídos das amostras deformadas coletada na ilha 2, que apresentaram altos teores de umidade natural, matéria orgânica e índice de vazio inicial.

Uma camada intermediária variando entre 2,5 e 10,5 metro com redução desses valores e por fim uma terceira camada com profundidade superior da 12,5 m de profundidade com valores ainda menores de TMO, W_n e Índice de vazio inicial.

Embora apresente bem definida as três camadas, observa-se nas ilhas 1, 2 e 3 a presença de alguns pontos com pequena dispersão dos valores. Na ilha 1, na profundidade de 8,5 metros, o teor de umidade natural e TMO subiram para os valores médios respectivos de 213% e 13%, tal comportamento também foi observado na profundidade de 9,5 m da ilha 3 onde apresentaram valores médios de W_n e TMO de 263% e 16%. Já a ilha 2, situada entre as duas ilhas, a diferença de comportamento foi observada já na terceira camada, com profundidade de 14,5 m.

Tal comportamento pode ser explicado pela presença de uma subcamada que apresentaram estratificação horizontal como característica, conforme destacado na figura 44. Por falta de uma maior quantidade de amostras para melhor definir a formação de nova camada, foi optado manter a concepção com as três camadas.

Esta dispersão de valores causada pela subcamada, também foi observada nos parâmetros de compressibilidade que serão abordadas no capítulo 5.

Ilha de investigação 1

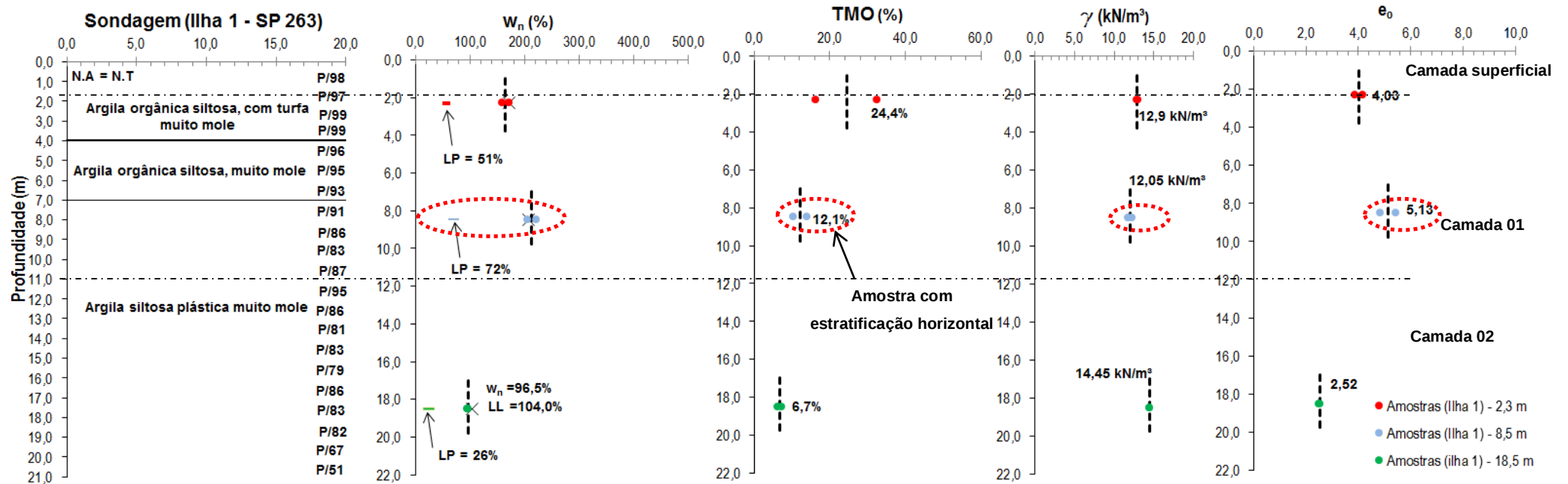


Figura 41. Parâmetros de caracterização das ilhas 1.

Ilha de investigação 2

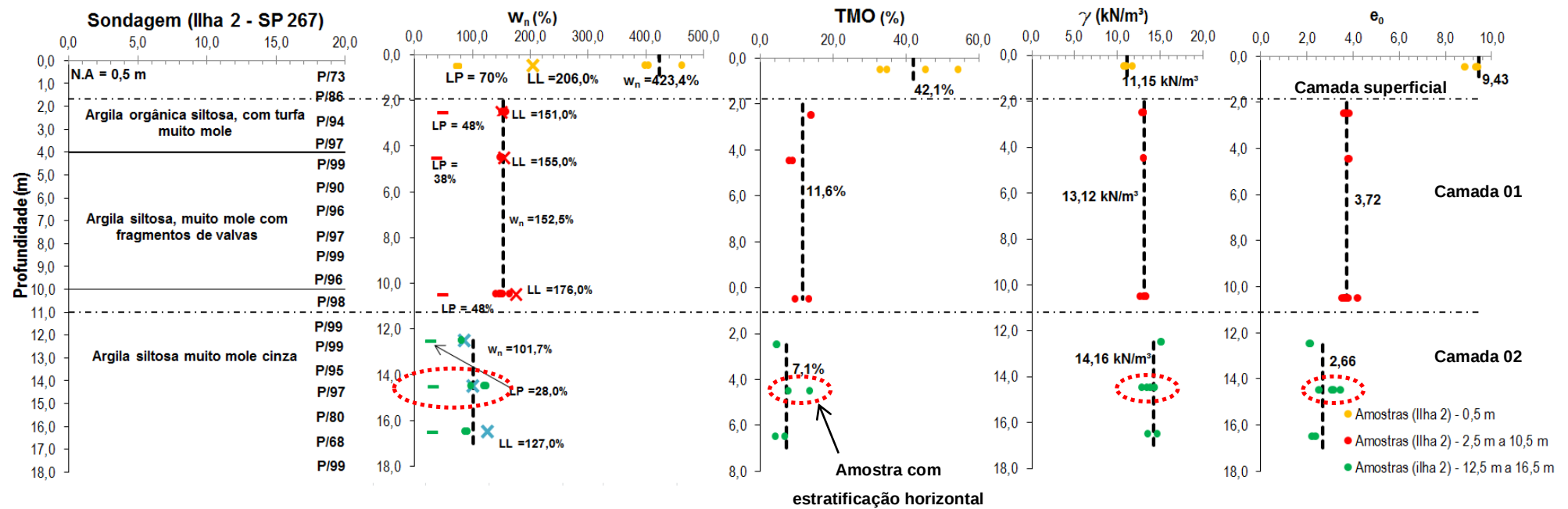


Figura 42. Parâmetros de caracterização das ilhas 2.

Ilha de investigação 3

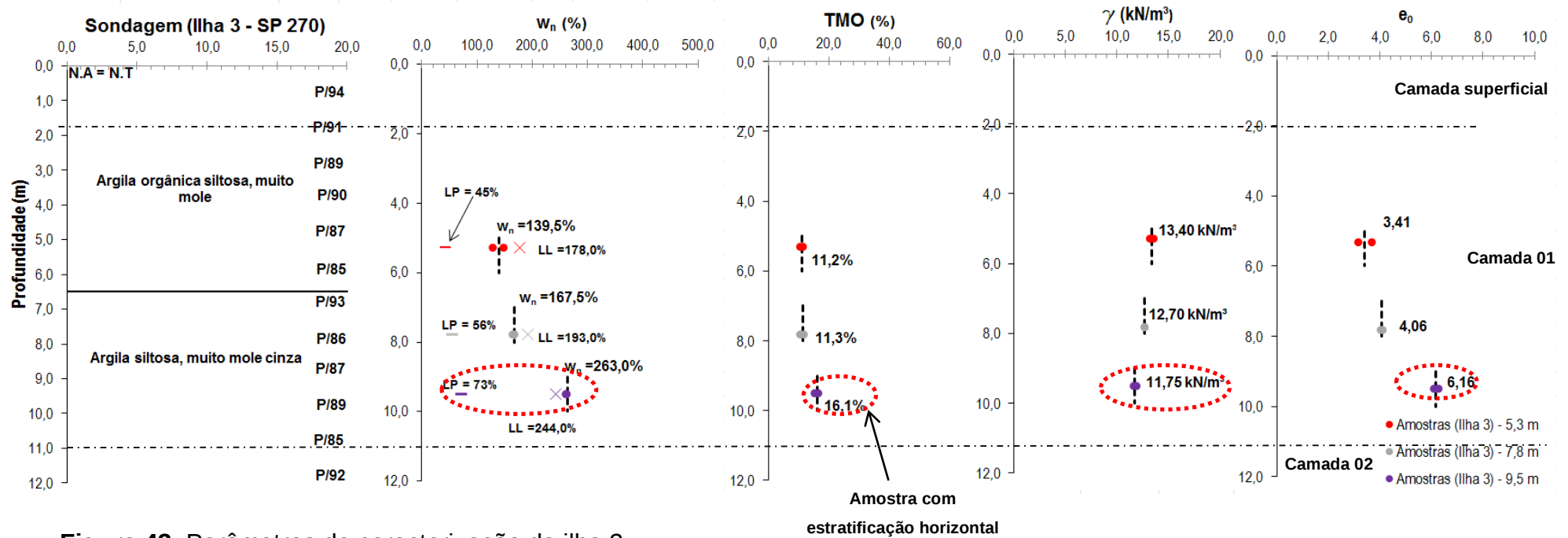


Figura 43. Parâmetros de caracterização da ilha 3.

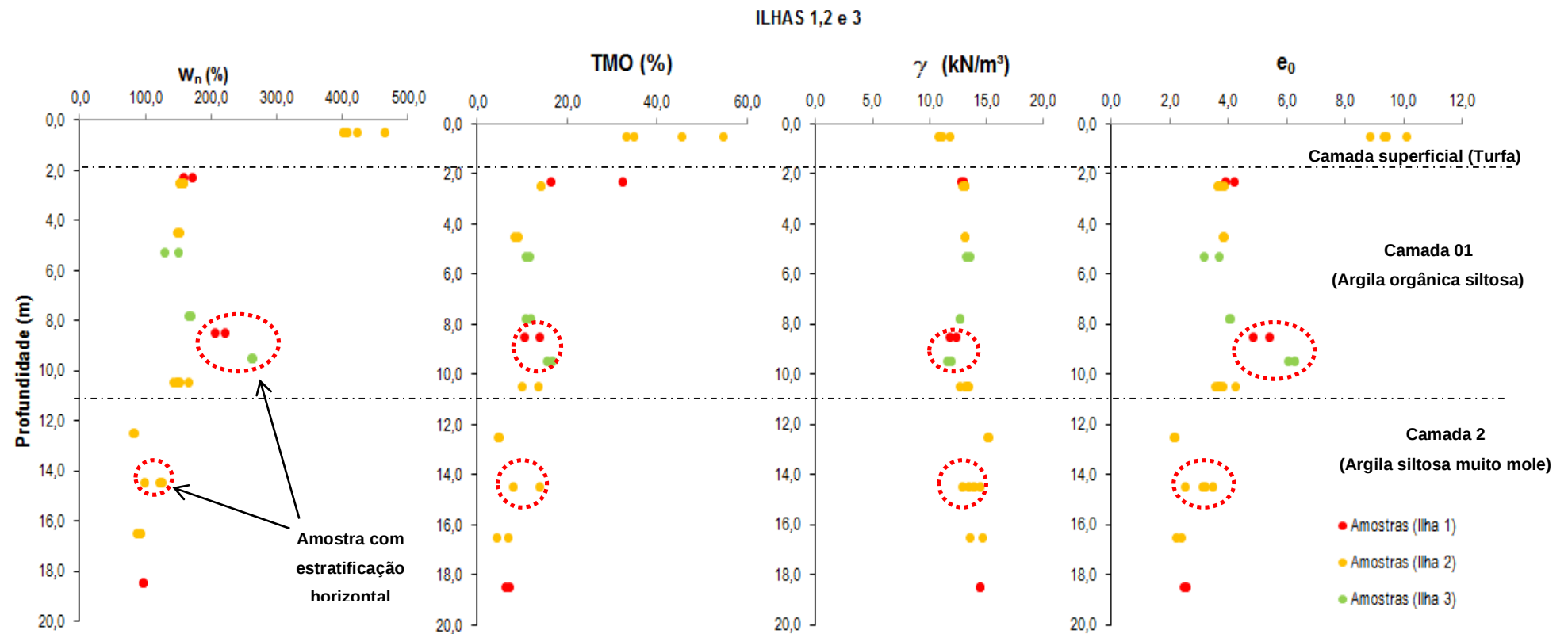


Figura 44. Parâmetros de caracterização das ilhas 1,2 e 3.

Na figura 45, pode-se notar a boa concordância entre os resultados dos ensaios de umidade natural e índices de vazios obtidos nas três ilhas de investigação com a proposta de COUTINHO et.al. (2000), que desenvolveu correlações estatísticas entre padrões de adensamento (C_c , C_e e e_0) em função da umidade inicial ($w\%$) para o Banco de Dados das argilas do Recife.

Para valores de umidade inferior a 200%, que apresentaram maior ocorrência dos resultados do Cluster, observa-se que a equação obtida pela linha de tendência linear, se aproxima da proposta de Coutinho et.al (2000) desenvolvida para as argilas de recife.

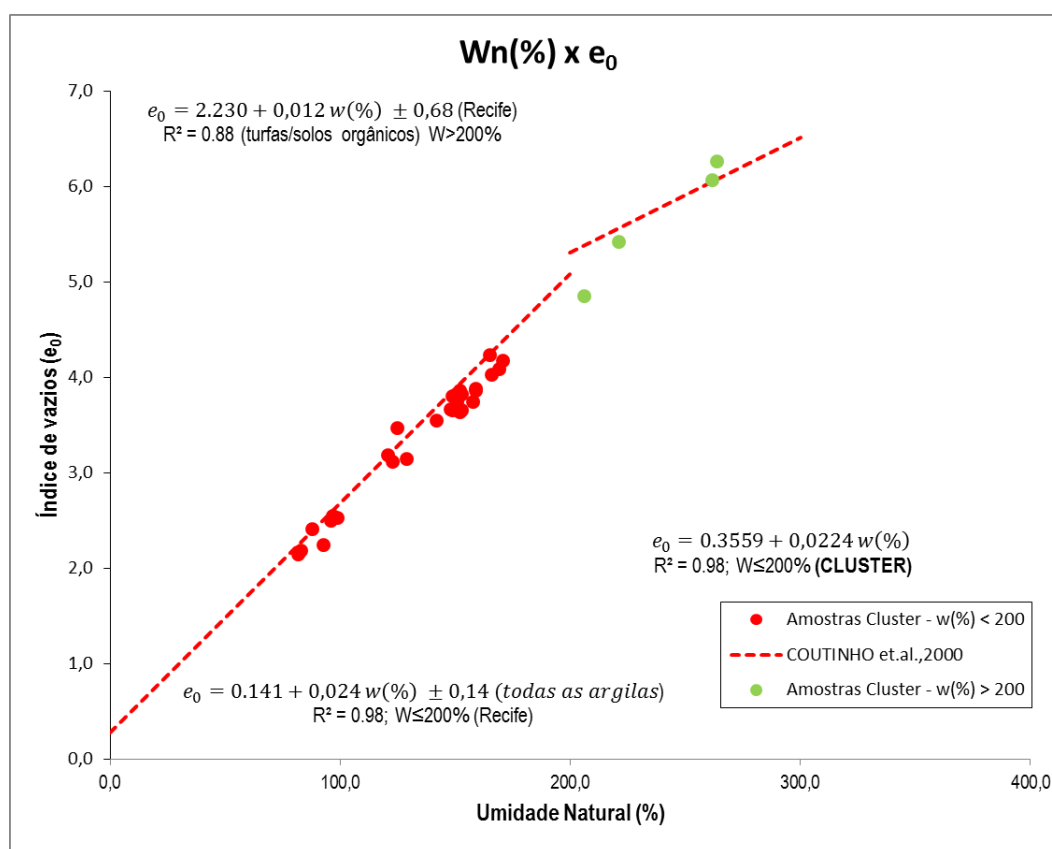


Figura 45. Gráfico do $W_n \times e_0$ das ilhas 1,2 e 3, comparando com a equação proposta por Coutinho,2000, para as argilas de recife.

4.2.2 Ilhas de investigações 4, 5 e 6

4.2.2.1 Perfil Geotécnico

A sondagem de referência da ilha 4(SP-319) mesmo distando aproximadamente 2,0 km das ilhas de investigações 1, 2 e 3, apresentou um perfil

geotécnico semelhante (figura 46) com uma camada inicial de argila orgânica, seguido de uma camada de argila siltosa com trechos apresentando fragmentos de conchas e por fim uma camada de areia. Porém, a camada de aluvião muito mole a mole apresentou uma menor espessura, quando comparada com as ilhas 1, 2 e 3, atingindo uma profundidade de 15 metros.

ILHA - 04

SP- 319

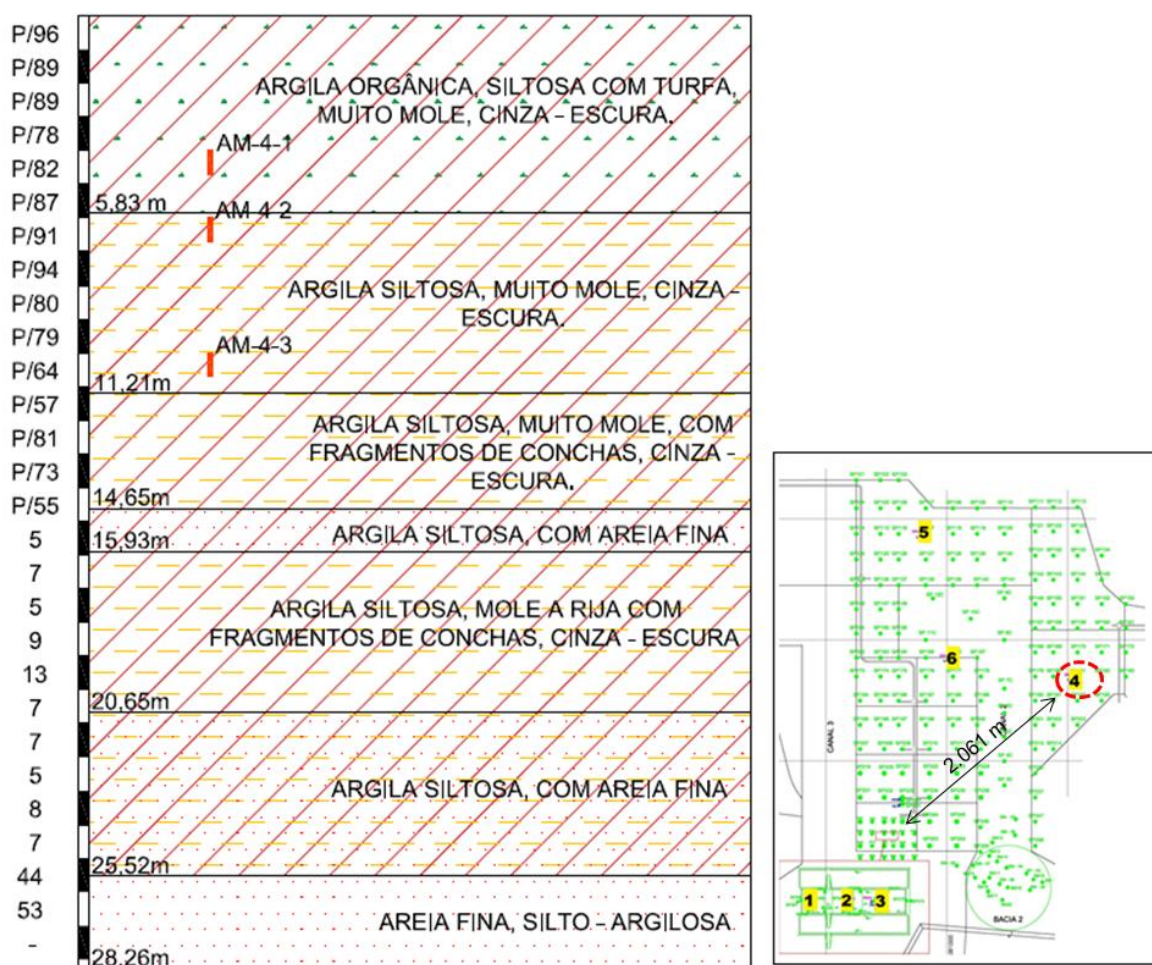


Figura 46. Perfil geotécnico da ilha 4.

Na ilha de investigação 4, foram coletadas 3 amostras indeformadas conforme pôde-se observar na figura 38. As amostras AM-4-1 e AM-4-2 retiradas nas profundidades de 4 e 7 metros respectivamente, apresentaram uma coloração escura com forte cheiro de matéria orgânica. Já a amostragem coletada a 10 metros de profundidade (AM-4-3) apresentou coloração preta, muito plástica e com pequenas conchas.

O Perfil geotécnico obtido na ilha de investigação 05 (figura 47) também se assemelha aos encontrados nas ilhas 1, 2, 3 e 4, com uma camada inicial de argila orgânica, seguido de outra de argila siltosa e por fim uma camada drenante de areia. A camada de aluvião muito mole apresentou uma maior espessura quando comparada com a ilha de investigação 4, chegando a 20 metros de profundidade.

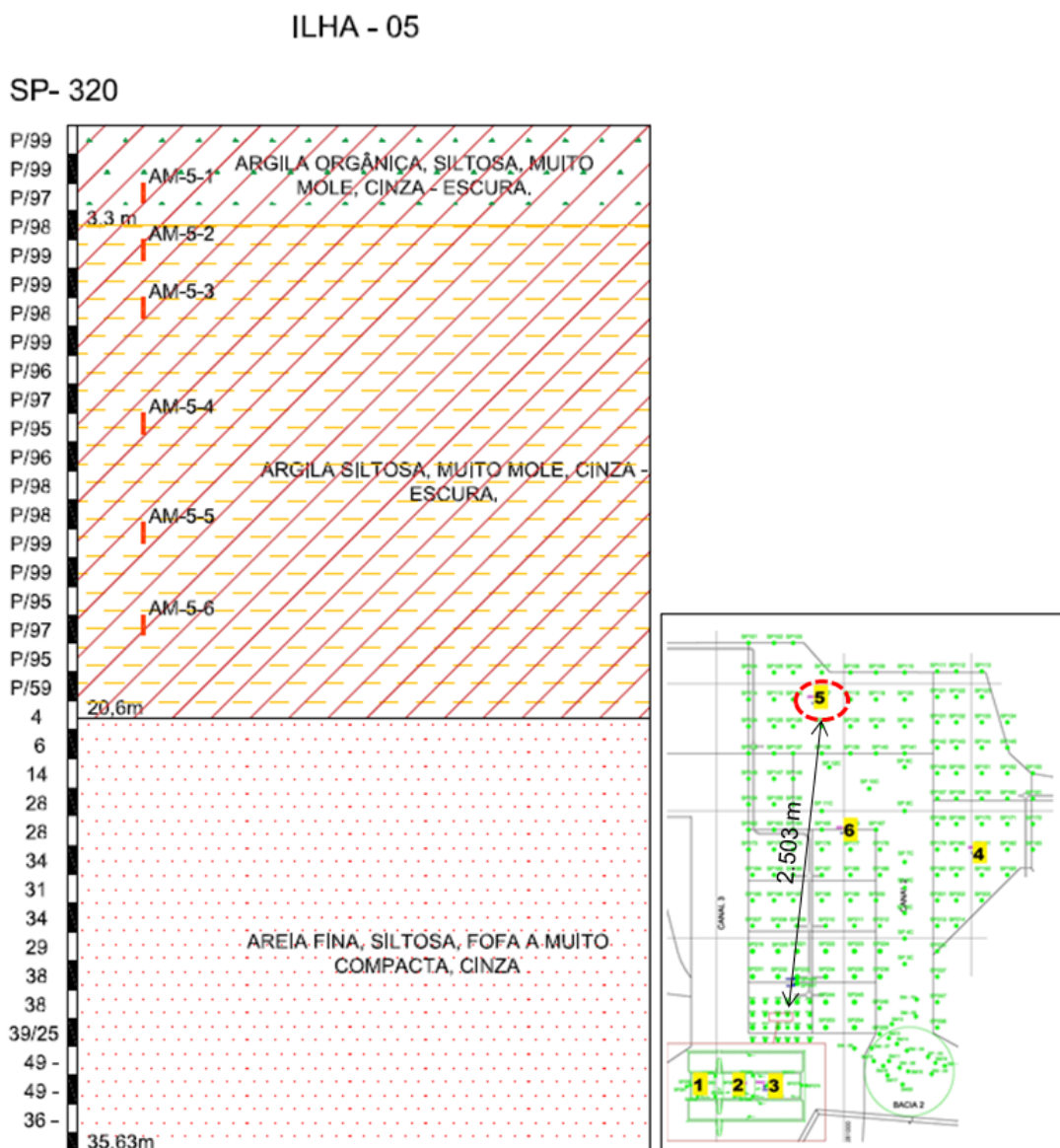


Figura 47. Perfil geotécnico da ilha 5.

Nesta ilha de investigação foram coletadas seis amostras indeformadas. A amostra AM-5-1, coletada a profundidade de 2,0 m, apresentou coloração marrom escura com vegetais em decomposição, sendo classificada como argila orgânica. Na amostragem AM-5-2, extraída a 4,0 metros de profundidade, apresentou coloração muito escura e plástica com conchas e vegetais, também sendo

classificada com argila orgânica. Já a amostra coletada a 6,0 metros (AM-5-3) apresentou coloração cinza escura e homogênea. Na amostragem AM-5-4 a 10,0 m de profundidade, apresentou coloração preta com fragmentos de conchas. Já a amostra AM-5-5 coletada a 13,8 m de profundidade apresentou coloração preta, com vegetais em decomposição e pedaços de pequenas conchas. Por fim, a amostragem AM-5-6 retirada a profundidade de 17,0 m apresentou coloração preta, com vegetais em decomposição.

A ilha de investigação 6 (figura 48) está localizada na área central do cluster, seu comportamento assemelhou-se com as demais: apresentou uma camada inicial de argila orgânica, seguido por uma argila siltosa até a profundidade de 20 metros, onde encontrou uma camada resistente de areia grossa, porém está de aluvião muito mole apresentou menor espessura, atingindo uma profundidade de 12 metros.

Na camada de 11,6 a 13,6 metros de profundidade, no pacote de argila siltosa, encontrou uma lente de areia fina e fofa.

ILHA - 06

SP- 321

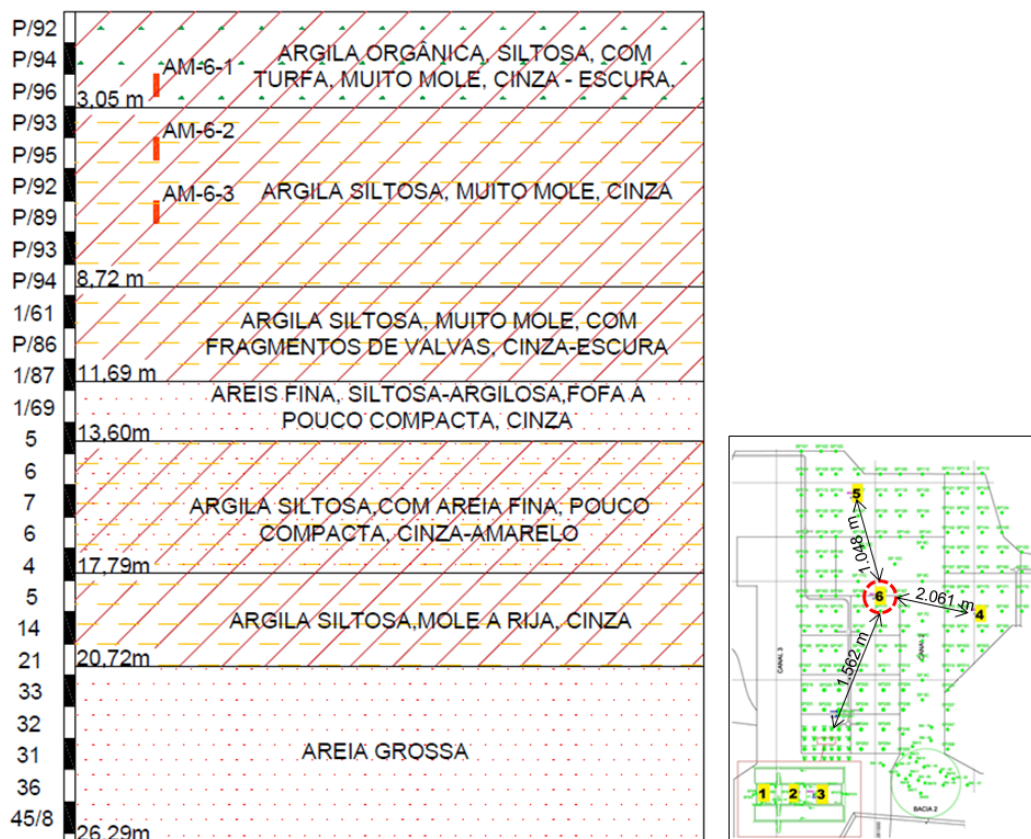


Figura 48. Perfil geotécnico da ilha 6.

Nesta ilha foram coletadas três amostras indeformadas, AM-6-1, AM-6-2 e AM-6-3 nas profundidades de 4,0 m, 7,0 m e 10,0 m respectivamente.

A amostra AM-6-1 apresentou coloração muito escura com vestígios de matéria orgânica em decomposição. Essa característica foi repetida nas amostragens mais profundas, AM-6-2 e AM-6-3.

A tabela 19 a seguir, apresenta os resultados dos ensaios de caracterização e índices físicos realizados nas ilhas de investigação 4, 5 e 6. Todos os ensaios das três ilhas de investigações foram realizados no Laboratório de Solos e Instrumentação do Departamento de Engenharia Civil da UFPE sob a responsabilidade do professor Roberto Quental Coutinho.

Tabela 19 - Valores dos parâmetros de caracterização e índices físicos, das ilhas 4, 5 e 6,

Amostra	Prof. (m)	Granulometria			Limites de Atterberg			M.O. (%)	G (g/cm³)	Corpo de Prova	w (%)	γ ^{nat} (kN/m³)	e ₀	S (%)
		Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)							
AM - 4 -1	4	18	54	28	318	168,1	149,9	34,22	2,247	1,0	247,58	11,78	5,629	98,8
										2,0	239,04	11,77	5,468	98,2
AM - 4 -2	7	15	55	30	374	198	176	46,95	2,094	1,0	328,29	11,01	7,148	96,2
										2,0	333,03	11,00	7,243	96,3
AM - 4 -3	10	17	20	60	159,5	74,7	84,8	14,19	2,442	1,0	128,47	13,36	3,174	98,4
										2,0	125,92	13,48	3,093	99,4
AM - 5 -1	2	8	54	38	0	0	0	9,42	2,522	1,0	225,62	12,22	5,719	99,5
										2,0	225,19	12,21	5,715	99,4
AM - 5 -2	4	2	26	72	178	74,1	103,9	10,75	2,475	1,0	181,08	12,42	4,599	97,3
										2,0	181,08	12,43	4,676	97,3
AM - 5 -3	6	10	30	60	262	97,5	164,5	12,9	2,341	1,0	219,73	11,61	5,697	93,8
										2,0	222,06	11,62	5,494	94,0
AM - 5 -4	10	1	14	85	197	68,4	128,6	9,03	2,509	1,0	169,19	12,77	4,288	99,0
										2,0	169,40	12,74	4,307	98,7
AM - 5 -5	13,8	18	22	60	123,5	52,4	71,1	17	2,557	1,0	116,01	13,92	2,967	100,0
										2,0	123,42	13,47	3,242	97,3
AM - 5 -6	17	2	28	70	134	51,4	82,6	11,99	2,567	1,0	105,05	13,76	2,825	95,46
										2,0	107,13	13,80	2,853	96,39
AM - 6 -1	4	10	25	65	198	55,3	142,7	10,18	2,486	1,0	154,78	11,70	4,415	87,16
										2,0	169,30	11,53	4,809	87,52
AM - 6 -2	7	25	40	35	228	85,6	142,4	16,97	2,503	1,0	200,37	12,35	5,088	98,58
										2,0	190,72	12,07	5,031	94,89
AM - 6 -3	10	18	42	40	238	110,4	127,6	18,21	2,395	1,0	210,72	12,23	5,080	99,34
										2,0	208,2	11,18	5,246	95,04

Fonte: Adaptado do Relatório Técnico - GEGEP-UFPE, 2012.

A figura 49 apresenta a carta de plasticidade com os resultados das seis ilhas de investigações. De modo geral, os resultados apresentaram entorno da linha A, sendo aproximadamente 50% acima da linha, 15% na linha e 35% das amostras ensaiadas, abaixo da linha A. A ilha 4 apresentou valores mais distante da linha A o que destaca a característica de solos orgânicos, o que ficou constatado com os altos teores de matéria orgânica obtido nos ensaios de caracterização; também pode ser visto na figura 49, valores que se aproximaram da reta proposta por Perin, 1974, para turfas.

Conforme abordado no capítulo 2, Coutinho & Bello (2014) realizaram estudos em duas áreas de depósitos de solos moles, localizadas no Porto de Suape, sendo a primeira (AE-01) mais próxima ao Cluster Naval. Ao analisar a carta de plasticidade, o autor observou que os resultados que estão em torno da linha A, em geral, encontram-se abaixo dela indicando a presença de argilas orgânicas/turfa. Embora os resultados apresentados pelo autor, encontrem-se em um maior percentual abaixo da linha A, percebe-se na figura 49 que os resultados obtidos na área AE-01, aproximam-se mais com os resultados obtidos na campanha de investigação do Cluster Naval. Já a área AE-02 apresentam valores mais orgânicos.

Coutinho et al. 1998a, apresenta a carta de plasticidade com resultados de solos moles de Recife e de Jurtunaíba, conforme apresentado na figura 5. Comparando as duas cartas, percebe-se uma maior concentração de pontos na parte inferior do gráfico e entorno da linha A para Recife; indicando as argilas de Recife estudada por Coutinho et al. 1998a, estas apresentam características menos compressíveis quando comparada com as argilas de Suape/PE.

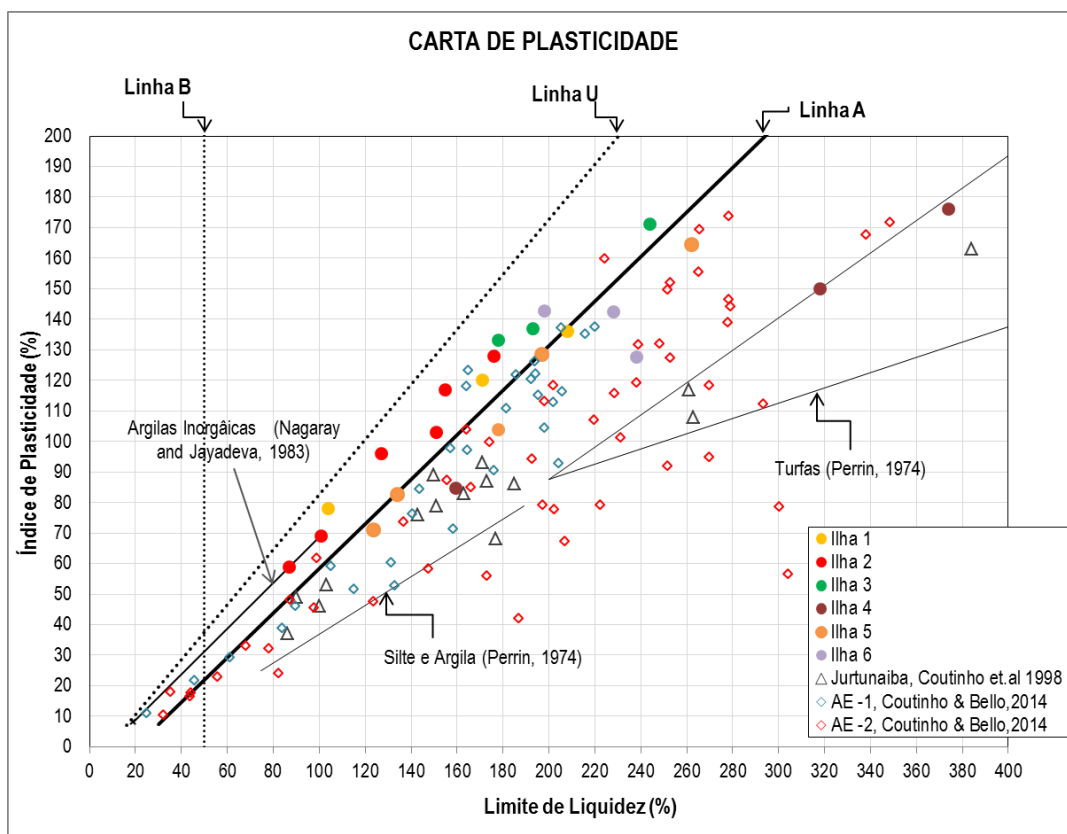


Figura 49. Carata de Plasticidade das ilhas 1,2,3,4,5 e 6, a partir de Coutinho & Bello (2014).

Coutinho (1986) comenta a classificação geral do LPC (Perrin 1974; Magnan 1980). Os solos orgânicos são separados em três grupos:

- 1) solos pouco orgânicos, $3 < \text{TMO} < 10\%$, incluídos na classe de solos finos;
- 2) solos medianamente orgânicos, $10 < \text{TMO} < 30\%$ e;
- 3) solos muito orgânicos, $\text{TMO} > 30\%$. Os dois últimos formando a Classe dos Solos Orgânicos. Os solos normalmente denominados de turfas estariam neste grupo.

Considerando este critério, 32% das amostras obtidas neste trabalho, foram classificadas como pouco orgânicas (52% medianamente orgânica e os 16% restante, muito orgânica). As amostragens classificadas como muito orgânica, foram extraídas das camadas superficiais, exceto na ilha de investigação 4, as quais foram extraídas nas profundidades de 4 e 7 metros.

Futai (1999) propôs uma Carta de Plasticidade, e através dela são determinadas 4 regiões de classificação das argilas do Rio de Janeiro (Figura 50). Três delas estão situadas em torno da Linha A, enquanto a Região IV formada por Itaipú e Juturnaíba situam-se fora desta, visto que possui altos valores de TMO.

Esta classificação é também função da compressibilidade e da faixa dos parâmetros de resistência, conforme apresentado na tabela 20.

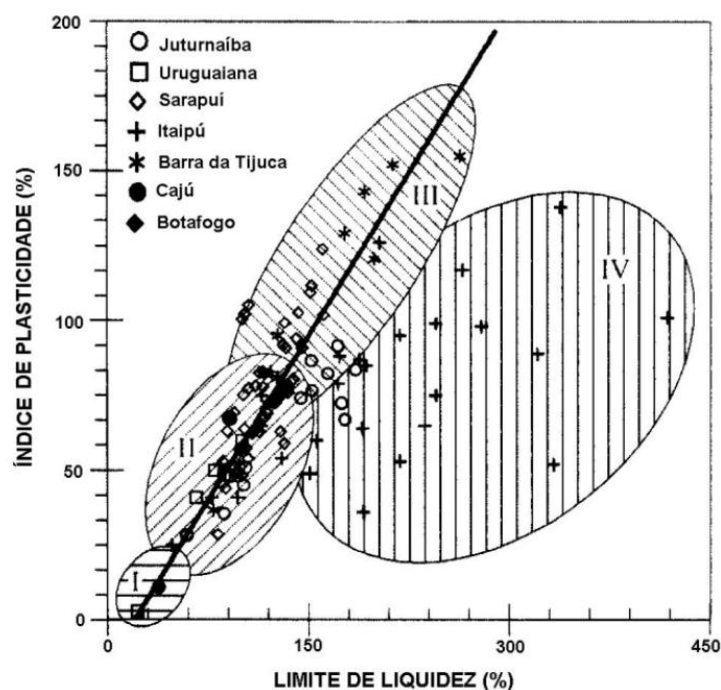


Figura 50. Carta de Plasticidade – argilas do Rio de Janeiro (Futai, 1999; Almeida et.al. 2008).

Fonte: Parâmetros geotécnicos e banco de dados de argila moles: o caso de Suape, Bello, 2011.

Tabela 20 – Classificação das argilas do Rio de Janeiro (Futai,1999, Almeida et.al. 2008)

CLASSIFICAÇÃO	CONSISTÊNCIA	PLASTICIDADE	COMPRESSIBILIDADE	RESISTÊNCIA NÃO DRENADA	eo	IP	LL (%)	Cc / (1 + eo)	Su (kPa)	φ (o)	ARGILAS DO RJ
Região I	Argilas inorgânicas rijas	Baixa	Ligeiramente compressível	Alta	< 2	< 10	< 40	0,15 – 0,35	> 50	28 – 40	Botafogo, Uruguaiana
Região II	Argilas orgânicas ligeiramente moles	Média	Compressível	Baixa	2 – 4	10 – 120	30 – 200	0,25 – 0,35	6 – 15	25 – 35	Cajú, Barra da Tijuca, Sarapuí
Região III	Argilas orgânicas medianamente moles	Alta	Muito compressível	Baixa	4 – 6	> 80	> 100	0,40 – 0,60	6 – 25	30 – 40	Juturnaíba, Sarapuí
Região IV	Argilas orgânicas muito moles – turfa	Baixa	Muito compressível	Baixa	>3,5	> 130	>150	0,25 – 0,35	10 – 25	< 65	Itaipú

Fonte: Adaptado de Parâmetros geotécnicos e banco de dados de argila moles: o caso de Suape, Bello, 2011

Comparando as áreas proposta por Futai (1999) para as argilas do Rio de Janeiro com os ensaios realizados no Cluster Naval Suape (figura 51), verifica-se que a maior concentração de resultados encontra-se na região III, a qual compreende as características das argilas de Juturnaíba e Sarapuí. Estas apresentam características com alta plasticidade e muito compressíveis. Também, observam-se alguns pontos na região II.

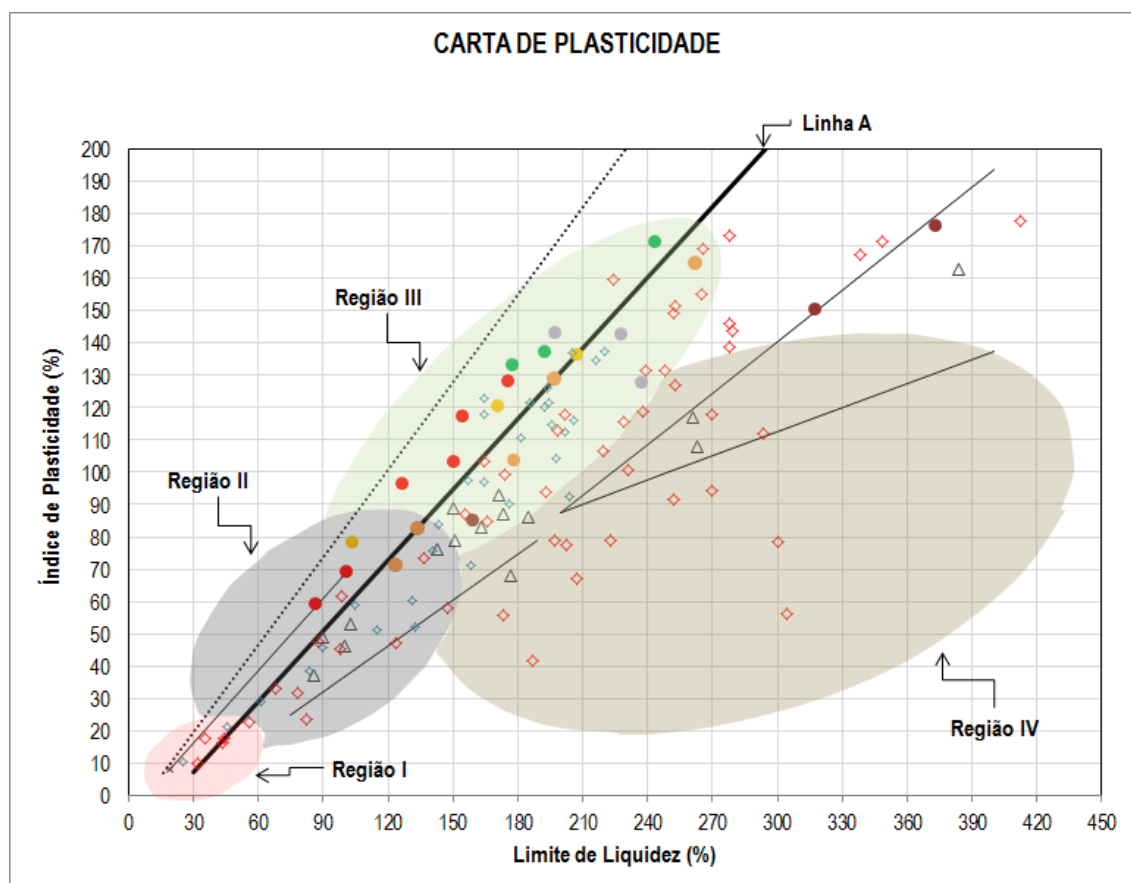


Figura 51. Carata de Plasticidade das ilhas 1, 2,3,4,5 e 6, e área AE-01 e AE-02, a partir de Coutinho & Bello (2014) e com as regiões proposta por Futai (1999) para as argilas do Rio de Janeiro.

Esta comparação objetivou mostrar que as argilas de Suape estão dispostas nas quatro diferentes áreas, sendo analisada apenas a carta de plasticidade.

CAPÍTULO 5

PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA NÃO DRENADA, COMPRESSIBILIDADE E ADENSAMENTO

Este capítulo, inicialmente, abordará os resultados de resistência não drenada, (S_u) e sensibilidade (S_t), obtidos nos ensaio de palheta realizados na campanha de investigação do Cluster Naval, comparando também com outros estudos realizados, como Coutinho & Bello (2014).

Através das 24 amostras indeformadas tipo Shelby coletadas nas seis ilhas de investigações foram realizados ensaios de adensamento, estando determinados os parâmetros de compressibilidade e adensamento. Para a correta interpretação dos dados, foi avaliada a qualidade das amostras e corrigidas as curvas de compressibilidade que apresentaram má qualidade, utilizando a proposta de Oliveira (2002), Schmertmann (1955) e Coutinho (2007). Após as correções, serão discutidos os parâmetros e suas correlações.

5.1 PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO

Para a análise de estabilidade dos taludes de dragagem, foram determinados modelos de resistência ao cisalhamento do pacote de material argiloso muito mole. Os valores de resistência não drenada (S_u) obtidos através dos ensaios de palheta de campo foram corrigidos utilizando o fator de correção (μ) proposto por Bjerrum (1972) que é função do índice de plasticidade (IP) da argila, conforme observa na expressão 3: (S_u (projeto) = μS_u (palheta)) apresentado no capítulo 2.

A seguir serão apresentados os resultados obtidos nos ensaio de Palheta realizado na campanha de investigação do cluster Naval, e em seguidas comparados com outros depósitos de argilas moles brasileiras.

5.1.1 Ensaio de palheta de campo

Conforme já mencionado no capítulo anterior, foi realizada uma vertical do ensaio de palheta em cada ilha de investigação. Neste item serão abordados todos os resultados desta apuração, em especial as ilhas 1, 2 e 3 que estão locadas na área do aterro piloto.

Os valores de resistências não drenadas S_u obtidos nos ensaio de palheta, apresentaram como de tendência um crescimento com a profundidade, porém, em alguns casos nota-se uma descontinuidade. De modo geral, até a profundidade de vinte e dois metros os resultados obtidos apresentaram valores inferiores a 25 kPa, característica de solos muito moles.

Na ilha de investigação 1, observa-se que entre a profundidade de 6,0 m a 12,0 m a sensibilidade (S_t) e a resistência não drenada (S_u), apresentaram valores abaixo do que todos os demais ensaios realizados nas seis verticais, o que revelam o fato da argila ter sofrido um amolgamento expressivo decorrente das operações de ensaios anteriores, ou até mesmo algum problema no equipamento não identificado durante o ensaio. Também se destacam as possíveis perturbações nas camadas de solo mole decorrente das rupturas ocorridas durante a construção do aterro provisório para o acesso à ilha de Tatuoca.

Para efeito do estudo, os quatro valores destacado foram desconsiderados.

Na ilha 1 fica evidenciado duas camadas: uma primeira com baixa resistência, apresentando valor médio de 5 kPa e a segunda com profundidades superiores a 14 metros, apresentando ganho de resistência, que atingiu 27 kPa.

As ilhas 2 e 3 apresentaram um comportamento semelhante, conforme pode ser observado na figura 52. Porém, na ilha 3, nota-se uma leve redução da resistência nas camadas de 14 e 16 metros de profundidade, em quanto que na ilha 2 verifica-se um ganho de resistência nessas profundidades.

A seguir, a figura 52 apresenta os resultados das ilhas 1, 2 e 3 e na figura 53, uma comparação entre esses resultados.

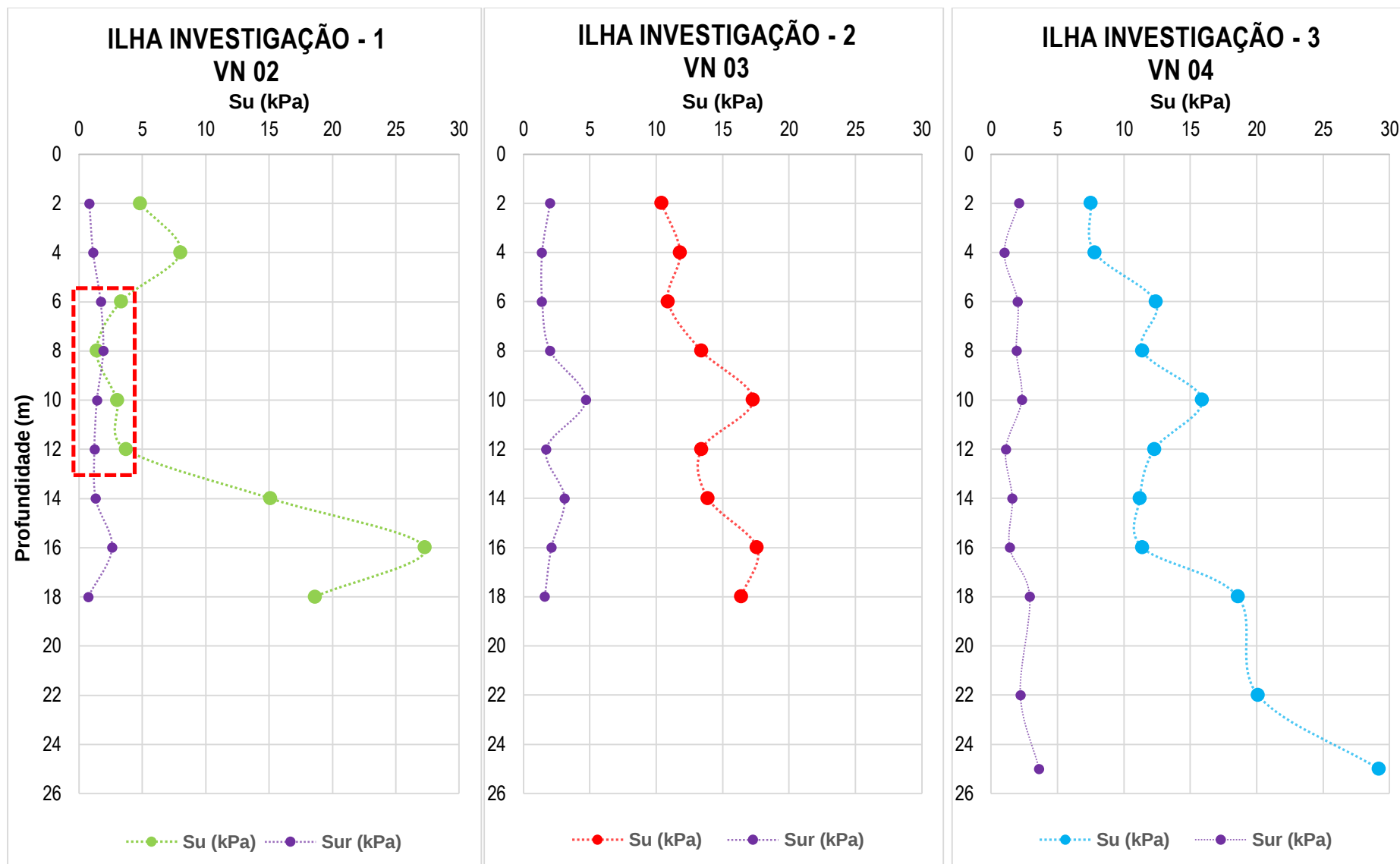


Figura 52. Resultados dos ensaios de palheta nas ilhas 1, 2 e 3, destacados em vermelho os ensaios descartados da ilha 1.

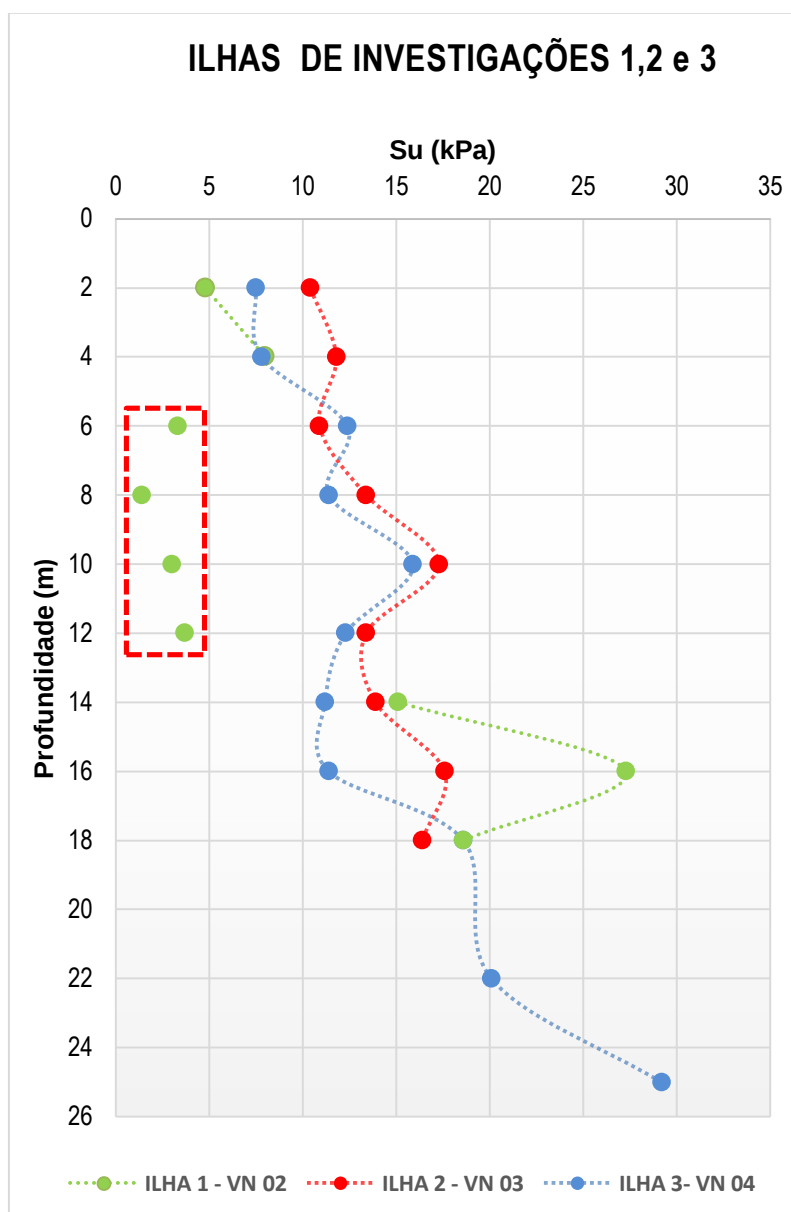


Figura 53. Resultados dos ensaios de palheta nas ilhas 1,2 e 3, destacando em vermelho os resultados descartados.

A tabela 21 apresenta o resumo dos resultados obtidos nas ilhas 1, 2 e 3, com valores de sensibilidade (S_t) e S_u de projeto corrigido pela proposta de Bjerrum.

Tabela 21 – Resultado dos ensaios de Palheta e correção de Bjerrum (1972) das ilhas 1, 2 e 3

Ilha	Vertical	Prof. (m)	Su _{VT ind} (kPa)	Su _{VT def} (kPa)	St	IP (%)	μ	Su _{proj} (kPa)
1	VN - 02	2	4,8	0,8	6,00	170	0,479	2,3
		4	8	1,1	7,27	129	0,537	4,3
		6	3,3	1,7	1,94	152	0,499	1,6
		8	1,4	1,9	0,74	152	0,499	0,7
		10	3	1,4	2,14	152	0,499	1,5
		12	3,7	1,2	3,08	114	0,569	2,1
		14	15,1	1,3	11,62	70	0,711	10,7
		16	27,3	2,6	10,50	86	0,649	17,7
		18	18,6	0,7	26,57	86	0,649	12,1
2	VN - 03	2	10,4	2	5,20	170	0,479	5
		4	11,8	1,4	8,43	129	0,537	6,3
		6	10,9	1,4	7,79	152	0,499	5,4
		8	13,4	2	6,70	152	0,499	6,7
		10	17,3	4,7	3,68	152	0,499	8,6
		12	13,4	1,7	7,88	114	0,569	7,6
		14	13,9	3,1	4,48	70	0,711	9,9
		16	17,6	2,1	8,38	86	0,649	11,4
		18	16,4	1,6	10,25	86	0,649	10,6
3	VN - 04	2	7,5	2,1	3,57	170	0,479	3,6
		4	7,8	1	7,80	129	0,537	4,2
		6	12,4	2	6,20	152	0,499	6,2
		8	11,4	1,9	6,00	152	0,499	5,7
		10	15,9	2,3	6,91	152	0,499	7,9
		12	12,3	1,1	11,18	114	0,569	7
		14	11,2	1,6	7,00	70	0,711	8
		16	11,4	1,4	8,14	86	0,649	7,4
		18	18,6	2,9	6,41	86	0,649	12,1
		22	20,1	2,2	9,14	86	0,649	13
		25	29,2	3,6	8,11	86	0,649	19

A ilha de investigação 5, Vane – 07, apresentou uma camada de solo muito mole com resistência abaixo dos 12 kPa até a profundidade dos 12 metros. Nas profundidades de 14, 16 e 18 m, o solo obteve um ganho de resistência apresentando uma média de 33 kPa.

Na ilha de investigação 4, Vane – 06, esse ganho de resistência ficou constatado nas camadas mais superficiais quando comparado com as ilhas 1, 2, 3 e 5, atingindo valor de 34 kPa na profundidade de 6,0 m e na profundidade de 12,0 m o valor chegou a 123 kPa, o que já caracteriza um argila Rija.

O comportamento da resistência não drenada na ilha de verificação 6 se assemelhou com o da ilha 4, apresentando uma camada de 6,0 metros com valores iniciais abaixo dos 18 kPa, obtendo um ganho de resistência na profundidade de 8 e 9,7 m, nesse último, atingiu valor de 45kPa.

A seguir a tabela 22 e a figura 54 apresentam os resultados dos ensaios de Palheta nas ilhas de investigações 4, 5 e 6. Na mesma figura, apresentam-se alguns valores de S_u obtidos nos ensaios triaxiais do tipo UU.

Tabela 22 – Resultado dos ensaios de Palheta e correção de Bjerrum (1972) das ilhas 4, 5 e 6

Ilha	Vertical	Prof. (m)	S_{uVT} ind (kPa)	S_{uVT} def (kPa)	St	IP (%)	μ	S_{uproj} (kPa)
4	VN - 06	2	10,6	0,8	13,25	170	0,479	5,1
		4	23,6	3,3	7,15	129	0,537	12,7
		6	34	8,7	3,91	152	0,499	17
		8	50,4	13	3,88	152	0,499	25,1
		10	52,3	4,7	11,13	152	0,499	26,1
		12	123,7	36,7	3,37	114	0,569	70,4
5	VN - 07	2	3,5	0,9	3,89	170	0,479	1,7
		4	7,9	0,4	19,75	129	0,537	4,2
		6	6,9	1,5	4,60	152	0,499	3,4
		8	7	0,7	10,00	152	0,499	3,5
		10	9,7	0,5	19,40	152	0,499	4,8
		12,5	12,2	0,9	13,56	59	0,762	9,3
		14	32,4	0,8	40,50	70	0,711	23
		16	37,6	0,7	53,71	86	0,649	24,4
		18	32,3	1,2	26,92	86	0,649	21
6	VN - 08	2	8,7	0,5	17,40	170	0,479	4,2
		4	10,6	0,8	13,25	129	0,537	5,7
		6	18,5	2,4	7,71	152	0,499	9,2
		8	28,9	0,9	32,11	152	0,499	14,4
		9,7	45,2	4,7	9,62	152	0,499	22,6

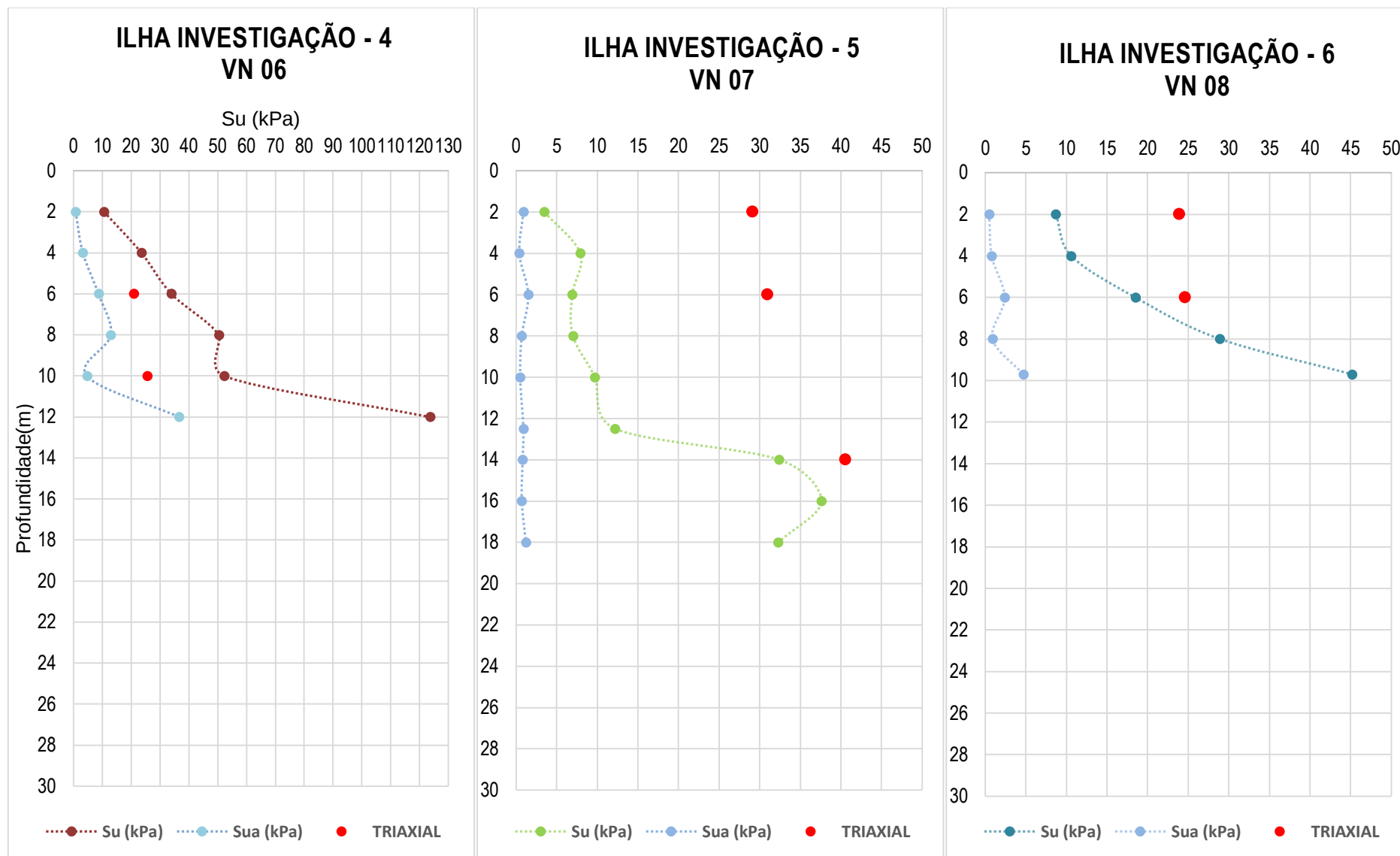


Figura 54. Resultados dos ensaios de palheta nas ilhas 4,5 e 6

Embora os valores S_u médios obtidos a partir do ensaio de palheta sejam geralmente maiores que os obtidos em laboratório, neste estudo, os valores de laboratório apresentaram um ganho considerável de resistência, exceto na ilha 4.

Contudo, é importante relatar que as amostras passaram três anos e meio até serem ensaiadas, embora tenham sido mantidas na câmara úmida, possivelmente acarretou o ressecamento da argila e o consequente crescimento expressivo da resistência cisalhante. Também se destaca que as amostras utilizadas nos ensaios triaxiais foram extraídas dos restos dos Shelby utilizados nos ensaios realizados em 2012.

A seguir a tabela 23 apresenta os resultados de S_u obtidos nos ensaios triaxiais realizados.

Tabela 23 – Resultado dos ensaios triaxiais UU das ilhas 4, 5 e 6

Amostra	Prof.(m)	S_u (kPa)
AM -4-2	6,47	20,93
AM -4-3	10,55	25,59
AM -5-1	2,47	29,10
AM -5-3	6,57	30,96
AM -5-5	14,37	40,55
AM -5-6	17,28	43,36
AM -6-1	2,29	23,89
AM -6-3	6,57	24,66

Skempton e Northey (1952) propôs um critério para classificação da sensibilidade das argilas, apresentado na tabela 24. As argilas do Cluster, segundo esse critério, apresentaram valores elevados, sendo 82% dos ensaios classificados entre argilas Sensíveis a Quick-Clays. Entre as ilhas, destacam-se as 5 e 6 com maiores valores, apresentando aproximadamente 60% de seus resultados como valores superiores a 16, classificando assim como argila Quick-Clays. Por outro lado, a ilha quatro apresentou uma maior ocorrência de argilas classificadas com média sensibilidade.

A tabela 25 apresenta o número de ocorrência segundo a classificação de (Skempton e Northey, 1952) nas seis ilhas investigadas.

Tabela 24 – Classificação da sensibilidade (Skempton e Northey,1952.)

Sensibilidade	Classificação
1	Argilas insensíveis
1 – 2	Argila de baixa sensibilidade
2 - 4	Argila de média sensibilidade
4 - 8	Argila sensível
8 ≥	Argila extremamente sensível
16 ≥	Quick-Clays

Tabela 25 – Sensibilidade das argilas investigadas de acordo com o critério de Skempton e Northey,1952

Ilhas de investigações	Nº de ocorrência					
	Insensíveis	Baixa sensibilidade	Média sensibilidade	Sensível	Extremamente sensível	Quick-Clays
Ilha 1			2		2	1
Ilha 2			1	5	3	
Ilha 3			1	6	4	
Ilha 4			3	1	2	
Ilha 5			1	1	2	5
Ilha 6				1	1	3
TOTAL	0	0	8	14	14	9
%	0%	0%	18%	31%	31%	20%

Coutinho & Bello (2014) apresentam os resultados obtidos nos ensaios de palheta de campo nas áreas AE-1 e AE-2 para as argilas de Suape. Ao comparar seus resultados com os obtidos na campanha de investigação do Cluster Naval, nota-se que as argilas situadas na área do aterro piloto (ilhas 1, 2 e 3) mais próximas da área E-1, apresentam comportamento similares, também se assemelhando a ilha 5.

A figura 55 apresenta quatro comparações entre os resultados de S_u obtidos no Cluster com Coutinho e Bello (2014):

- (1) Os resultados das ilhas 1, 2 e 3 com a área AE-1(Coutinho e Bello,2014)
- (2) Os resultados das ilhas 4, 5 e 6 com a área AE-1(Coutinho e Bello,2014)
- (3) Os resultados das ilhas 1, 2,3,4,5 e 6 com a área AE-2 (Coutinho e Bello,2014)
- (4) Os resultados das ilhas 1, 2, 3,4,5 e 6 com a área AE-1 e AE-2(Coutinho e Bello,2014)

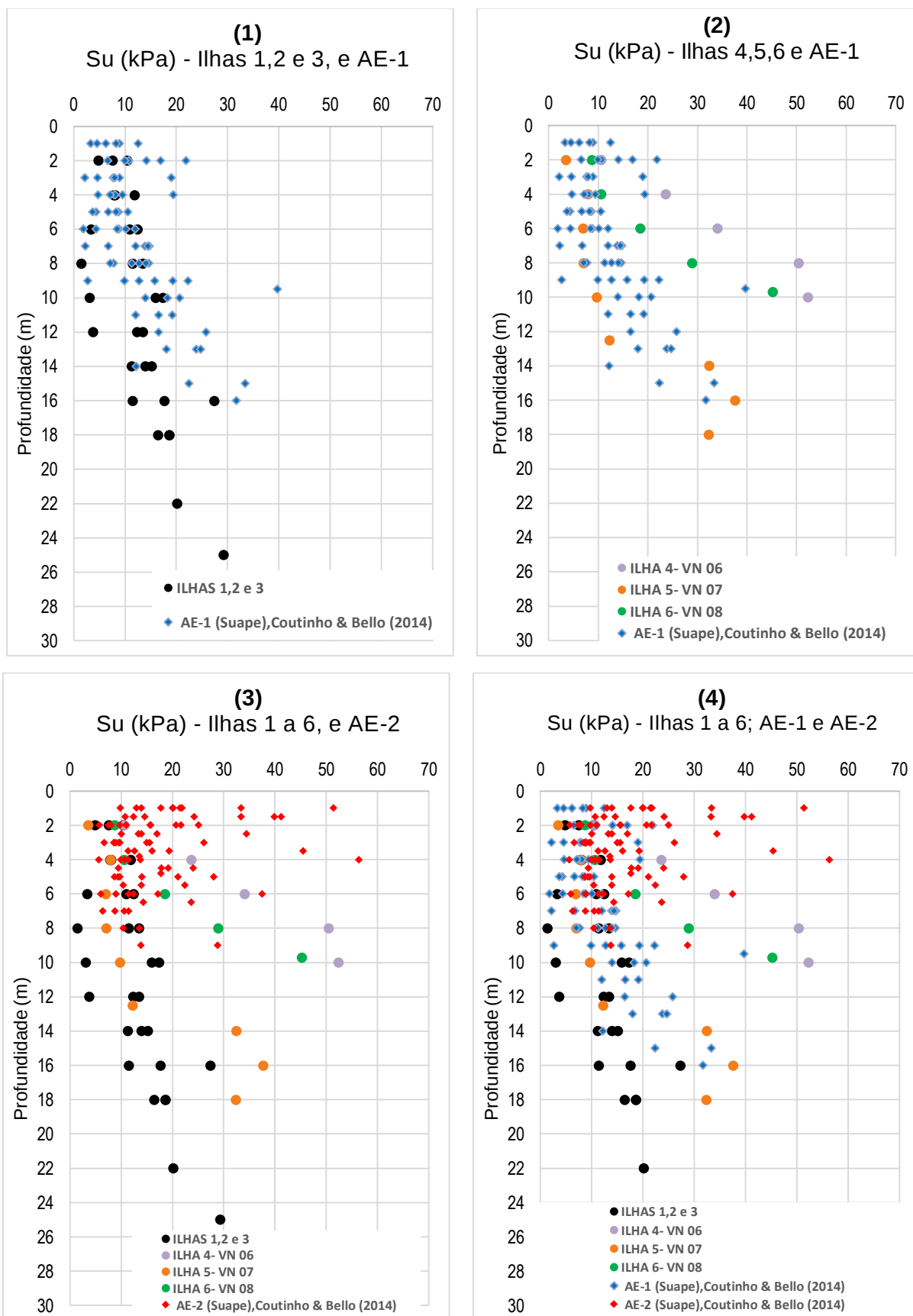


Figura 55. Resultados dos ensaios de palheta do Cluster Naval e das áreas AE1 e AE-2 (a partir de Coutinho & Bello, 2014) .

De modo geral, apresentam valores entorno de 10 kPa até a profundidade de 8 metros, aumentando o valor com a profundidade entre 10 a 30 kPa.

Observa-se que os valores obtidos neste trabalho variaram em média entre 5 kPa a 53 kPa, exibindo uma maior concentração de resultados (32%, entre 10 a 15 kPa) conforme observado na figura 56. Analisando os valores entre 0 a 15 kPa, esse percentual atinge 57% de todos os ensaios de Palheta realizados no Cluster Naval.

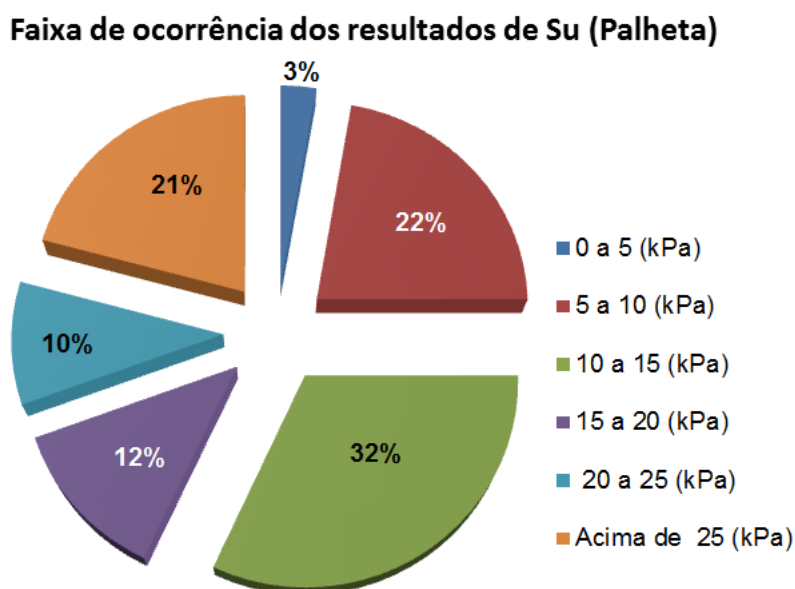


Figura 56. Gráfico com o percentual de ocorrência dos resultados de S_u de campo em diferentes faixas.

Coutinho et al. (2000) apresenta uma tabela que traz valores médios de S_u obtidos através dos ensaios de palheta, parâmetros de umidade e índice de plasticidades para diferentes depósitos de solos moles brasileiros. A partir desta tabela, Bello (2011), acrescentou resultados de Suape nas áreas AE-1 e AE-2.

Considerando a proximidade entre as áreas AE-1 e as ilhas 1, 2 e 3, o presente trabalho propõe uma nova faixa que grupa os resultados das duas áreas, Conforme apresentado na tabela 26.

Ao comparar os resultados entre Suape e Recife, percebe-se que as faixas de S_u apresentado para Recife/PE, encontram-se com valores superiores ao o obtido para Suape.

Tabela 26 – Valores de S_u palheta, IP e umidade natural para argilas/solos orgânicos brasileiros incluindo os resultados do presente trabalho. (a partir de Bello, 2011 e Coutinho et al. 2000)

Local	Faixa S_u (kPa)	IP (%)	wn (%)	Referência
Suape/PE – (AE-1 e Ilhas 1,2 e 3)	5 - 30	10 - 170	80-260	Presente trabalho
Suape/PE - (AE-1)	2-33	10-137	10-220	Coutinho & Bello (2014)
Suape/PE - (AE-2)	5-40	23-200	90-420	Coutinho & Bello (2014)
Recife/PE (Clube Internacional)	34-56	33-70	45-100	Oliveira (2000)
Recife/PE (SESI - Ibura)	14-37	53-96	80-150	Oliveira & Coutinho (2000)
Recife/PE (Galpão BR -101)	18-40			Bello (2004)
Jurtunaíba/RJ (aterro experimental)	6-36	27-100	46-153	Coutinho (1986b)
Jurtunaíba/RJ (Barragem -Trechos II e V)	10-30	27-100	46-153	Coutinho et al. (1988)
Jurtunaíba/RJ (Barragem -Trechos III-2)	5-25	27-100	46-153	Coutinho et al. (1988)
Sarapuí/RJ	7-22	30-110	100-170	Ortigão & Collet (1986)
Porto Alegre/RJ	10-32	40-80	50-130	Soares (1997)
Barra da Tijuca/RJ	6-30	120-250	100-500	Lacerda e Almeida (1995)
Itaipu/RJ	8-26	60-200	100-475	Sandroni et al. (1984)
Santos/SP	10-60	15-90	90-140	Massad (1988)
Sergipe	12-25	20-70	40-60	Sandroni et al (1997)
Enseada Cabritos/BA	9-17	50	65-110	Baptista & Sayão (1998)
João Pessoa/ PB	13-40	-	35-150	Conceição (1997)

Fonte: Adaptado de Parâmetros geotécnicos e banco de dados de argila moles: o caso de Suape, Bello, 2011.

5.2 ENSAIO DE ADENSAMENTO

Através dos resultados dos ensaios de adensamento permitiu-se a determinação dos parâmetros de compressibilidade e adensamento, tais como: índices de compressibilidade (C_r , C_c , e C_s), tensão de pré-adensamento (σ'_{vm}) e coeficiente de adensamento C_v .

Foi determinada a curva de compressibilidade em termos de índice de vazio (e) versus tensão vertical efetiva (σ'_v), este último, em escala log.

Além das curvas de compressibilidade, foram apresentadas as curvas de coeficiente de adensamento por drenagem vertical (c_v) versus tensão vertical efetiva σ'_v média do estágio, com σ'_v em escala log.

Para a determinação da tensão de sobreadensamento (σ'_{vm}) foi utilizado o método de Pacheco e Silva (1970). O índice de recompressão (C_r) foi calculado no trecho de recompressão a partir da tensão vertical efetiva in situ (σ'_{v0}), já o índice de

compressão (C_c) foi determinado no trecho retilíneo da curva de compressão virgem logo após a tensão de sobreadensamento (σ'_{vm}). Por fim, o índice de expansão (C_s) foi calculado sobre a reta secante à curva de expansão que une os pontos de início e fim do descarregamento.

5.2.1 Ilhas de Investigações 1, 2 e 3

Nas ilhas de investigações 1, 2 e 3 foram coletadas 12 amostras tipo Shelby que deram origem a 24 ensaios de adensamento edométrico convencionais, todos realizados no Laboratório de Reologia dos Solos da COPPE/UFRJ. É importante ressaltar que o processo de amostragem de parte dessas amostras, contou com a participação do Professor Ian Schumann Marques Martins, sendo de fundamental importância para a obtenção de amostras de excelente qualidade.

A metodologia utilizada para esses ensaios foi baseada na velocidade de deformação específica do corpo de prova, apenas realizando-se novos exames de carga aplicados quando o corpo de prova atingia a velocidade de deformação específica igual a 10^{-6} s^{-1} . A deformação específica foi calculada através da expressão (10):

$$\dot{\varepsilon} = \frac{\Delta H / H}{\Delta t} \quad (10)$$

Onde:

ΔH : variação da altura do corpo de prova entre duas leituras do extensômetro consecutivas (leitura i e $i+1$);

H : altura do corpo de prova corresponde à leitura i ;

Δt : intervalo de tempo entre as leituras i e $i+1$;

A velocidade de deformação foi definida segundo experiência do Grupo de Reologia da COPPE e do trabalho de Aguiar (2008), realizado para as argilas de Santos. Esses estudos mostram que tal velocidade de deformação é atingida após o fim do adensamento primário, conforme está descrito no relatório desenvolvido pela Mecasolos (2013) apresentado abaixo.

“Aguiar (2008) verificou para a argila de Santos que para corpos de prova com distância de drenagem de aproximadamente 1 cm, que é o caso dos ensaios hora em análise, que a velocidade de deformação específica ($\dot{\epsilon}$) de 10^{-6} s $^{-1}$ é atingida após o “fim” do adensamento primário determinado tanto pelo Método de Taylor quanto pelo Método de Casagrande. Portanto, a curva de compressibilidade de $\dot{\epsilon} = 10^{-6}$ s $^{-1}$ situa-se a esquerda e abaixo da curva de compressibilidade de “fim” do primário.

Andrade (2009) mostrou que a curva de compressibilidade de 24 horas situa-se à esquerda e abaixo da curva de compressibilidade de $\dot{\epsilon} = 10^{-6}$ s $^{-1}$.

Comparando os parâmetros de compressibilidade determinados nas curvas de compressibilidade de $\dot{\epsilon} = 10^{-6}$ s $^{-1}$ com aqueles determinados nas curvas de compressibilidade de 24 horas. Andrade (2009) constatou que pelo menos para a argila de Santos, os valores de C_c e C_r eram praticamente iguais e que os valores de (σ'_{vm}) da curva de compressibilidade de $\dot{\epsilon} = 10^{-6}$ s $^{-1}$ é em média 8% superior à tensão de pré-adensamento (σ'_{vm}) da curva de 24 horas.”

5.2.1.1 Tensão vertical efetiva

Para a determinação do perfil de tensão vertical efetiva, considerou-se os parâmetros de caracterização e índices físicos obtidos nas três ilhas de investigações, com base nos valores obtidos de peso específico natural (γ_{nat}). Foi dividido o perfil em 12 camadas e determinado o peso específico submerso para cada uma. Considerou-se ainda o nível de água igual ao nível do terreno, admitindo que o peso específico saturado (γ_{sat}) é igual ao peso específico natural (γ_{nat}). A figura 57 apresenta o perfil da tensão vertical obtido para as três ilhas em questão.

Através do perfil descrito acima, foi determinado a tensão efetiva vertical (σ'_{v0}) nas profundidades das amostras coletadas das três ilhas, conforme apresentado na tabela 27.

Tabela 27 – Tensão vertical efetiva das amostras das ilhas 1, 2 e 3

ILHAS 1, 2 e 3			
Corpo de prova	Profundidade (m)	Profundidade média (m)	Tensão vertical efetiva σ'_{v0} (kPa)
AM-1-1	2,28 a 2,32	2,30	4,50
AM-2-1	2,54 a 2,58	2,56	5,28
AM-2-2	4,54 a 4,58	4,56	11,33
AM-3-1	5,24 a 5,28	5,26	13,58
AM-3-2	7,84 a 7,88	7,86	21,82

AM-1-2	8,58 a 8,62	8,60	23,43
AM-3-3	9,53 a 9,57	9,55	25,21
AM-2-3	10,54 a 10,58	10,56	27,78
AM-2-4	12,54 a 12,58	12,56	35,24
AM-2-5	14,54 a 14,58	14,56	44,72
AM-2-6	16,45 a 16,50	16,48	52,01
AM-1-3	18,44 a 18,48	18,46	60,66

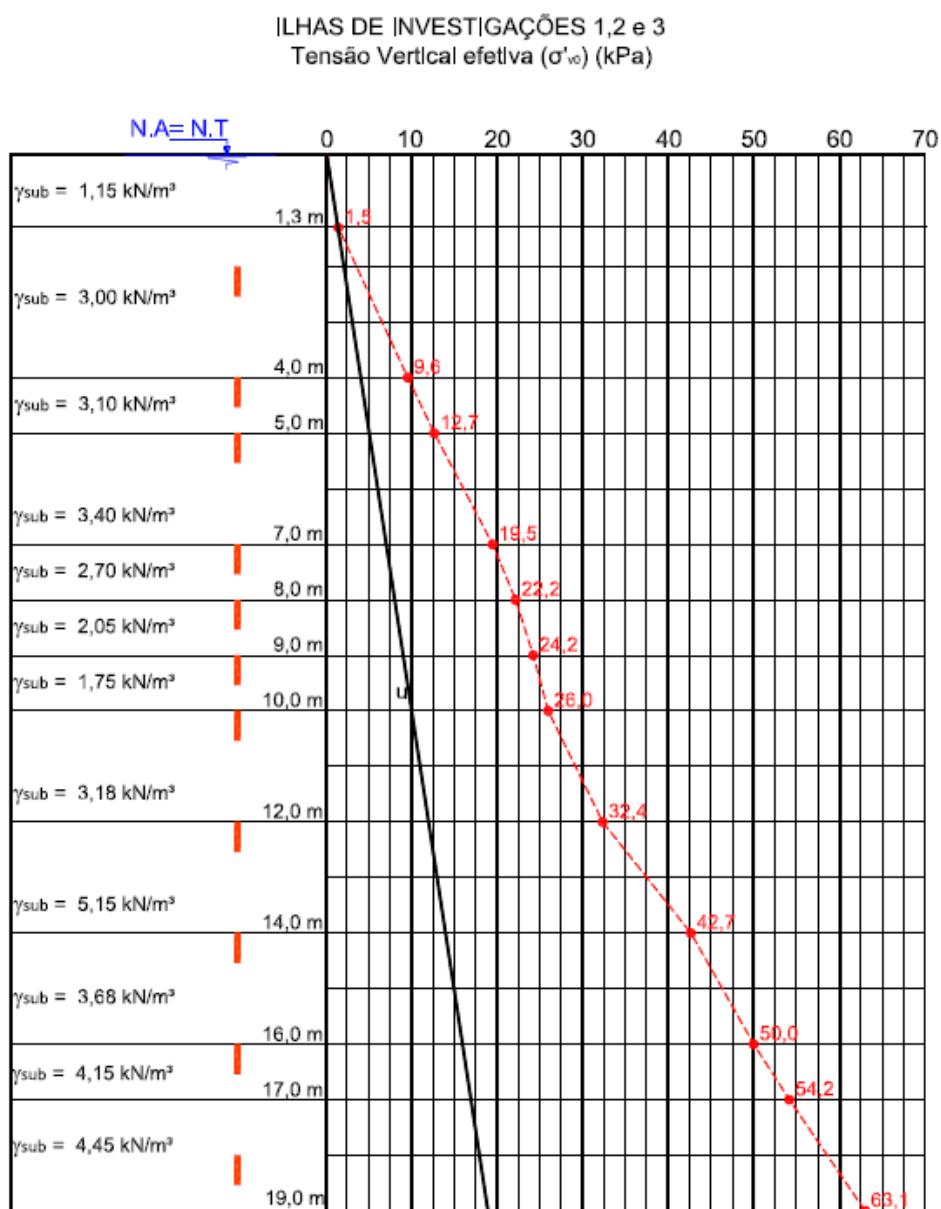


Figura 57. Perfil de tensão vertical efetiva das ilhas 1,2 e 3

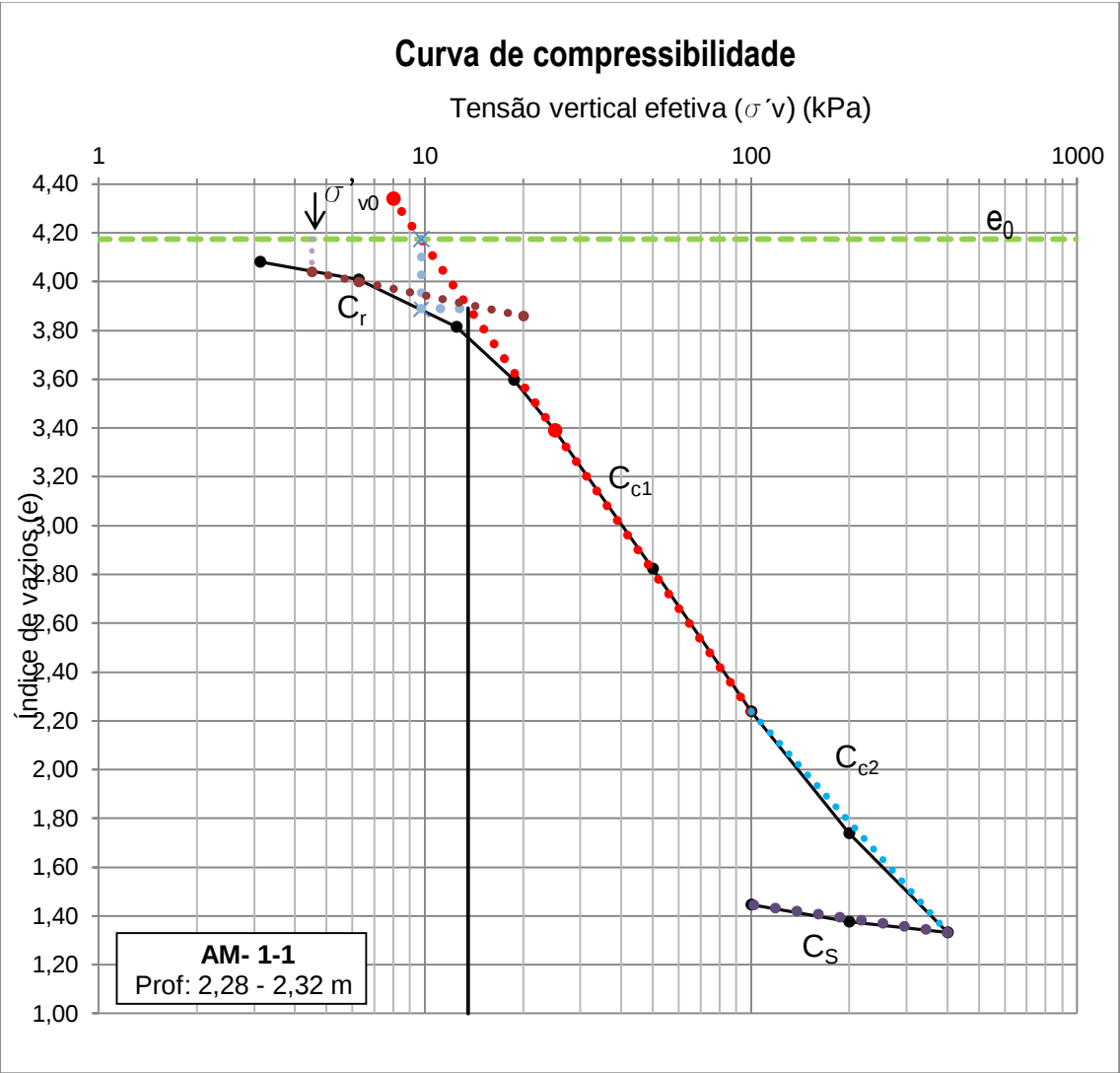
5.2.1.2 Obtenção dos parâmetros de compressibilidade

A seguir a figura 58 apresenta as curvas de compressibilidade e a representação da obtenção dos índices de compressibilidade (C_c , C_r e C_s) e tensão de pré-adensamento (σ'_{vm}) para a amostra AM-1-1. Os demais resultados das ilhas 1, 2 e 3 estão apresentados no Apêndice 01.

A tabela 28, apresentada um resumo dos parâmetros obtidos nas ilhas de investigações 1, 2 e 3.

Tabela 28 – Resumo dos parâmetros de compressibilidade das ilhas 1, 2 e 3.

Amostra	Prof.(m)	C_r	C_{c1}	C_{c2}	C_s	e_0	$C_{c1}/(1+e_0)$	C_r/C_c	σ'_{vm}	OCR
AM - 1-1	2,30	0,28	1,92	1,50	0,19	4,18	0,38	0,15	13,60	3,03
AM -1-2	8,60	0,31	3,08	1,87	0,23	4,85	0,55	0,10	34,00	1,45
AM -1-3	18,46	-	1,01	0,94	0,10	2,50	0,35	-	27,00	0,45
AM -2-1	2,56	0,24	1,87	1,39	0,11	3,66	0,41	0,13	19,50	3,70
AM -2-2	4,56	0,34	2,27	1,26	0,18	3,80	0,49	0,15	19,50	1,72
AM -2-3	10,56	0,29	3,25	1,33	0,19	3,74	0,72	0,09	45,00	1,62
AM -2-4	12,56	0,10	1,27	0,84	0,07	2,15	0,42	0,08	55,00	1,56
AM -2-5	14,56	0,27	2,54	1,82	0,23	3,47	0,59	0,11	81,00	1,81
AM -2-6	16,48	-	1,15	0,97	0,10	2,41	0,40	-	34,00	0,65
AM -3-1	5,26	0,27	2,03	1,21	0,17	3,15	0,51	0,13	29,00	2,14
AM -3-2	7,86	0,33	2,48	1,56	0,22	4,09	0,52	0,13	32,00	1,47
AM -3-3	9,55	0,54	3,66	2,45	0,27	6,07	0,56	0,15	34,00	1,35



Amostra AM -1-1
Profundidade: 2,30
e_0 : 4,18
σ'_{v0} : 4,50
CC_1 : 1,92
CC_2 : 1,50
C_r : 0,28
C_s : 0,19
σ'_{vm} : 13,60
OCR: 3,03

Figura 58. Curva de compressibilidade e determinação dos parâmetros (C_r , C_c , C_s e σ'_{vm}) da amostra AM-1-1. (ILHA 1)

5.2.2 Ilhas de investigações 4, 5 e 6

Nas ilhas de investigações 4, 5 e 6 foram coletadas 12 amostras tipo Shelby sendo ensaiadas no laboratório Solos e Instrumentação da UFPE sobre a coordenação do professor Roberto Quental Coutinho, seguindo todas as especificações já mencionadas nesse trabalho. Diferentemente da metodologia adotadas nas ilhas 1, 2 e 3 que considera a mudança de estágio através da velocidade de deformação específica, foi adotado o tempo de atuação de cada estágio de carregamento igual a 24 horas.

5.2.2.1 Tensão vertical efetiva

Para a construção do perfil de tensão vertical das ilhas 4, 5 e 6, tomou como base os modelos de caracterização e índices físicos obtidos nos ensaio de cada ilha. Devidos as grandes distâncias encontradas entre as ilhas e as diferenças de seus perfis geotécnicos, foram interpretados os perfis separadamente.

Na determinação do perfil de tensão vertical efetiva, admitiu-se nas três ilhas em questão, que o nível de água encontrava-se igual ao nível do terreno natural, sendo assim, o peso específico saturado (γ_{sat}) igual ao peso específico natural (γ_{nat}).

O subsolo da ilha 4, foi dividido em três camadas, a primeira com 5,0 metros de espessura, onde foi considerado o peso específico natural (γ_{nat}) de 11,78 kN/m³, a segunda com três metros de espessura com um γ_{nat} igual a 11,01 kN/m³, e por fim, a terceira e última camada, com três metros de espessura e um γ_{nat} igual a 13,42 kN/m³.

A figura 59 a seguir, apresenta o perfil de tensão vertical efetiva in situ (σ'_{v0}) determinado na ilha 4, através deste perfil, foi determinado a tensão efetiva vertical (σ'_{v0}) nas profundidades das amostras coletadas, conforme apresentado na tabela 29.

Tabela 29 – Tensão vertical efetiva das amostras da ilha 4

Corpo de prova	Profundidade (m)	Profundidade média (m)	Tensão vertical efetiva σ'_{v0} (kPa)
AM - 4 -1	4,33 a 4,38	4,35	7,72
AM - 4 -2	6,44 a 6,49	6,47	10,35
AM - 4 -3	10,52 a 10,57	10,55	20,60

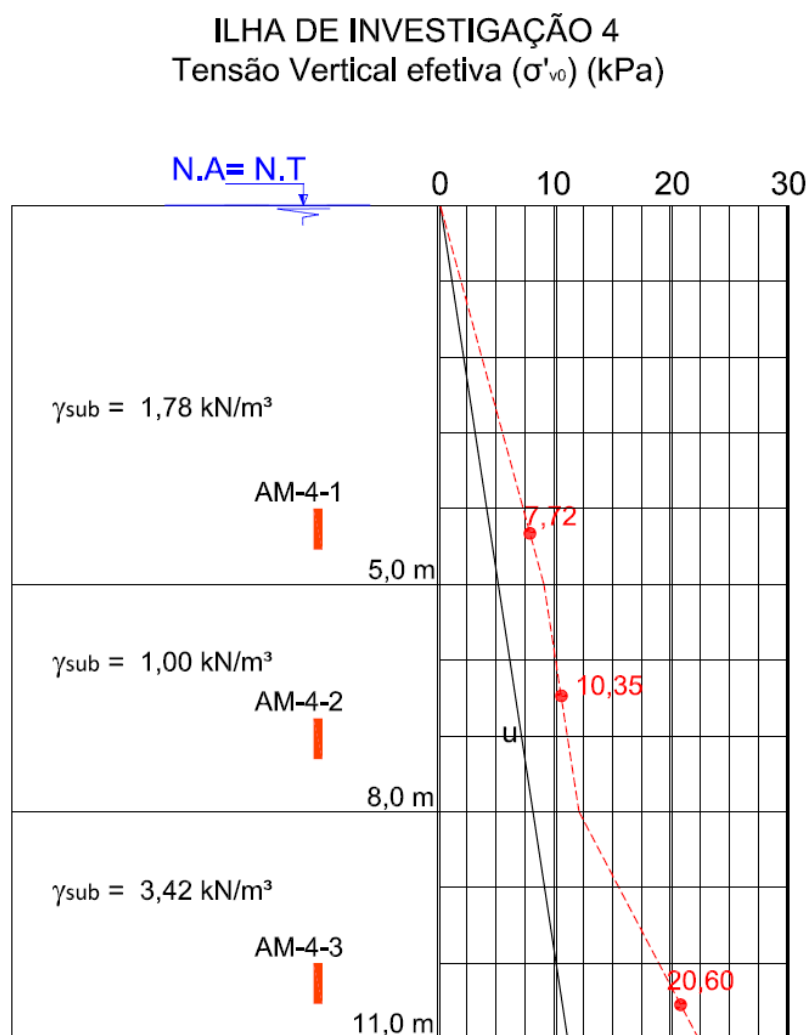


Figura 59. Perfil de tensão vertical efetiva da ilha 4.

O subsolo da ilha 5, foi dividido em cinco camadas, com diferentes espessuras e pesos específicos naturais. A figura 60 apresenta o perfil de tensão vertical efetiva in situ (σ'_{v0}) construído para esta ilha. Já a tabela 30, traz os valores das tensões efetivas obtidos nas profundidades das amostras ensaiadas.

Tabela 30 – Tensão vertical efetiva das amostras da ilha 5

Corpo de prova	Profundidade (m)	Profundidade média (m)	Tensão vertical efetiva σ'_{v0} (kPa)
AM - 5 -1	2,45 a 2,50	2,47	5,48
AM - 5 -2	4,53 a 4,58	4,55	10,54
AM - 5 -3	6,55 a 6,60	6,57	13,77
AM - 5 - 4	10,50 a 10,55	10,52	24,65
AM - 5 - 5	14,35 a 14,40	14,37	38,88
AM - 5 - 6	17,26 a 17,31	17,28	49,63

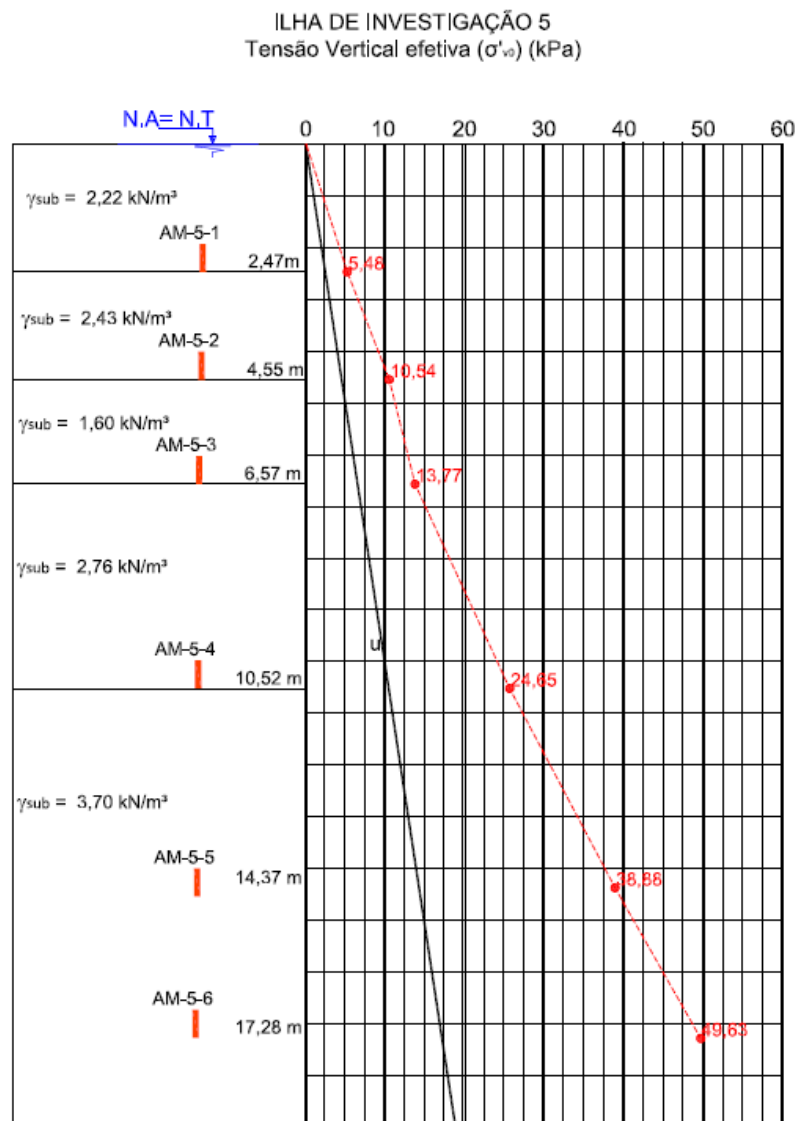


Figura 60. Perfil de tensão vertical efetiva da ilha 5.

O Perfil da ilha 6 foi dividido em três camadas, a primeira considerou o peso específico natural (γ_{nat}) de 11,40 kN/m³, a segunda o γ_{nat} de 11,95 kN/m³ e por fim, a última camada com γ_{nat} igual a 11,80 kN/m³. A figura 61 mostra o perfil de tensão vertical efetiva in situ (σ'_{v0}) construído para esta ilha. Já a tabela 31, apresenta os valores das tensões efetivas obtidos nas profundidades das amostras ensaiadas.

Tabela 31 – Tensão vertical efetiva das amostras da ilha 6

Corpo de prova	Profundidade (m)	Profundidade média (m)	Tensão vertical efetiva σ'_{v0} (kPa)
AM - 6 -1	2,26 a 2,31	2,29	3,21
AM - 6 -2	4,55 a 4,60	4,57	7,65
AM - 6 -3	6,55 a 6,60	6,57	11,25

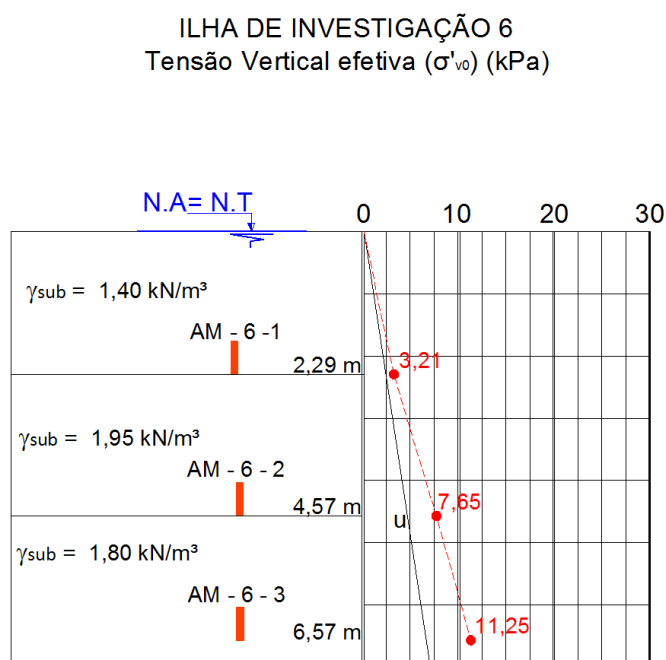


Figura 61. Perfil de tensão vertical efetiva da ilha 6.

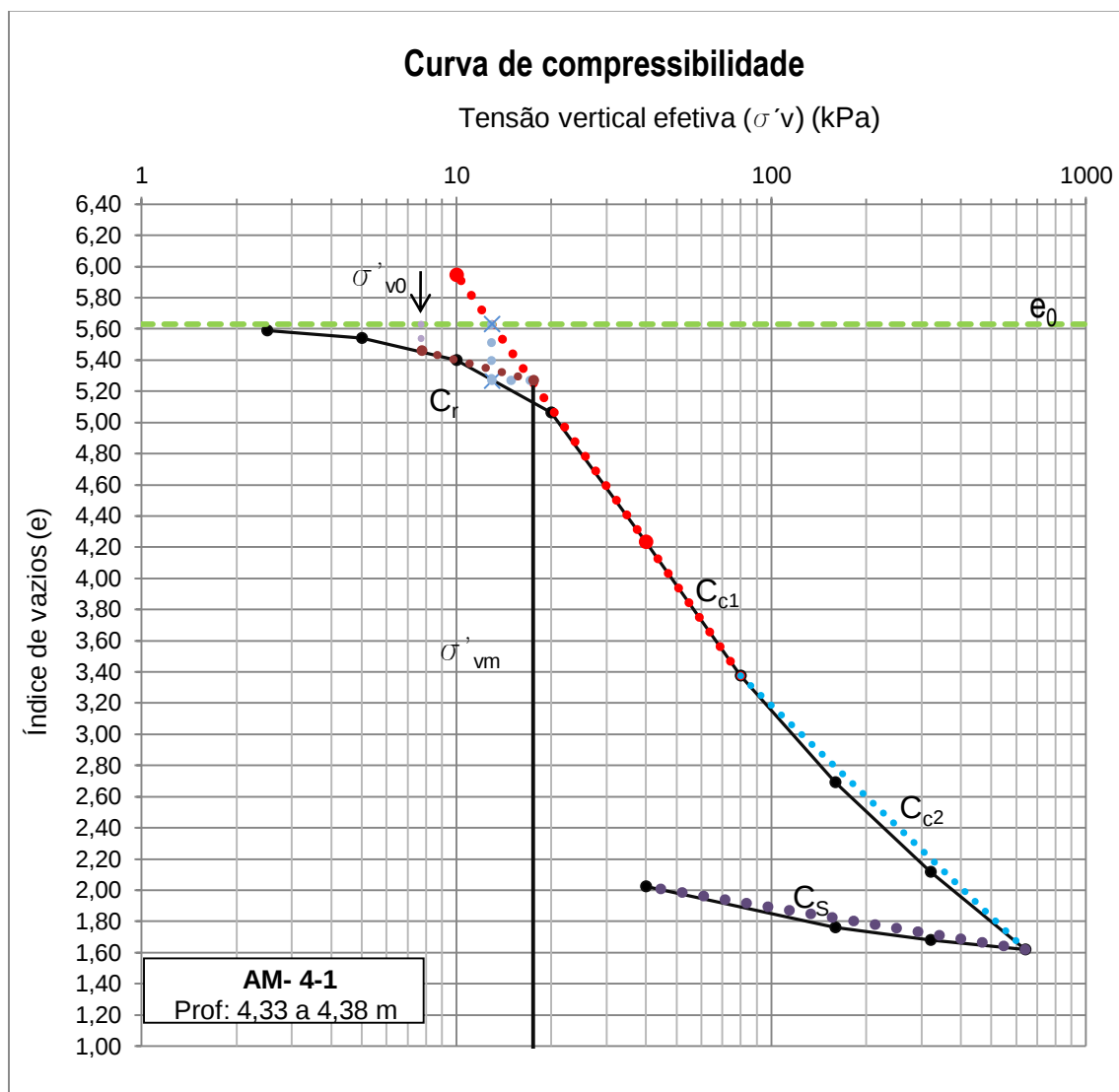
5.2.2.2 Obtenção dos parâmetros de compressibilidade

A figura 62 apresenta a curva de compressibilidade da amostra AM-4-1, e os resultados dos índices de compressibilidade (C_c , C_r e C_s) e tensão de pré-adensamento (σ'_{vm}) obtido através destes. No apêndice 01, encontram-se as curvas e resultados restantes das ilhas 4,5 e 6.

A tabela 32, apresentada um resumo dos parâmetros obtidos nas ilhas de investigações 4, 5 e 6.

Tabela 32 – Resumo dos parâmetros de compressibilidade das ilhas 4,5 e 6.

Amostra	Prof.(m)	C_r	C_{c1}	C_{c2}	C_s	e_0	$C_{c1}/(1+e_0)$	C_r/C_c	σ'_{vm}	OCR
AM -4-1	4,35	0,53	2,85	1,95	0,34	5,63	0,44	0,19	17,50	2,27
AM -4-2	6,47	0,75	3,55	2,67	0,38	7,15	0,45	0,21	21,00	2,03
AM -4-3	10,55	-	1,10	-	0,16	3,17	0,30	-	13,00	0,63
AM -5-1	2,47	0,34	2,81	1,57	0,25	5,72	0,44	0,12	7,50	1,37
AM -5-2	4,55	0,48	3,02	1,39	0,23	4,60	0,56	0,16	17,00	1,61
AM -5-3	6,57	0,42	3,32	1,59	0,29	5,70	0,55	0,13	26,50	1,92
AM -5-4	10,50	0,28	2,58	1,23	0,23	4,31	0,52	-	30,00	1,22
AM -5-5	14,37	-	1,19	1,07	0,18	2,97	0,34	-	30,00	0,77
AM -5-6	17,28	-	1,06	0,87	0,28	2,82	0,34	-	21,00	0,42
AM -6-1	2,29	0,35	2,09	1,26	0,24	4,41	0,39	0,17	12,00	3,74
AM -6-2	4,57	0,53	2,49	1,56	0,27	5,09	0,42	0,21	19,00	2,48
AM -6-3	6,57	-	2,07	1,99	0,34	5,08	0,36	-	13,70	1,22



Amostra AM -4-1	
Profundidade:	4,35
e_0 :	5,63
$\sigma'v_0$:	7,72
Cc_1 :	2,85
Cc_2 :	1,95
Cr :	0,53
Cs :	0,34
σ'_{vm} :	17,50
OCR:	2,27

Figura 62. Curva de compressibilidade e determinação dos parâmetros (C_r , C_c , C_s e σ'_{vm}) da amostra AM-4-1.(ILHA 4)

5.3 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS AMOSTRAS

A obtenção de amostra de boa qualidade que garanta interpretações corretas dos parâmetros estudados é um tema que vem sendo destacado na literatura. Estudos mostram que o amolgamento de amostra em solos moles, altera o formato da curva de compressibilidade, e, por conseguinte, os valores dos parâmetros obtidos através desta, podendo acarretar na diminuição do índice de vazios, redução da tensão de pré-adensamento, redução da razão de compressão e um aumento do valor da deformação específica. Observa-se também que o amolgamento causa uma redução da permeabilidade e, por consequência, o coeficiente de adensamento vertical.

Autores como Ladd (1973), Coutinho (1976) e Martins (1983) estudaram os efeitos do amolgamento nas curvas de compressão edométrica $e \times \sigma'_v(\log)$ e $\varepsilon_v \times \sigma'_v(\log)$. Percebe-se na figura 63 que as amostras de má qualidade apresentaram uma acentuada redução da inclinação da curva, passando do domínio de recompressão para o domínio de compressão virgem, dificultando a determinação da tensão de sobreadensamento.

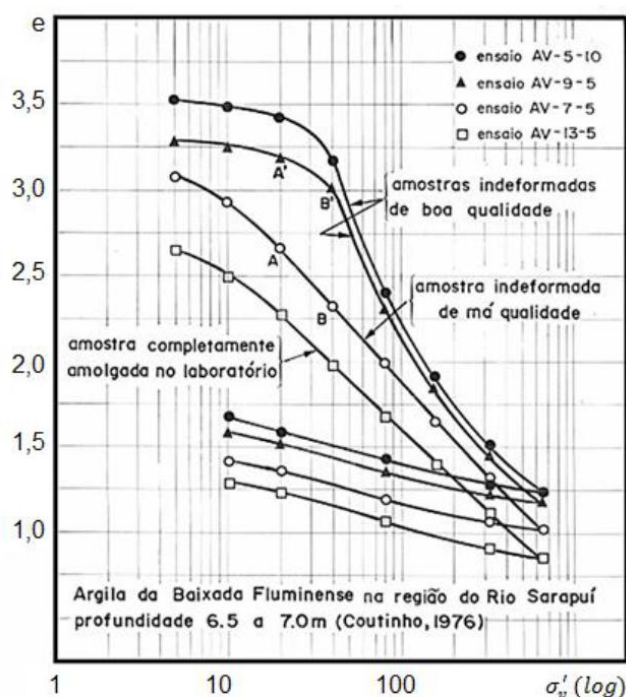


Figura 63. Curva $e \times \log \sigma'_{vm}$ para amostras de boa e de má qualidade (Coutinho, 1976).

Para a classificação da qualidade das amostras extraídas nesse trabalho, foi utilizado a metodologia proposta por Lune et.al (1997) e Coutinho (2007), este último desenvolveu sua proposta com base nas argilas brasileiras.

Conforme referido no capítulo 2, a metodologia consiste na determinação do OCR e do índice $\Delta e/e_0$, que Δe é a variação do índice de vazios desde o início do ensaio até a tensão vertical efetiva in situ σ'_{v0} .

A seguir a tabela 33 apresenta as classificações obtidas nas amostras extraídas das seis ilhas de investigações estudadas, segundo critérios de Coutinho (2007) e Lune et.al (1997).

Os resultados da análise da qualidade das amostras realizadas nas ilhas de investigações mostram que aproximadamente 67% das amostragens ensaiadas apresentaram resultados satisfatórios, variando entre uma classificação regular à excelente; e 33% das amostras apresentaram resultados ruim ou muito ruim, conforme pode ser observado na figura 64.

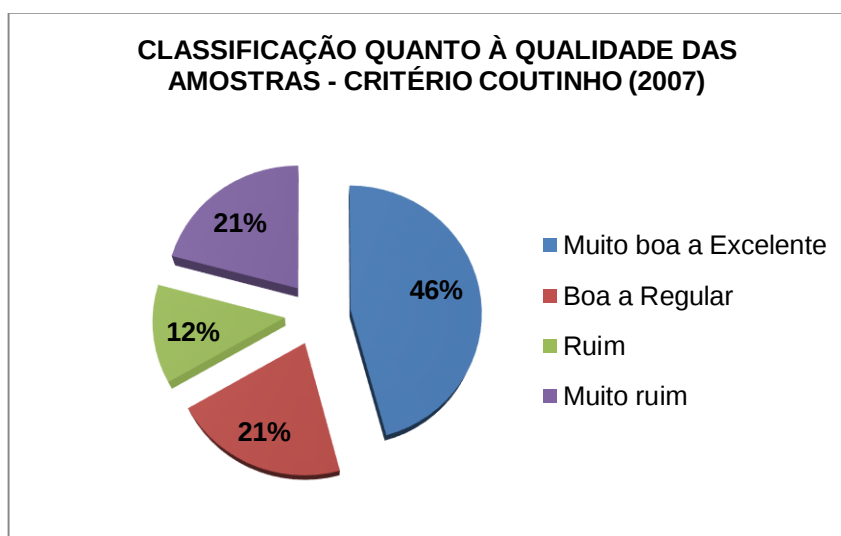


Figura 64. Ocorrência das amostras quanto a sua qualidade, critério de avaliação, Coutinho (2007).

Tabela 33 – Resumo da análise da qualidade das amostras das seis ilhas estudadas

AMOSTRA	Prof.(m)	σ'_{v0} (kPa)	σ'_{vm} (kPa)	OCR	e_0	$e_{s'v0}$	$\Delta e/e_0$	Coutinho	Lune
AM - 1-1	2,30	4,50	13,60	3,03	4,18	4,04	0,03	Muito boa a Excelente	Muito boa a Excelente
AM -1-2	8,60	23,43	34,00	1,45	4,85	4,60	0,05	Muito boa a Excelente	Boa a Regular
AM -1-3	18,46	60,66	27,00	0,45	2,50	1,86	0,26	Muito ruim	Muito ruim
AM -2-1	2,56	5,28	19,50	3,70	3,66	3,53	0,03	Muito boa a Excelente	Muito boa a Excelente
AM -2-2	4,56	11,33	19,50	1,72	3,80	3,64	0,04	Muito boa a Excelente	Muito boa a Excelente
AM -2-3	10,56	27,78	45,00	1,62	3,74	3,50	0,06	Boa a Regular	Boa a Regular
AM -2-4	12,56	35,24	55,00	1,56	2,15	2,02	0,06	Boa a Regular	Boa a Regular

AM -2-5	14,56	44,72	81,00	1,81	3,47	3,28	0,05	Boa a Regular	Muito boa a Excelente
AM -2-6	16,48	52,01	34,00	0,65	2,41	1,88	0,22	Muito ruim	Muito ruim
AM -3-1	5,26	13,58	29,00	2,14	3,15	3,00	0,05	Muito boa a Excelente	Boa a Regular
AM -3-2	7,86	21,82	32,00	1,47	4,09	3,80	0,07	Boa a Regular	Boa a Regular
AM -3-3	9,55	25,21	34,00	1,35	6,07	5,53	0,09	Ruim	Ruim
AM -4-1	4,35	7,72	17,50	2,27	5,63	5,46	0,03	Muito boa a Excelente	Muito boa a Excelente
AM -4-2	6,47	10,35	21,00	2,03	7,15	6,80	0,05	Muito boa a Excelente	Boa a Regular
AM -4-3	10,55	20,60	13,00	0,63	3,17	2,70	0,15	Muito ruim	Muito ruim
AM -5-1	2,47	5,48	7,50	1,37	5,72	5,35	0,06	Muito boa a Excelente	Boa a Regular
AM -5-2	4,55	10,54	17,00	1,61	4,60	4,43	0,04	Muito boa a Excelente	Muito boa a Excelente
AM -5-3	6,57	13,77	26,50	1,92	5,70	5,07	0,11	Ruim	Ruim
AM -5-4	10,50	24,65	30,00	1,22	4,31	3,93	0,09	Ruim	Ruim
AM -5-5	14,37	38,88	30,00	0,77	2,97	2,50	0,16	Muito ruim	Muito ruim
AM -5-6	17,28	49,63	21,00	0,42	2,82	2,13	0,25	Muito ruim	Muito ruim
AM -6-1	2,29	3,21	12,00	3,74	4,41	4,35	0,01	Muito boa a Excelente	Muito boa a Excelente
AM -6-2	4,57	7,65	19,00	2,48	5,09	4,88	0,04	Muito boa a Excelente	Boa a Regular
AM -6-3	6,57	11,25	13,70	1,22	5,08	4,68	0,08	Boa a Regular	Ruim

Tanto as amostras das ilhas coletadas na área do aterro piloto (ilhas 1, 2 e 3) que foram destinadas para COPPE/UFRJ, quanto as amostras das demais ilhas destinadas ao laboratório de Solos da UFPE, apresentaram apenas na amostra de maior profundidade a classificação entre ruim a muito ruim.

Destoando das demais ilhas, a 5 apresentou quatro amostras de má qualidade. Das seis amostras coletas, esta ilha foi a última a ser executada devido a sua maior dificuldade de logísticas e execução, que sofreu forte interferência da maré. Durante a execução, é importante relatar, a grande dificuldade encontrada pela equipe na cravação do tubo de revestimento após a profundidade dos 10,0 metros. Também deve ressaltar que nessa ilha estava prevista a execução da amostragem até a profundidade dos 18,0 metros, não sendo possível a cravação devido à resistência do solo, o que limitou o ensaio à profundidade de 17 metros.

Ao analisar os parâmetros de resistências obtidos nesta ilha através do ensaio e palheta de campo, percebe-se que este perfil apresentou valores superiores a 30 kPa a partir da profundidade de 14,0 metros. Outro ponto que se deve destacar é em relação aos elevados valores de sensibilidade obtidos nesta ilha, a qual atingiu valor máximo de S_t de 53 na profundidade de 16,0 metros, o que caracteriza uma argila Quick-Clays.

5.4 CORREÇÃO DA CURVA DE COMPRESSIBILIDADE

Para a interpretação correta dos parâmetros nas amostras classificadas como ruim ou muito ruim, as curvas de compressibilidades serão corrigidas utilizando os métodos de Schmertmann (1955), Oliveira (2002) e Coutinho (2007), conforme descrito no capítulo 2.

Oliveira (2002) propôs uma correção da tensão de pré-adensamento que se utiliza um procedimento simples operacionalmente e que tomou como base o banco de dados regional.

5.4.1 Proposta de correção Oliveira (2002)

Inicialmente, foi aplicada a metodologia proposta por Oliveira (2002) nas amostras consideradas de excelente qualidade, como forma de avaliar a aplicabilidade do método na área em estudo. A seguir, as figuras 65 a 70 apresentam esta comparação para cada ilha.

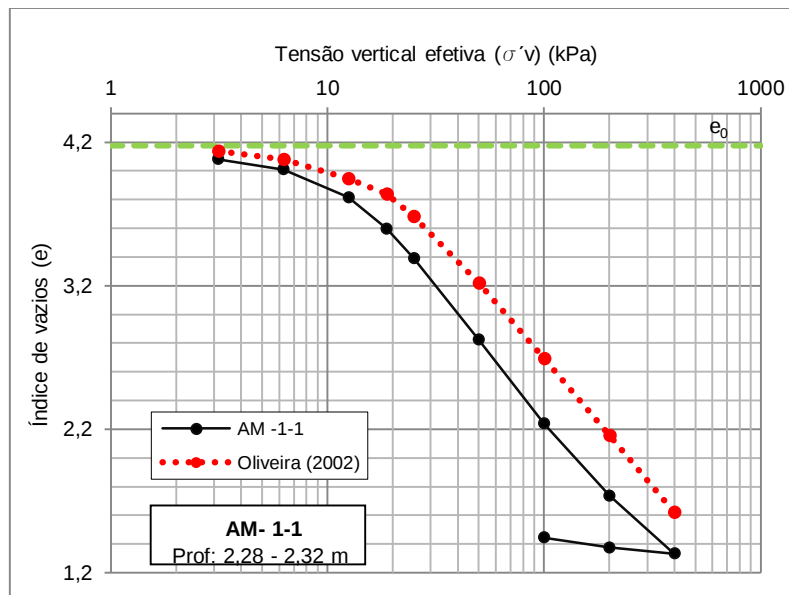


Figura 65. Curvas de ensaios em amostras de excelente qualidade e construída pela proposta de Oliveira (2002) – (Ilha 1).

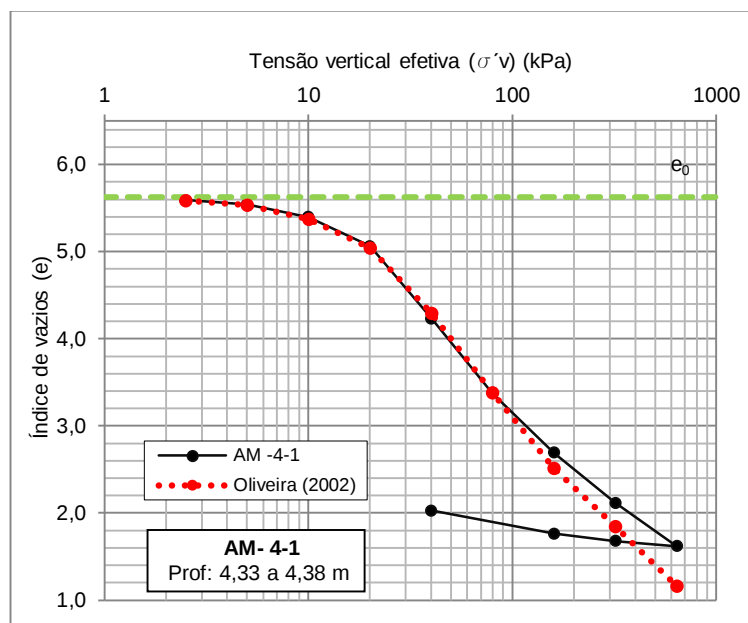


Figura 68. Curvas de ensaios em amostras de excelente qualidade e construída pela proposta de Oliveira (2002) – (Ilha 4).

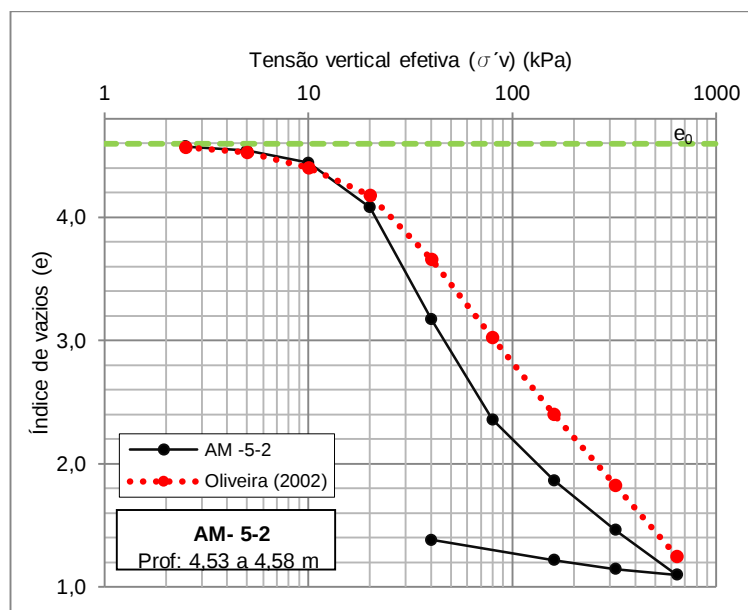


Figura 69. Curvas de ensaios em amostras de excelente qualidade e construída pela proposta de Oliveira (2002) – (Ilha 5).

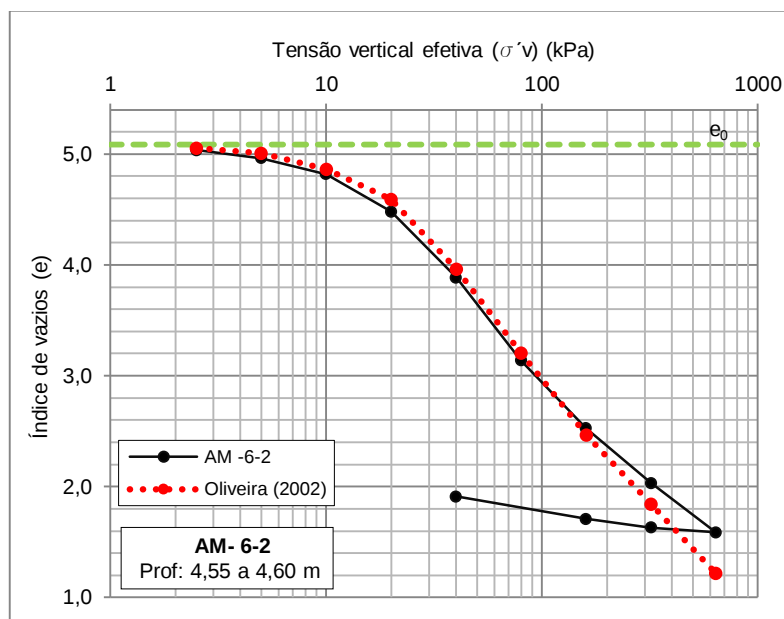


Figura 70. Curvas de ensaios em amostras de excelente qualidade e construída pela proposta de Oliveira (2002) – (Ilha 6).

Observa-se que a curva teórica no trecho de recompressão apresentou um bom comportamento, se aproximando das amostras de boa qualidade. Porém no trecho compressão virgem, nota-se que o comportamento não acompanhou as amostras de boa qualidade, com inclinação inferior, acarretando uma redução dos valores de C_c .

A figura 71, exemplifica a correção proposta por Oliveira, sendo apresentados todas as demais correções, no apêndice 2.

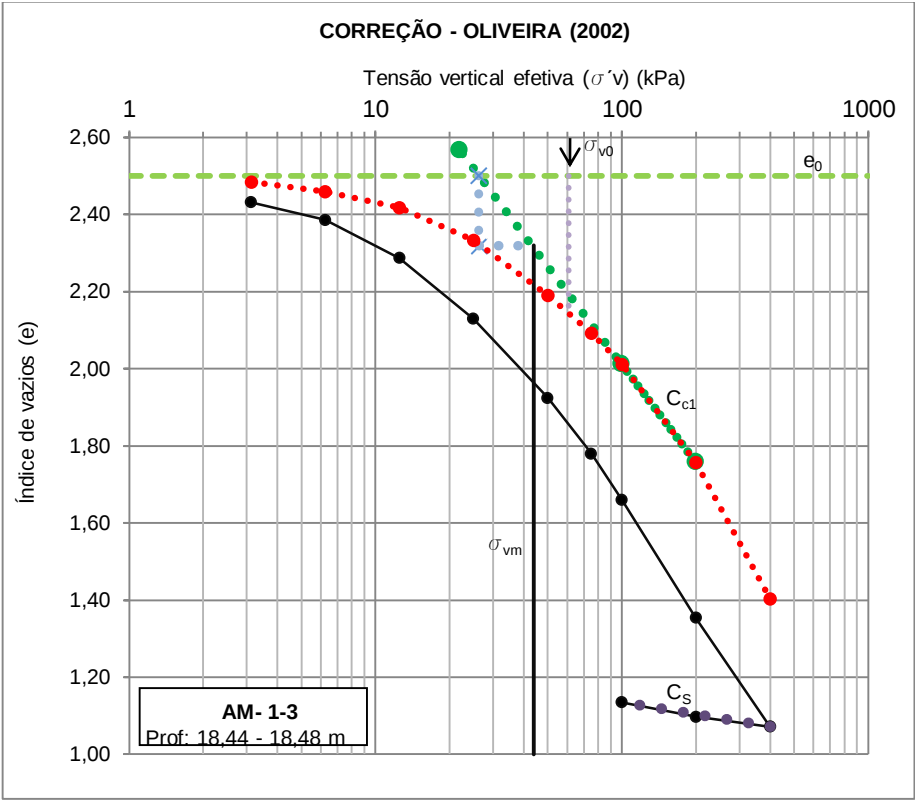


Figura 71. Correção da curva de compressibilidade (Oliveira, 2002), amostra AM-1-3 - (Ilha 1).

Embora verificado anteriormente a aplicabilidade do método para as argilas em estudos, nota-se que em alguns casos a correção não apresentou ganho real na qualidade da amostra, como observado nas amostras AM- 3-3, AM- 5-3 e AM- 5-4, destacado de vermelho.

Para tais amostras não serão consideradas as correções. A tabela 34 a seguir, apresenta a comparação entre os parâmetros obtidos com e sem correções.

Tabela 34 – Comparação entre os parâmetros de compressibilidade com e sem correção.

Amostra	Prof. (m)	σ'_{v0} (kPa)	OEDOMÉTRICO			CORREÇÃO (Oliveira 2002)			CORREÇÃO/OEDOMÉTRICO	
			σ'_{vm}	OCR	C_{c1}	σ'_{vm}	OCR	C_{c1}	σ'_{vm}	C_{c1}
AM -1-3	18,46	60,66	27,00	0,45	1,01	44,00	0,73	0,84	1,63	0,83
AM -2-6	16,48	52,01	34,00	0,65	1,15	57,00	1,10	0,96	1,68	0,83
AM -3-3	9,55	25,21	31,00	1,23	3,20	20,00	0,79	3,37	0,65	1,05
AM -4-3	10,55	20,60	13,00	0,63	1,10	31,00	1,51	1,26	2,38	1,15
AM -5-3	6,57	13,77	16,00	1,16	2,58	20,00	1,45	3,01	1,25	1,17
AM -5-4	10,50	24,65	28,00	1,14	2,34	20,00	0,81	1,86	0,71	0,79
AM -5-5	14,37	38,88	30,00	0,77	1,19	35,00	0,90	1,16	1,17	0,97
AM -5-6	17,28	49,63	21,00	0,42	1,06	38,00	0,77	1,09	1,81	1,03
AM -6-3	6,57	11,25	13,70	1,22	2,07	20,00	1,78	2,48	1,46	1,20

5.4.2 Proposta de correção Schmertmann (1955)

A correção da curva de compressibilidade utilizando o método de Schmertmann (1955) seguiu a metodologia descrita no capítulo 2. A figura 72 apresenta uma das amostras corrigidas. No apêndice 3, encontram-se todas as demais amostras corrigidas.

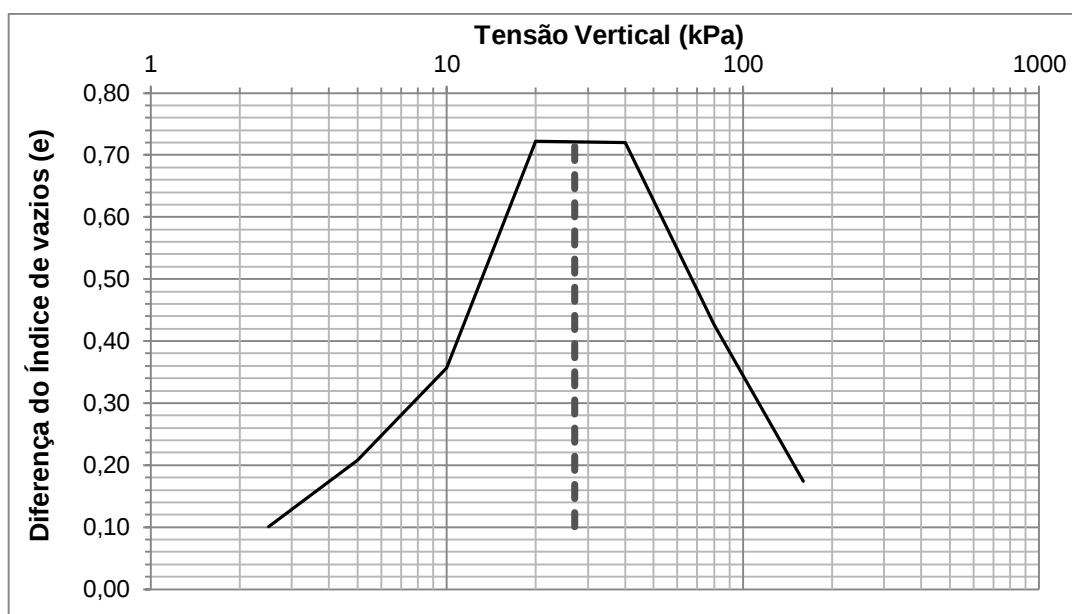
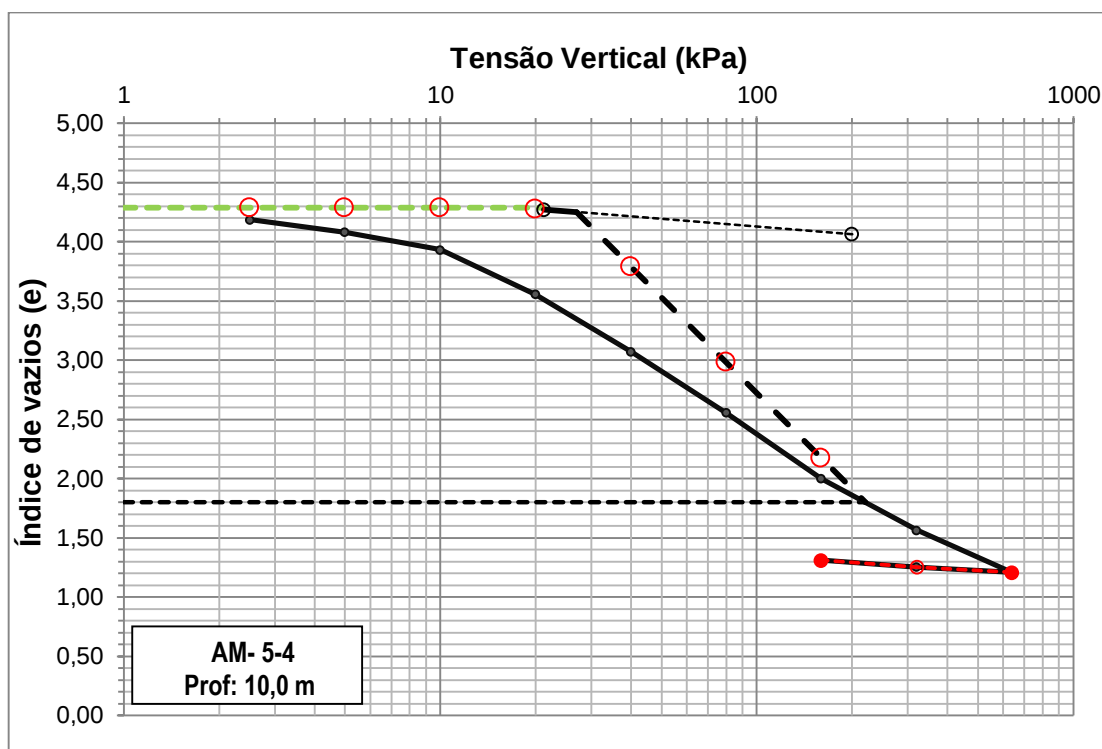


Figura 72. Correção da curva de compressibilidade, Schmertmann (1955), amostra AM-5-4 - (Ilha 5).

A tabela 35 apresenta os resultados obtidos nas amostras corrigidas pelo método de Schmertmann, 1955.

Tabela 35 – Parâmetros σ'_{vm} e Cc corrigidos por Schmertmann (1955).

Amostra	Curva	Parâmetros amolgados		Parâmetros corrigidos	
		σ'_{vm}	Cc	σ'_{vm}	Cc
AM -1-3	Muito Ruim	27,00	1,01	75,00	1,94
AM -2-6	Muito Ruim	34,00	1,15	50,00	1,61
AM -3-3	Ruim	31,00	3,20	31,00	4,10
AM -4-3	Muito Ruim	13,00	1,10	27,00	1,54
AM -5-3	Muito Ruim	16,00	2,58	40,00	4,07
AM -5-4	Ruim	28,00	2,34	27,00	2,69
AM -5-5	Muito Ruim	30,00	1,19	56,00	1,66
AM -5-6	Muito Ruim	21,00	1,06	60,00	1,71

5.4.3 Proposta de correção Coutinho (2007)

A partir das curvas de compressibilidade obtidas em função da deformação específica (ϵ_{v0}), foi determinada a deformação específica correspondente às tensões geostáticas no campo (σ'_{v0}) que segundo Lunne et al (1997) é um indicador de amolgamento e conseqüentemente da qualidade de amostras.

Coutinho et.al (1998) e Coutinho et.al (2000) comentaram que como esperado, os valores de CR e OCR diminuem fortemente quando ϵ_{v0} aumenta, propondo correlações entre parâmetros como o CR e OCR versus deformação específica (ϵ_{v0}) para depósitos do SESI-Ibura em diferentes camadas.

Conforme descrito no capítulo 4, no item de caracterização, fica clara a ocorrência de três diferentes camadas, sendo a primeira superficial, a qual foram coletadas as amostras deformadas com profundidade máxima de 1,5 m, a segunda, variando entre 2,5 a 10,5 metros, e por fim a mais profunda com valores superiores a 12,5 metros.

Conforme proposto pelo autor, as análises da razão de compressão (CR) e razão de sobreadensamento (OCR) *versus* a deformação específica (ϵ_{v0}) foram realizadas dividindo em camadas, sendo nomeada a **camada 1** com profundidade entre 2,5 a 10,5 metros e a **camada 2**, com profundidade superiores a 12,5 metros.

Conforme descrito no capítulo 2, o valor do OCR corresponde à relação entre a tensão efetiva de pré-adensamento (σ'_{vm}) e a tensão efetiva de campo (σ'_{v0}). Após

a correção do OCR, será obtido matematicamente os valores de σ'_{vm} através da relação, pois a tensão efetiva de campo não sofre influência com o amolgamento da amostra, sendo possível a correlação.

Também serão obtidos matematicamente os valores de C_c , através dos valores de CR corrigido.

5.4.3.1 Correção do OCR e σ'_{vm}

Primeiramente, foram analisados os valores de OCR com a deformação específica (ϵ_{vo}) para as seis ilhas em conjunto, nas diferentes camadas. Na análise percebeu-se um comportamento similar entre elas, reduzindo o OCR com o aumento da deformação específica. Como o comportamento das ilhas foram similares e próximas, optou-se por agrupar estas como forma de garantir uma gama maior de pontos e consequentemente aumentar a confiabilidade das equações obtidas.

A figura 73 apresenta o gráfico OCR *vs* ϵ_{vo} para a camada 1 com sua equação proposta, destacando por diferença de cores a classificação da qualidade das amostras segundo critério Coutinho (2007).

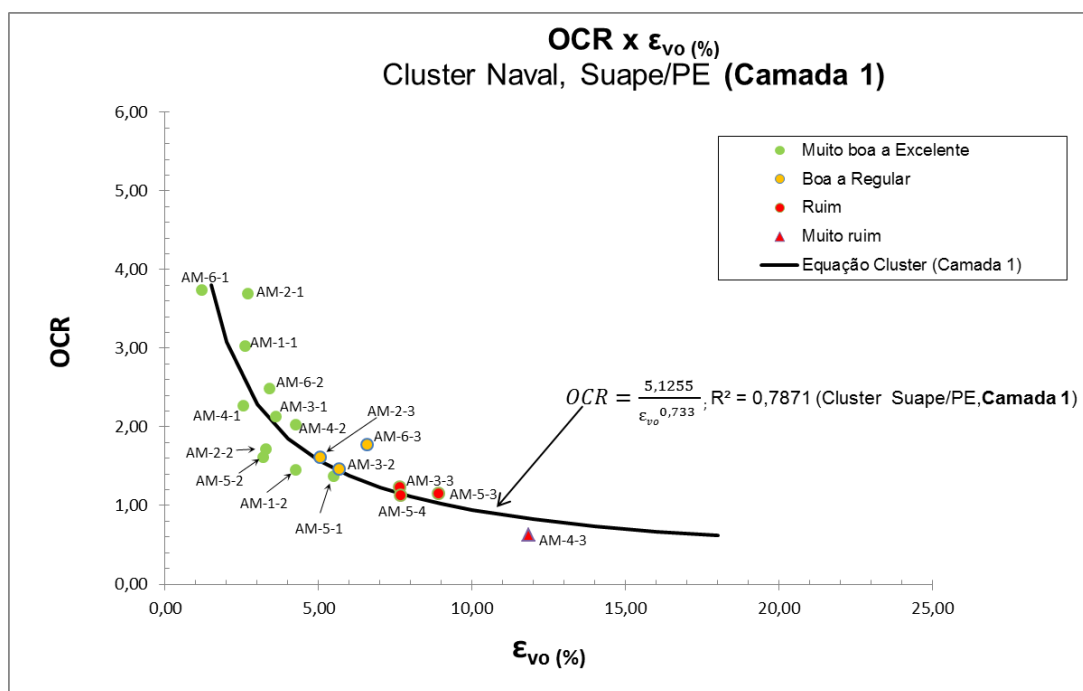


Figura 73. Curva OCR *vs* ϵ_{vo} para camada 1 do Cluster Naval, SUAPE/PE.

Conforme discutido no item de avaliação da qualidade, as amostras mais profundas apresentaram pior qualidade. Na camada 2, só foram extraídas seis amostragens, sendo duas boa a regular e quatro muito ruim. Ao comparar as duas camadas, percebe-se que a curva OCR $\times \epsilon_{vo}$ apresentou valores próximos com a mesma tendência, conforme pode ser observado na figura 74.

Devido à semelhança entre as camadas foram agrupados os pontos e proposto uma equação tratando como uma camada única, como apresentado na figura 75. Nesta figura, apresentam-se as curvas propostas para as camadas 1, 2 e camada única.

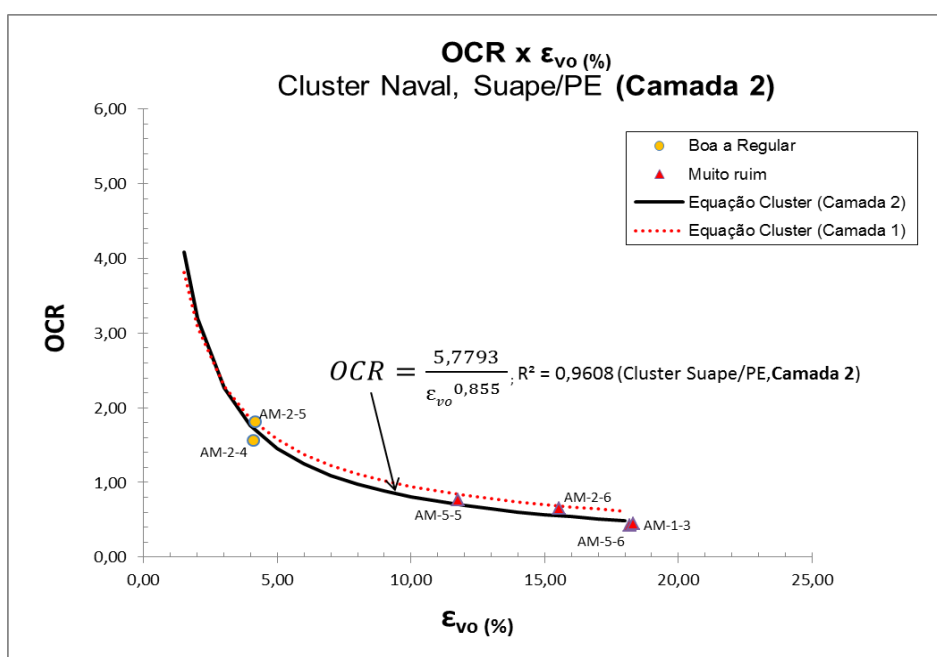


Figura 74. Curva OCR vs. ϵ_{vo} para camada 2 do Cluster Naval, SUAPE/PE.

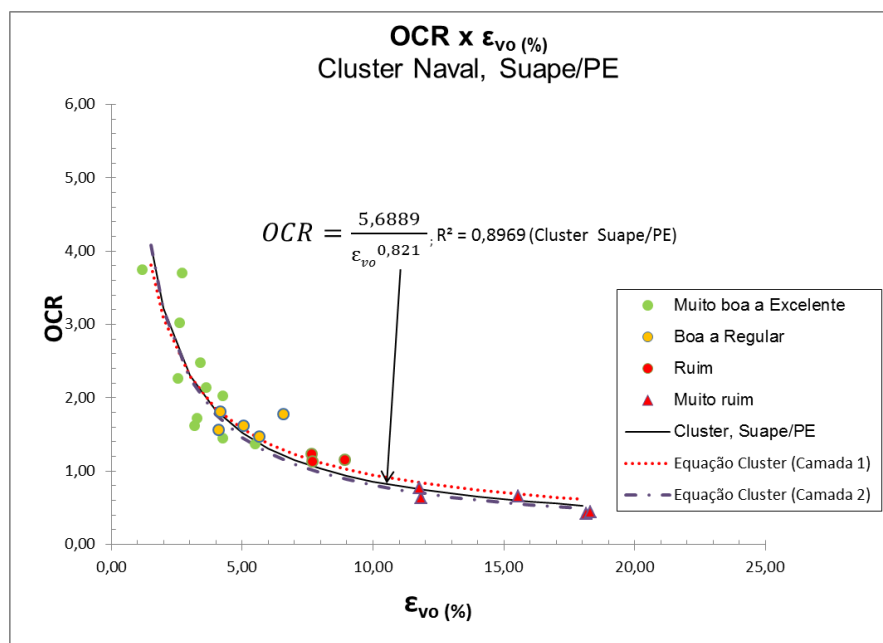


Figura 75. Curva OCR vs. ϵ_{vo} para camadas 1 e 2 do Cluster Naval, SUAPE/PE.

A tabela 36 apresenta as correções dos valores de OCR e σ'_{vm} com base nas equações determinadas.

Tabela 36 – Parâmetros σ'_{vm} e OCR corrigidos por Coutinho (2007).

ILHA	Amostras	Prof (m)	CAMADA	EQUAÇÃO	Parâmetros sem correção		Correção Coutinho (2007)	
					σ'_{vm}	OCR	σ'_{vm}	OCR
1	AM -1-3	18,46	CAMADA 2	$OCR = 5,7793/(\varepsilon_{v0}^{0,855})$	27,00	0,45	88,54	1,46
2	AM -2-6	16,48	CAMADA 2	$OCR = 5,7793/(\varepsilon_{v0}^{0,855})$	34,00	0,65	83,07	1,60
3	AM -3-3	9,55	CAMADA 1	$OCR = 5,1255/(\varepsilon_{v0}^{0,733})$	31,00	1,23	42,90	1,70
4	AM -4-3	10,55	CAMADA 2	$OCR = 5,7793/(\varepsilon_{v0}^{0,855})$	13,00	0,63	42,15	2,05
5	AM -5-3	6,57	CAMADA 1	$OCR = 5,1255/(\varepsilon_{v0}^{0,733})$	16,00	1,16	31,55	2,29
	AM -5-4	10,50	CAMADA 1	$OCR = 5,1255/(\varepsilon_{v0}^{0,733})$	28,00	1,14	38,83	1,58
	AM -5-5	14,37	CAMADA 2	$OCR = 5,7793/(\varepsilon_{v0}^{0,855})$	30,00	0,77	62,10	1,60
	AM -5-6	17,28	CAMADA 2	$OCR = 5,7793/(\varepsilon_{v0}^{0,855})$	21,00	0,42	72,44	1,46

5.4.3.2 Correção do CR e C_c

Primordialmente, foram analisados a razão de compressão (CR) nas camadas 1 e 2 das ilhas 1,2 e 3. A figura 76, apresenta os valores de CR *vs* ϵ_{vo} obtidos para a camada 1. Esta só apresentou apenas uma amostra com classificação ruim, e todas as demais com qualidade satisfatória, o que dificultou a determinação de uma equação para esta camada. Também nota-se na figura, que os pontos apresentaram uma grande dispersão para uma mesma faixa de deformação volumétrica. Por não obter uma equação satisfatória para esta camada, não foi corrigida a amostra AM-3-3.

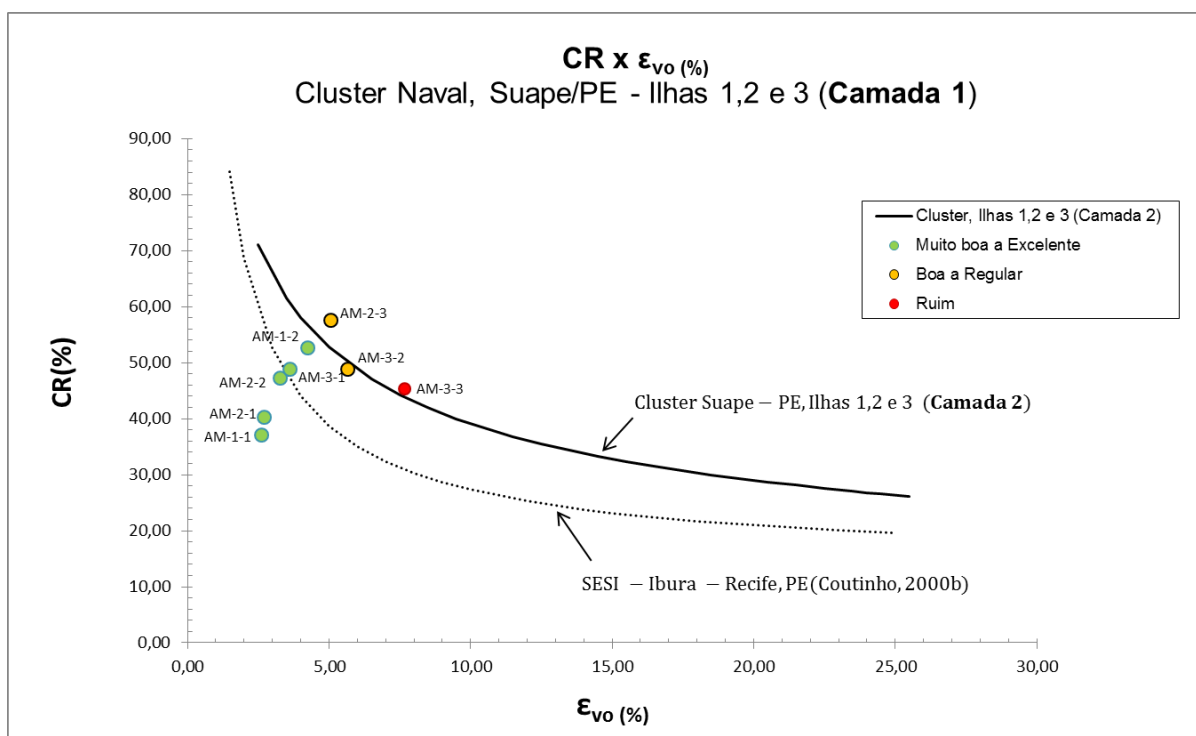


Figura 76. Curva CR vs. ϵ_{vo} para camada 1 das ilhas 1,2 e 3 do Cluster Naval, SUAPE/PE.

Na camada 2 obteve-se quatro pontos, nos quais dois com classificação boa a regular e dois muito ruim. Embora tenham apresentado um pequeno número de pontos, foi obtida a equação para esta camada, conforme expressa na figura 77. Ao analisar o comportamento dos pontos, percebe-se que o ponto AM-2-4 destoa dos demais. Tal distorção pode ser explicada ao avaliar os parâmetros de caracterização em função da profundidade, percebendo que na profundidade de 12,5 metros da ilha 2 apresentaram valores pouco menores de umidade (w_n), Teor de matéria orgânica

(TMO) e índice de vazio inicial (e_0); apenas se aproximando com os valores finais da camada. Por efeito prático, o presente trabalho considerou o ponto como camada 2, porém poderia ser tratado como uma descontinuidade desta camada. Para a obtenção da equação proposta para esta camada, foi desconsiderado este ponto.

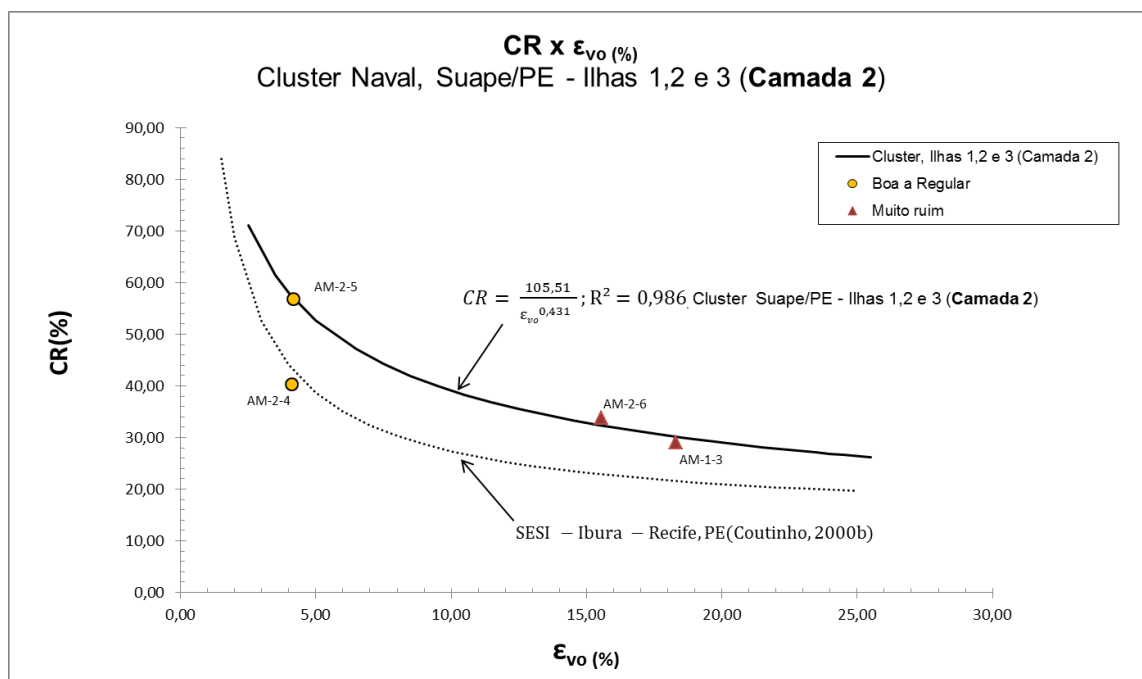


Figura 77. Curva CR vs. ϵ_{vo} para camada 2 das ilhas 1,2 e 3 do Cluster Naval, SUAPE/PE.

As demais ilhas foram analisadas separadamente, a ilha 4 apresentou todas as amostras na camada 1, sendo proposta sua equação conforme apresentado na figura 78.

Já a 5, apresentou um maior número de amostras de má qualidade. Foi proposta a equação para a camada 1 (figura 79) no qual foi possível realizar as correções das amostras AM-5-3 e AM-5-4. A camada 2 desta ilha, por não apresentar amostras de boa qualidade, impossibilitou a obtenção da equação para sua correção. Entretanto, foram agrupados os valores obtidos nas duas camadas com o objetivo de entender o comportamento de ambas e avaliar a possibilidade da obtenção de uma equação tratando como camada única, tornando assim possível a correção das amostras AM-5-5 e AM-5-6.

A figura 80 apresenta a equação tratando a ilha 5 como única camada e compara com a proposta para a camada 1. Ao avaliar o comportamento das curvas,

optou-se pelas correções das amostras AM-5-5 e AM-5-6 com a equação obtida como camada única.

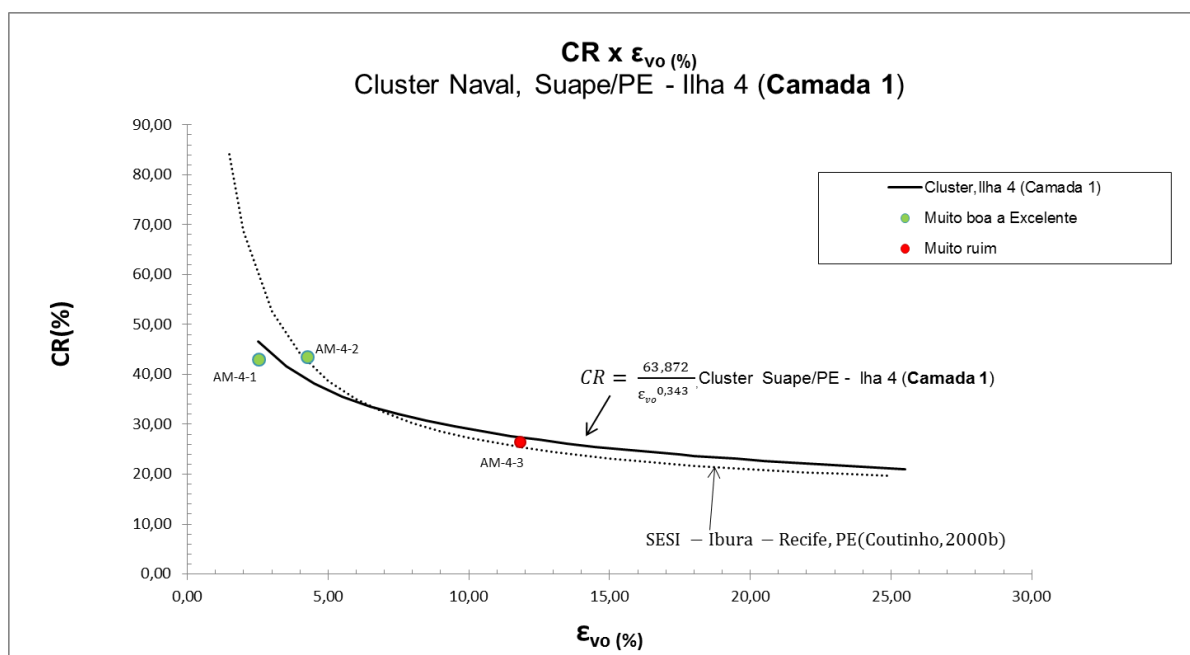


Figura 78. Curva CR vs. ϵ_{vo} para camada 1 da ilha 4 do Cluster Naval, SUAPE/PE.

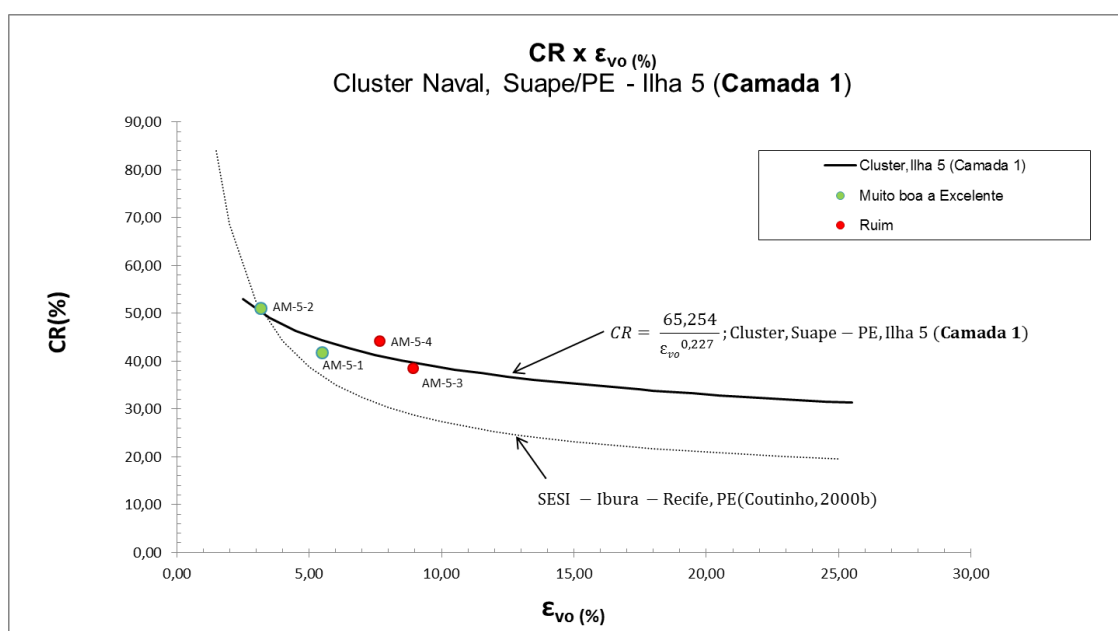


Figura 79. Curva CR vs. ϵ_{vo} para camada 1 da ilha 5 do Cluster Naval, SUAPE/PE.

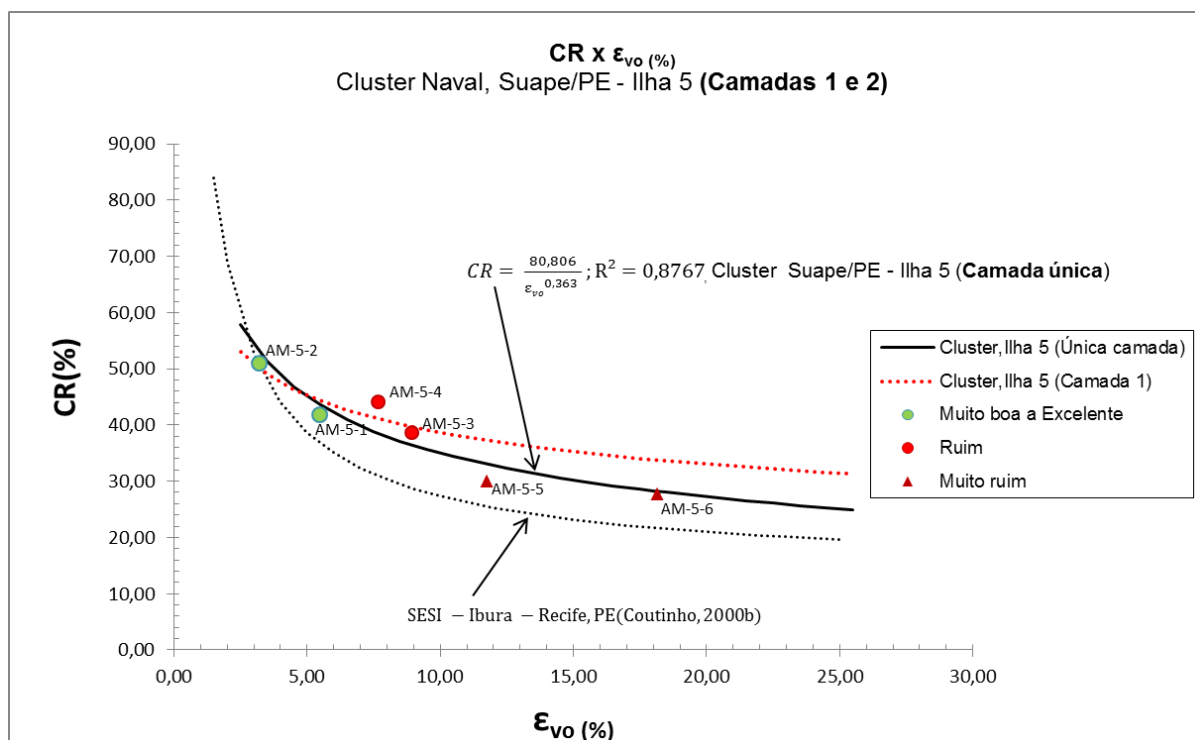


Figura 80. Curva CR vs. ϵ_{vo} tratando como única camada, ilha 5 do Cluster Naval, SUAPE/PE.

A tabela 37 apresenta as correções dos valores de CR e c_c com base nas equações determinadas.

Tabela 37 – Parâmetros CR e C_c corrigidos por Coutinho (2007).

ILHA	Amostras	Prof (m)	CAMADA	EQUAÇÃO	Parâmetros sem correção		Correção Coutinho (2007)	
					CR	C _c	CR	C _c
1	AM -1-3	18,46	CAMADA 2	$CR = 105,51/(\varepsilon_{v0}^{0,431})$	28,97	1,01	52,73	1,85
2	AM -2-6	16,48	CAMADA 2	$CR = 105,51/(\varepsilon_{v0}^{0,431})$	33,78	1,15	55,18	1,88
4	AM -4-3	10,55	CAMADA 2	$CR = 63,872/(\varepsilon_{v0}^{0,343})$	26,37	1,10	43,82	1,83
5	AM -5-3	6,57	CAMADA 1	$CR = 65,254/(\varepsilon_{v0}^{0,227})$	38,59	2,58	45,28	3,03
	AM -5-4	10,50	CAMADA 1	$CR = 65,254/(\varepsilon_{v0}^{0,227})$	44,18	2,34	46,38	2,46
	AM -5-5	14,37	CAMADA 2	$CR = 80,806/(\varepsilon_{v0}^{0,363})$	30,06	1,19	48,85	1,94
	AM -5-6	17,28	CAMADA 2	$CR = 80,806/(\varepsilon_{v0}^{0,363})$	28,00	1,06	45,05	1,72

Objetivando avaliar o comportamento da compressibilidade nas diferentes áreas do Cluster Naval, foram agrupados os pontos das seis ilhas, separando apenas por camadas. Conforme apresentado nas figuras 81 e 82.

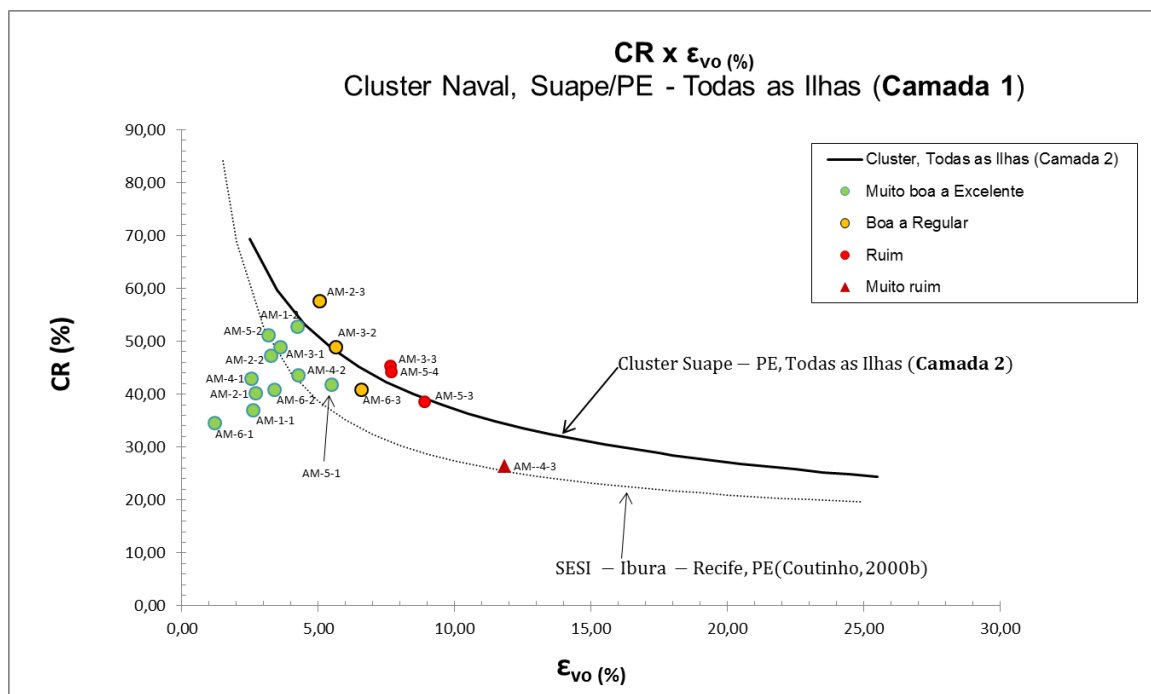


Figura 81. Curva CR vs. ϵ_{v0} , todas as ilhas, camada 1, do Cluster Naval, SUAPE/PE.

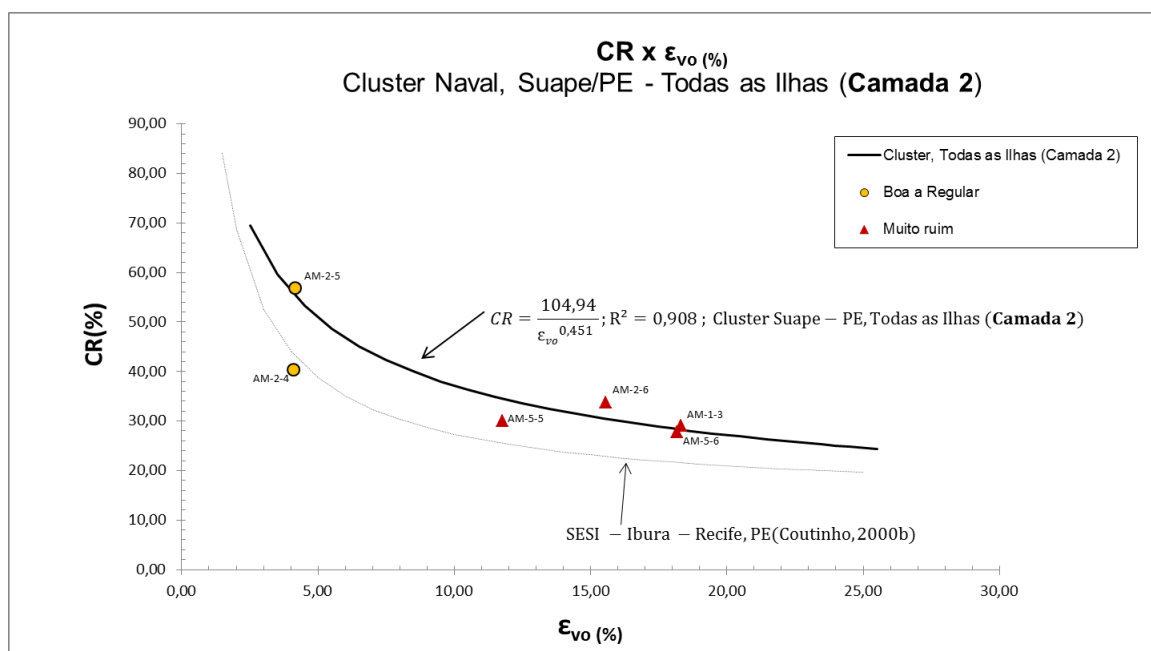


Figura 82. Curva CR vs. ε_{v0} , todas as ilhas, camada 2, do Cluster Naval, SUAPE/PE.

De modo geral, embora a camada 1 apresente uma maior quantidade de resultados de boa qualidade, percebe-se uma maior dispersão dos valores de CR para um mesmo ϵ_{v0} . Seus valores apresentaram mais próximos dos valores obtidos para o SESI-Ibura.

Já a camada 2, por apresenta um maior número de amostra de má qualidade, deixou bem definida a variação do CR com a qualidade da amostra, sendo possível elaborar equações em função do ϵ_{v0} para esse depósito. As equações propostas para essa camada ficou acima da proposta para o SESI-Ibura.

5.4.4 Resumo das correções propostas

Foi discutida a correção por três diferentes métodos, o proposto por Oliveira (2002), desenvolvido com experiência local, os quais propõem a construção de uma curva teórica baseada nos valores de e_0 . Inicialmente, foi avaliado seu potencial para as argilas estudadas, propondo correções das curvas de boa qualidade e comparado os resultados da curva teórica com a obtida em laboratório. Tal comparação mostrou que a curva teórica se aproximou das obtidas em laboratório no trecho de recompressão, porém no trecho compressão virgem, nota-se que o comportamento não acompanhou as amostras de boa qualidade, com inclinação inferior, acarretando uma redução dos valores de C_c . As amostras AM- 3-3, AM- 5-3 e AM- 5-4 não apresentaram o comportamento esperado, não sendo consideradas suas correções por este método.

Para a utilização do método proposto por Coutinho (2007), primeiramente, foram avaliadas as características do depósito, procurando entender sua variabilidade. Só após as definições das camadas em diferentes regiões, é que foram propostas equações de CR e OCR em função do coeficiente de deformação volumétrica (ϵ_{v0}). Nesta proposta observou-se que o efeito do amolgamento para o parâmetro de OCR apresentou comportamentos similares entre as ilhas, analisando todas as ilhas em conjunto apenas com a separação das camadas 1 e 2, embora também tenham apresentado comportamentos similares.

Para a análise da razão de compressão (CR) foram agrupadas apenas as ilhas 1, 2 e 3 devido sua proximidade; as demais ilhas foram avaliadas

separadamente. Apenas a amostra AM-3-3 não possibilitou à correção por falta e pontos para a determinação de sua equação.

A seguir será apresentada a tabela 38 um resumo com os valores obtidos nos três métodos descritos.

Tabela 38 – Resumo dos parâmetros corrigidos pelos três diferentes métodos, Oliveira(2002), Coutinho (2007) e Schmertmann (1955).

AMOSTRA	QUALIDADE Coutinho (2007)	OEDOMÉTRICO			(1) OLIVEIRA (2002)			(2) COUTINHO (2007)			(3) SCHMERTMANN (1955)			MÉTODOLOGIA ADOTADA		
		σ'_{vm} (kPa)	OCR	Cc	σ'_{vm} (kPa)	OCR	Cc	σ'_{vm} (kPa)	OCR	Cc	σ'_{vm} (kPa)	OCR	Cc	σ'_{vm} (kPa)	OCR	Cc
AM -1-3	Muito ruim	27,00	0,45	1,01	44,00	0,73	0,84	88,54	1,46	1,85	75,00	1,24	1,94	Schmertmann (1955)		
AM -2-6	Muito ruim	34,00	0,65	1,15	57,00	1,10	0,96	83,07	1,60	1,88	50,00	0,96	1,61	Coutinho (2007)		
AM -3-3	Ruim	31,00	1,23	3,20	20,00	0,79	3,37	42,90	1,70	-	31,00	1,23	4,10	Schmertmann (1955)		
AM -4-3	Muito ruim	13,00	0,63	1,10	31,00	1,51	1,26	42,15	2,05	1,83	27,00	1,31	1,54	Oliveira (2002)		
AM -5-3	Ruim	16,00	1,16	2,58	20,00	1,45	3,01	31,55	2,29	3,03	40,00	2,90	4,07	Coutinho (2007)		
AM -5-4	Ruim	28,00	1,14	2,34	20,00	0,81	1,86	38,83	1,58	2,46	27,00	1,10	2,69	Coutinho (2007)		
AM -5-5	Muito ruim	30,00	0,77	1,19	35,00	0,90	1,16	62,10	1,60	1,94	56,00	1,44	1,66	Coutinho (2007)		
AM -5-6	Muito ruim	21,00	0,42	1,06	38,00	0,77	1,09	72,44	1,46	1,72	60,00	1,21	1,71	Coutinho (2007)		

5.5 OBTENÇÃO DO COEFICIENTE DE ADENSAMENTO POR DRENAGEM VERTICAL

O coeficiente de adensamento primário por drenagem vertical (C_v) é o parâmetro que regula a velocidade de dissipação dos excessos de poropressões, sendo que, quanto maior, mais rápido ocorrerá o adensamento.

A equação 4 apresentada na revisão bibliográfica, traz a teoria clássica do adensamento unidimensional. Nesta, fica claro que a velocidade do adensamento é inversamente proporcional ao coeficiente de compressibilidade (a_v), o que significa que para solos menos compressíveis o coeficiente de adensamento apresenta valores superiores àqueles mais compressíveis.

Diante disto, foi calculado o coeficiente de adensamento, considerando dois diferentes domínios; um primeiro domínio, na fase de recompressão ($C_{v \text{ recomp}}$), no qual são encontrados os menores valores de compressibilidade e no segundo domínio, no trecho de compressão virgem ($C_{v \text{ virgem}}$), como os maiores valores de compressibilidade.

Para a determinação do ($C_{v \text{ recomp}}$), será considerado o coeficiente de adensamento primário cuja tensão vertical efetiva final no estágio seja a mais próxima do valor da tensão de sobreadensamento (σ'_{vm}).

Já para a obtenção do ($C_{v \text{ virgem}}$), será analisado o comportamento da curva $c_v \times \sigma'_v$ (log) obtida do ensaio edométrico. Nessa análise, buscará o valor de C_v no trecho onde a curva apresentar um comportamento constante.

A literatura apresenta duas proposições para o cálculo deste coeficiente, um através do Método da Raiz do tempo (Taylor), e o outro o método do logaritmo do tempo (Casagrande). Neste trabalho será utilizado o método proposto por Taylor.

Estudos mostram que o amolgamento das amostras provoca uma redução do C_v , tal constatação foi possível através da comparação de corpos de provas “indeformados” de boa qualidade com amostras amolgadas. Com isso, não serão apresentados neste trabalho os valores de C_v dos corpos de provas classificados como “Ruim” ou “Muito ruim”, segundo o critério de Lunne et al (1997) e Coutinho.et.al (1998).

A seguir a figura 83 apresenta a curva dos coeficientes de adensamento da amostra AM-1-1, já a tabela 39, traz os resultados do coeficiente de adensamento C_v , obtido nas seis ilhas de investigações. As demais curvas estão apresentadas no apêndice 4.

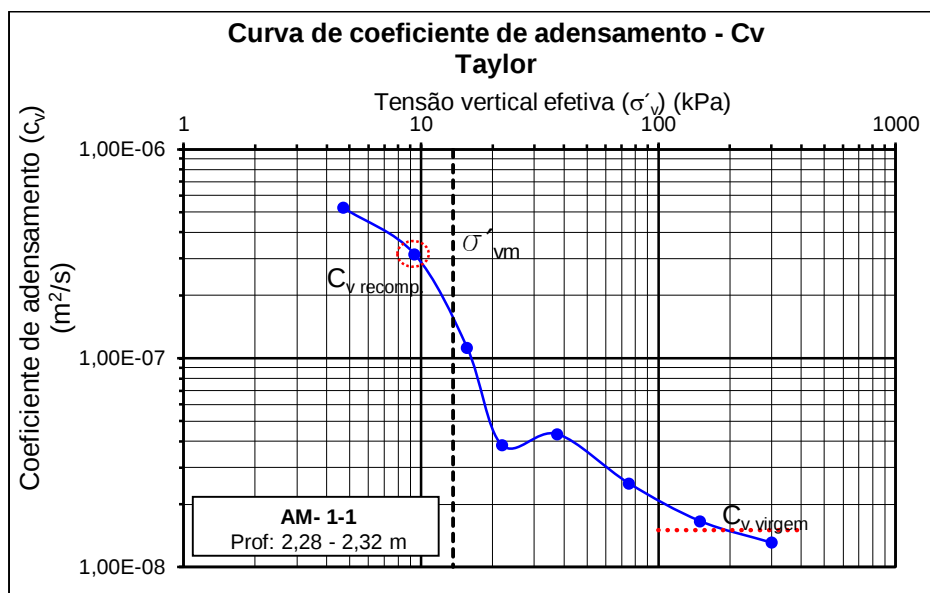


Figura 83. Coeficiente de adensamento (C_v), amostra AM -1-1 - (Ilha 1).

Tabela 39 – Resultados dos parâmetros de drenagem vertical obtido nos domínios de recompressão e compressão virgem.

Amostra	Prof.(m)	σ'_{vm} (kPa)	C_v reomp (x 10-8 m²/s)	C_v virgem (x 10-8 m²/s)	C_v reomp / C_v virgem
AM -1-1	2,3	13,6	31,53	1,50	21,02
AM -1-2	8,6	34	12,13	1,50	8,09
AM -2-1	2,56	19,5	55,72	2,00	27,86
AM -2-2	4,56	19,5	4,82	0,78	6,17
AM -2-3	10,56	45	19,00	0,70	27,14
AM -2-4	12,56	55	13,10	2,28	5,75
AM -2-5	15,56	81	26,06	2,94	8,87
AM -3-1	5,26	29	13,60	0,76	17,99
AM -3-2	7,86	32	17,43	0,83	21,05
AM -4-1	4,35	17,5	13,87	1,43	9,68
AM -4-2	6,47	21	23,19	4,76	4,88
AM -5-1	2,47	7,5	62,45	16,72	3,73
AM -5-2	4,55	17	101,50	18,13	5,60
AM -6-1	2,28	12	9,06	1,76	5,16
AM -6-2	4,57	19	8,89	1,31	6,80
AM -6-3	6,6	13,7	19,22	2,88	6,68

Através dos resultados obtidos nas seis ilhas de investigações, desenvolveram-se dois histograma, um com a frequência de resultados obtidos no domínio de recompressão (figura 84) e outro com os resultados do domínio de compressão virgem, figura 85.

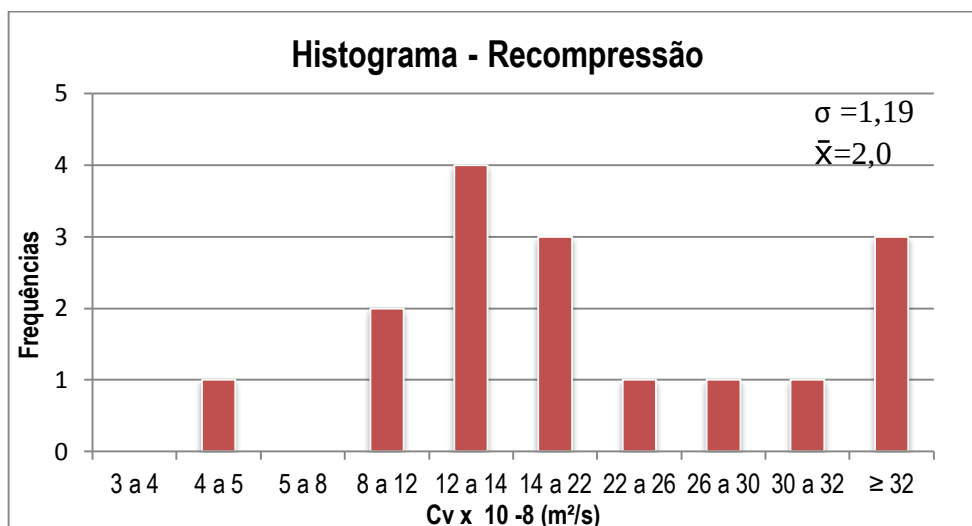


Figura 84. Histograma do Cv de recompressão

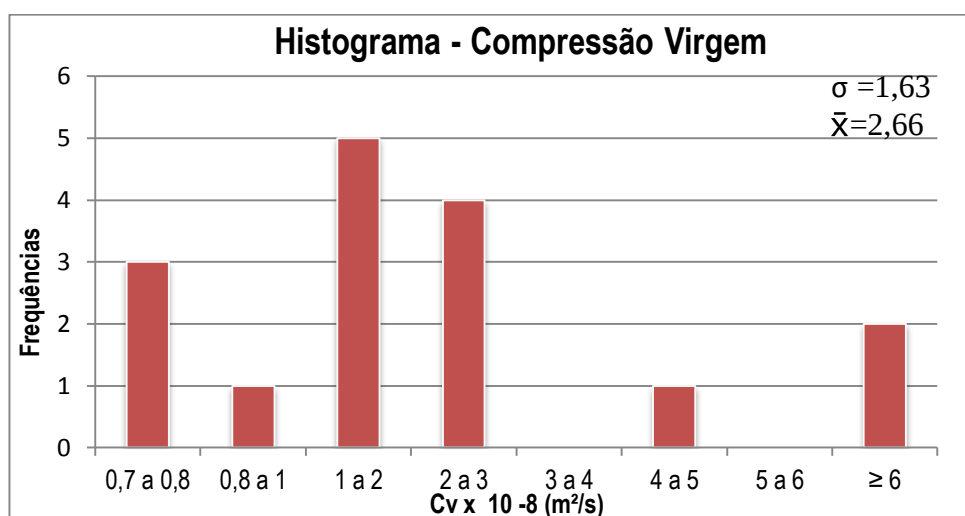


Figura 85. Histograma do Cv de compressão virgem.

5.6 RESUMO DOS PARÂMETROS GEOTÉCNICOS

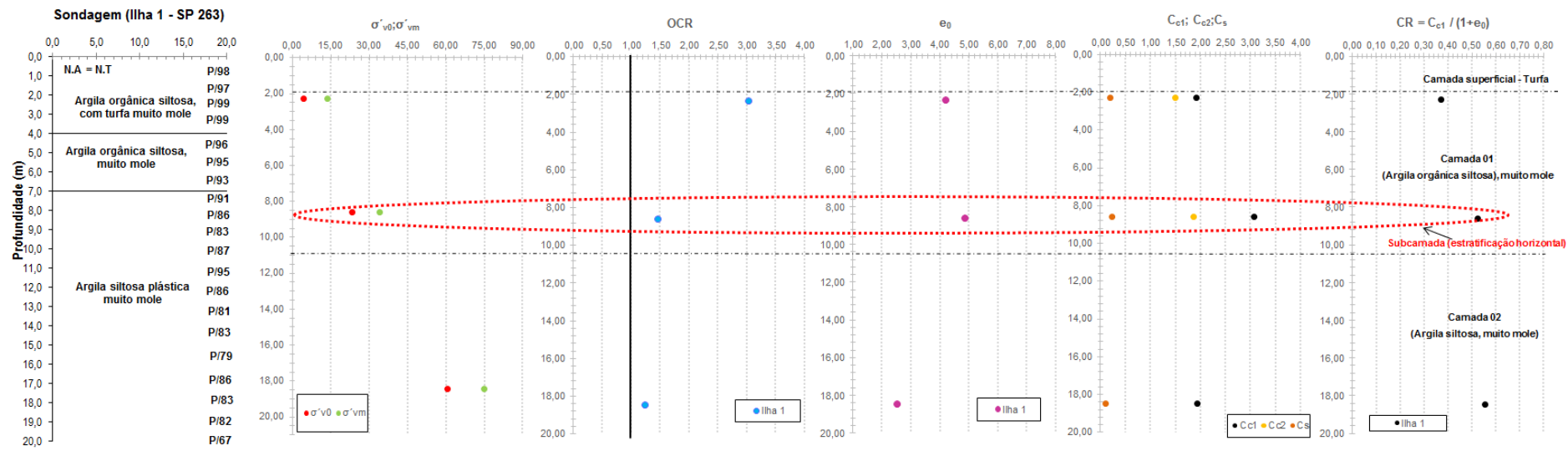
A tabela 40 apresenta o resumo dos parâmetros de compressibilidade e adensamento das seis ilhas estudadas, sendo corrigidas as amostras de má qualidade através dos métodos propostos por Oliveira (2002), Coutinho (2007) e Schmertmann (1955), conforme descrito anteriormente.

Da figura 86 a 92, observa-se o perfil dos parâmetros de compressibilidade obtidos nas seis ilhas, nas quais pôde-se verificar os valores obtidos da tensão de pré-adensamento (σ'_{vm}), tensão vertical do solo (σ'_{v0}), razão de sobreadensamento (OCR), índice de vazios iniciais e_0 , índices de compressão (C_{c1} e C_{c2}) e índice de expansão (C_s), além da razão de compressão (CR).

Tabela 40 – Resumo dos parâmetros geotécnicos obtidos nas ilhas 1,2,3,4,5 e 6, com destaque para os parâmetros que sofreram correções.

Amostra	Prof. (m)	Cr	Cc ₁	Cc ₂	Cs	e ₀	CR	Cr/Cc	σ'_{v0}	σ'_{vm}	OCR	C _v recomp (x 10-8 m ² /s)	C _v virgem (x 10-8 m ² /s)	C _v recomp /C _v virgem
AM - 1-1	2,30	0,28	1,92	1,50	0,19	4,18	0,37	0,15	4,50	13,60	3,02	31,53	1,50	21,02
AM - 1-2	8,60	0,31	3,08	1,87	0,23	4,85	0,53	0,10	23,43	34,00	1,45	12,13	1,50	8,09
AM - 1-3	18,46		1,94		0,10	2,50	0,55	-	60,66	75,00	1,24	-	-	-
AM - 2-1	2,56	0,24	1,87	1,39	0,11	3,66	0,40	0,13	5,28	19,50	3,69	55,72	2,00	27,86
AM - 2-2	4,56	0,34	2,27	1,26	0,18	3,80	0,47	0,15	11,33	19,50	1,72	4,82	0,78	6,17
AM - 2-3	10,56	0,29	2,73	1,33	0,19	3,74	0,58	0,11	27,78	45,00	1,62	19,00	0,70	27,14
AM - 2-4	12,56	0,10	1,27	0,84	0,07	2,15	0,40	0,08	35,24	55,00	1,56	13,10	2,28	5,75
AM - 2-5	14,56	0,27	2,54	1,82	0,23	3,47	0,57	0,11	44,72	81,00	1,81	26,06	2,94	8,87
AM - 2-6	16,48		1,88		0,10	2,41	0,55	-	52,01	83,07	1,60	-	-	-
AM - 3-1	5,26	0,27	2,03	1,21	0,17	3,15	0,49	0,13	13,58	29,00	2,14	13,60	0,76	17,99
AM - 3-2	7,86	0,33	2,48	1,56	0,22	4,09	0,49	0,13	21,82	32,00	1,47	17,43	0,83	21,05
AM - 3-3	9,55	0,56	4,10	2,15	0,27	6,07	0,58	0,14	25,21	31,00	1,23	-	-	-
AM - 4-1	4,35	0,53	2,85	1,95	0,34	5,63	0,43	0,19	7,72	17,50	2,27	13,87	1,43	9,68
AM - 4-2	6,47	0,75	3,55	2,67	0,38	7,15	0,44	0,21	10,35	21,00	2,03	23,19	4,76	4,88
AM - 4-3	10,55		1,26		0,16	3,17	0,30	-	20,60	31,00	1,50			
AM - 5-1	2,47	0,34	2,81	1,57	0,25	5,72	0,42	0,12	5,48	7,50	1,37	62,45	16,72	3,73
AM - 5-2	4,55	0,43	2,86	1,39	0,23	4,60	0,51	0,15	10,54	17,00	1,61	101,50	18,13	5,60
AM - 5-3	6,57	0,46	3,03	1,59	0,29	5,70	0,45	0,15	13,77	31,55	2,29	-	-	-
AM - 5-4	10,50	0,28	2,46	1,23	0,23	4,31	0,46	0,11	24,65	38,83	1,58	-	-	-
AM - 5-5	14,37		1,94		0,18	2,97	0,49	-	38,88	62,10	1,60	-	-	-
AM - 5-6	17,28		1,72		0,28	2,82	0,45	-	49,63	72,44	1,46	-	-	-
AM - 6-1	2,29	0,35	1,87	1,26	0,24	4,41	0,35	0,19	3,21	12,00	3,74	9,06	1,76	5,16
AM - 6-2	4,57	0,53	2,49	1,56	0,27	5,09	0,41	0,21	7,65	19,00	2,48	8,89	1,31	6,80
AM - 6-3	6,57		2,48		0,34	5,08	0,41	0,00	11,25	20,00	1,78	19,22	2,88	6,68

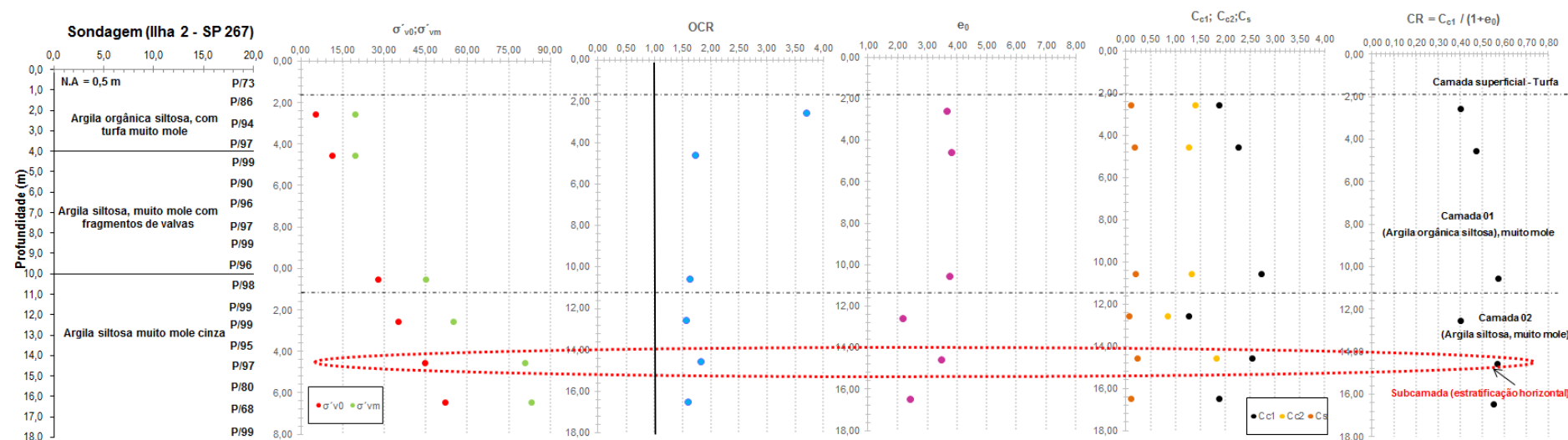
ILHA DE INVESTIGAÇÃO 1



Amostra	Prof. (m)	σ'_{v0}	σ'_{vm}	OCR	e_0	C_{c1}	C_{c2}	C_s	$C_{c1}/(1+e_0)$	Qualidade
AM - 1-1	2,30	4,50	13,60	3,02	4,18	1,92	1,50	0,19	0,37	Muito boa a Excelente
AM - 1-2	8,60	23,43	34,00	1,45	4,85	3,08	1,87	0,23	0,53	Muito boa a Excelente
AM - 1-3	18,46	60,66	75,00	1,24	2,50	1,94		0,10	0,55	Corrigido por Schmertmann (1955)

Figura 86. Perfil dos parâmetros de compressibilidade, ilha de investigação 1.

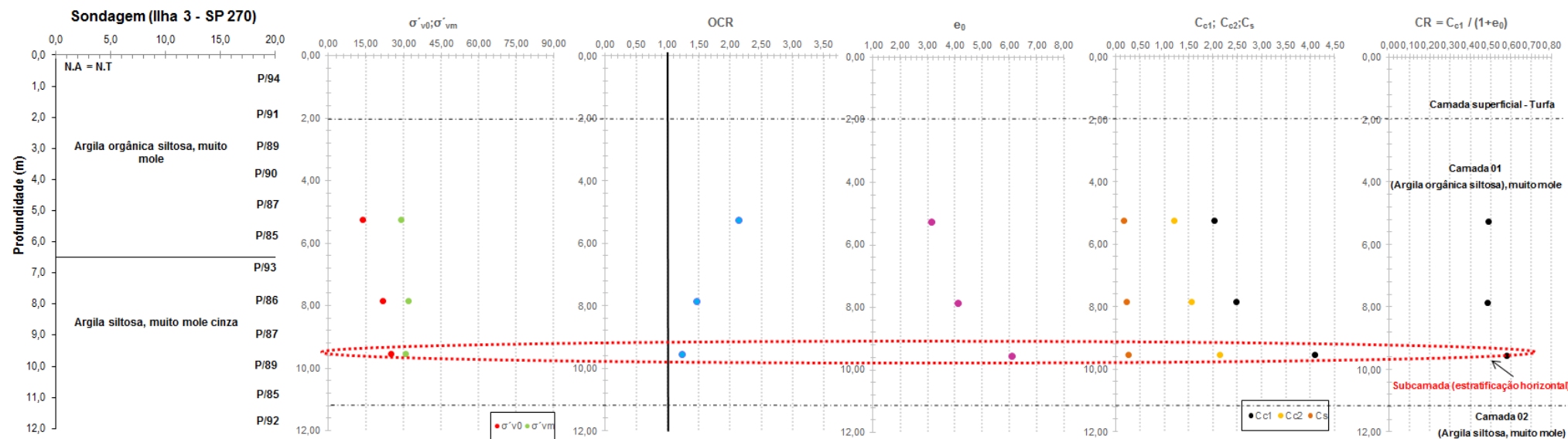
ILHA DE INVESTIGAÇÃO 2



Amostra	Prof. (m)	σ'_{v0}	σ'_{vm}	OCR	e_0	C_{c1}	C_{c2}	C_s	$C_{c1}/(1+e_0)$	Qualidade
AM -2-1	2,56	5,28	19,50	3,69	3,66	1,87	1,39	0,11	0,40	Muito boa a Excelente
AM -2-2	4,56	11,33	19,50	1,72	3,80	2,27	1,26	0,18	0,47	Muito boa a Excelente
AM -2-3	10,56	27,78	45,00	1,62	3,74	2,73	1,33	0,19	0,58	Boa a Regular
AM -2-4	12,56	35,24	55,00	1,56	2,15	1,27	0,84	0,07	0,40	Boa a Regular
AM -2-5	14,56	44,72	81,00	1,81	3,47	2,54	1,82	0,23	0,57	Boa a Regular
AM -2-6	16,48	52,01	83,07	1,60	2,41	1,88		0,10	0,55	Corrigido por Coutinho (2007)

Figura 87. Perfil dos parâmetros de compressibilidade, ilha de investigação 2.

ILHA DE INVESTIGAÇÃO 3



Amostra	Prof. (m)	σ'_{v0}	σ'_{vm}	OCR	e_0	C_{c1}	C_{c2}	C_s	$C_{c1}/(1+e_0)$	Qualidade
AM - 3-1	5,26	13,58	29,00	2,14	3,15	2,03	1,21	0,17	0,49	Muito boa a Excelente
AM -3-2	7,86	21,82	32,00	1,47	4,09	2,48	1,56	0,22	0,49	Boa a Regular
AM -3-3	9,55	25,21	31,00	1,23	6,07	4,10	2,15	0,27	0,58	Corrigido por Schmertmann (1955)

Figura 88. Perfil dos parâmetros de compressibilidade, ilha de investigação 3.

ILHAS DE INVESTIGAÇÕES 1,2 E 3

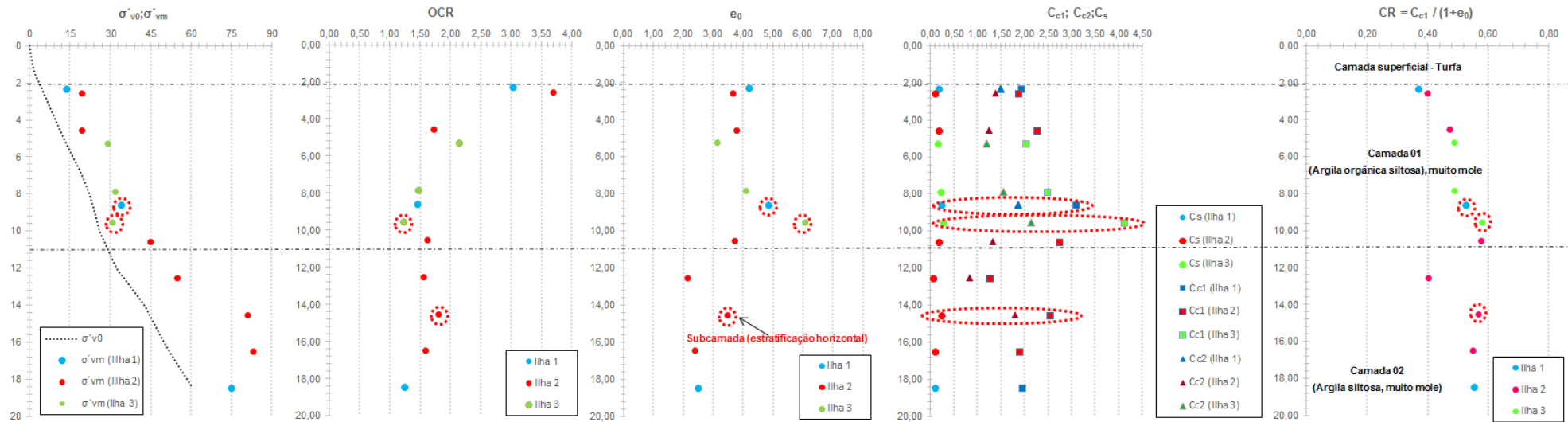
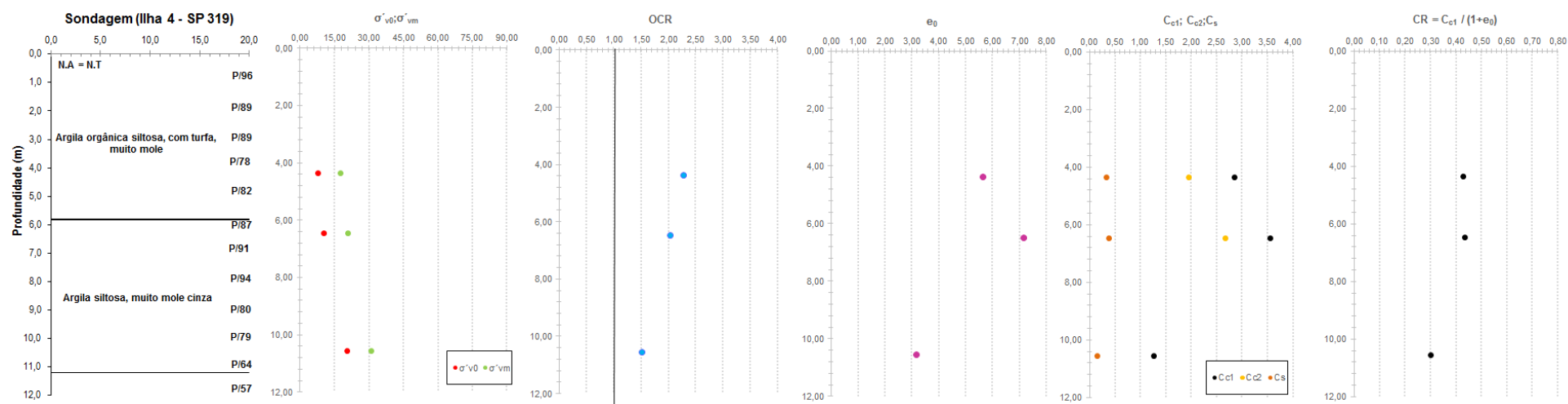


Figura 89. Perfil dos parâmetros de compressibilidade, das ilhas de investigação 1,2 e 3.

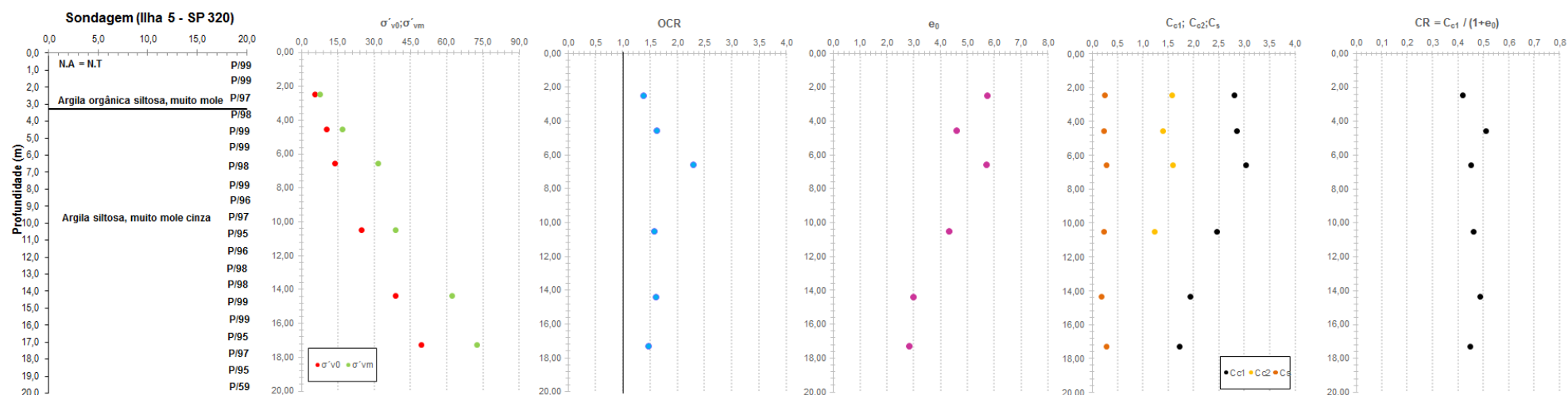
ILHA DE INVESTIGAÇÃO 4



Amostra	Prof. (m)	σ'_{v0}	σ'_{vm}	OCR	e_0	C_{c1}	C_{c2}	C_s	$C_{c1}/(1+e_0)$	Qualidade
AM - 4-1	4,35	7,72	17,50	2,27	5,63	2,85	1,95	0,34	0,43	Muito boa a Excelente
AM -4-2	6,47	10,35	21,00	2,03	7,15	3,55	2,67	0,38	0,44	Muito boa a Excelente
AM -4-3	10,55	20,60	31,00	1,51	3,17	1,26	-	0,16	0,30	Corrigido por Oliveira (2002)

Figura 90. Perfil dos parâmetros de compressibilidade, ilha de investigação 4.

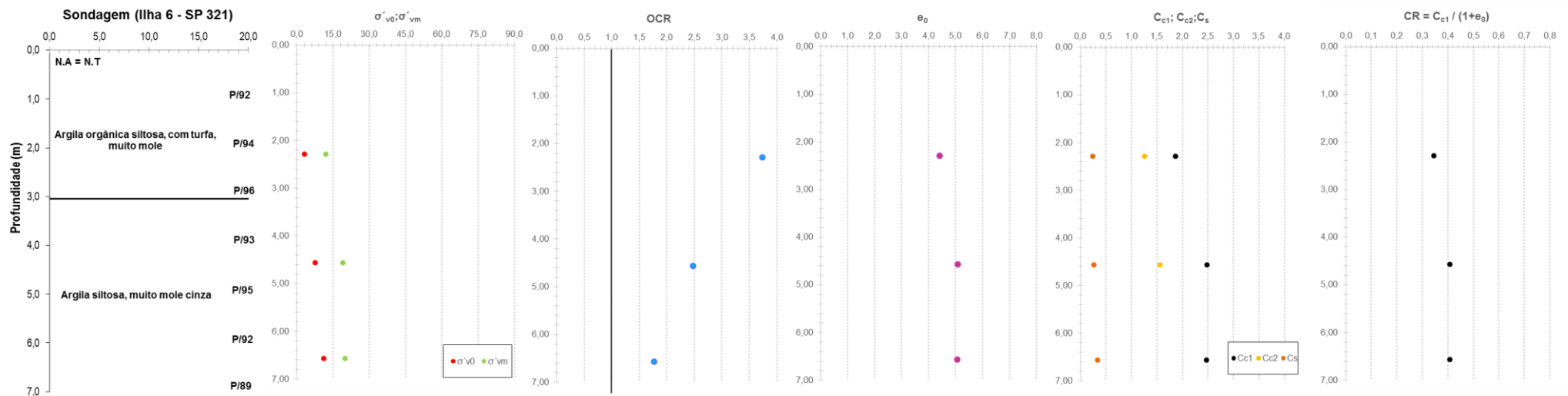
ILHA DE INVESTIGAÇÃO 5



Amostra	Prof. (m)	σ'_{v0}	σ'_{vm}	OCR	e_0	Cc_1	Cc_2	Cs	$Cc_1/(1+e_0)$	Qualidade
AM - 5-1	2,47	5,48	7,50	1,37	5,72	2,81	1,57	0,25	0,42	Muito boa a Excelente
AM - 5-2	4,55	10,54	17,00	1,61	4,60	2,86	1,39	0,23	0,51	Muito boa a Excelente
AM - 5-3	6,57	13,77	31,55	2,29	5,70	3,03	1,59	0,29	0,45	Corrigido por Coutinho (2007)
AM - 5-4	10,50	24,65	38,83	1,58	4,31	2,46	1,23	0,23	0,46	Corrigido por Coutinho (2007)
AM - 5-5	14,37	38,88	62,10	1,60	2,97	1,94		0,18	0,49	Corrigido por Coutinho (2007)
AM - 5-6	17,28	49,63	72,44	1,46	2,82	1,72		0,28	0,45	Corrigido por Coutinho (2007)

Figura 91. Perfil dos parâmetros de compressibilidade, ilha de investigação 5.

ILHA DE INVESTIGAÇÃO 6



Amostra	Prof. (m)	σ'_{v0}	σ'_{vm}	OCR	e_0	C_{c1}	C_{c2}	C_s	$C_{c1}/(1+e_0)$	Qualidade
AM - 6-1	2,29	3,21	12,00	3,74	4,41	1,87	1,26	0,24	0,35	Muito boa a Excelente
AM -6-2	4,57	7,65	19,00	2,48	5,09	2,49	1,56	0,27	0,41	Muito boa a Excelente
AM -6-3	6,57	11,25	20,00	1,78	5,08	2,48		0,34	0,41	Boa a Regular

Figura 92. Perfil dos parâmetros de compressibilidade, ilha de investigação 6.

Os resultados apresentados nas amostras das ilhas 1, 2 e 3 mostram valores de $CR = C_c / (1 + e_0)$ com variação entre 0,37 a 0,58 e valor médio de 0,48. Neste perfil percebe-se no trecho inicial da camada 1, na profundidade do entrono de 2,0 metros apresentou valores menos compressível, com CR inferior a 0,4. Na profundidade próxima a 9,5 metros onde localiza a subcamada, percebe-se um aumento da compressibilidade, atingindo valores de 0,57.

A camada 2, com profundidade superior a 10,5 metros, apresentaram valores de CR variando entre 0,40 a 0,58, observando também um aumento da compressibilidade nas amostras que apresentaram estratificação horizontal.

Já a razão de sobreadensamento (OCR), percebe-se uma redução em função da profundidade, apresentando assim um comportamento semelhante aos observados por diversos autores. Nas ilhas 1, 2 e 3 o valor máximo encontrado foi 3,7.

Os valores do índice de expansão (C_s), nas três ilhas em questão, variaram entre 0,073 a 0,271, com valor médio de 0,172. Já os índices de compressão apresentaram na camada 1, valores variando ente 1,87 a 2,73, exceto nas amostras encontradas na subcamada, que evidenciou um aumento do C_c , atingindo o valor de 4,1. Na camada 2, os valores variaram entre 1,27 a 1,94, aumentando também na subcamada, que apresentou valor de 2,54.

Na ilha de investigação 4, os valores de C_{c1} situaram-se entre 1,26 e 3,55. Enquanto o C_s situou-se entre 0,34 e 0,38, também com redução na amostra de má qualidade chegando ao valor de 0,16. Já o OCR desta ilha, obteve valor máximo de 2,27 com redução em função do crescimento da profundidade. Quanto ao CR desta ilha, observou nas profundidades de 4 e 6 metros uma mesma compressibilidade com valores entorno de 0,44 e na camada mais profunda (de 10 metros) uma redução da compressibilidade com valor de CR de 0,3.

A ilha 5, foi das seis ilhas estudadas a que apresentou maior quantidade de amostras de má qualidade, o que dificulta a correta interpretação, embora tenham sido realizadas. Esta apresentou pequena variação dos parâmetros de compressibilidade em função da profundidade, seus valores variaram entre 0,42 a 0,51.

Por fim, a ilha de investigação 6 apresentou uma argila menos compressível quando comparada com as demais, com valores de CR variando entre 0,35 a 0,41.

Os valores de OCR desta ilha reduziram com a profundez, varando entre 3,74 a 1,78.

5.7 CORRELAÇÕES DOS PARÂMETROS

Coutinho et.al. (1998.a) apresenta correlações estatísticas obtidas para argila de Recife-PE e Coutinho e Bello (2014) para Suape através destes podem-se estimar os parâmetros de compressibilidade C_c , C_s e e_0 , a partir da umidade natural do solo $w(\%)$. A tabela 41 apresenta as equações propostas através das correlações obtidas pelos autores para as argilas de Recife e Suape. Nas figuras 93 a 96 têm-se os gráficos das correlações propostas por Coutinho et al. (1998a) juntamente com os resultados obtidos neste trabalho.

Tabela 41 – Correlações estatísticas – solos orgânicos e argilas moles/médias – Recife (COUTINHO et al. 1998a) e Coutinho e Bello, 2014.

Solo	Correlação	Equação	r^2	Desvio Padrão
Suape , Cluster Naval. Presente trabalho, 2016 $w \leq 200 \%$ $e_0 \leq 4,0$	C_c vs. $w(\%)$	$c_c = 0,0136 w$	0,63	
	C_c vs. e_0	$c_c = 0,545 e_0$	0,53	
	C_s vs. $w(\%)$	$c_s = 0,0013 w$	0,35	
	C_s vs. e_0	$c_s = 0,0522 e_0$	0,20	
Supe , Cluster Naval. Presente trabalho, 2016 $w \geq 200 \%$ $e_0 \geq 4,0$	C_c vs. $w(\%)$	$C_c = 0,0075 w + 1,1064$	0,69	
	C_c vs. e_0	$C_c = 0,4198 e_0 + 0,4952$	0,61	
	C_s vs. $w(\%)$	$C_s = 0,0008 w + 0,1028$	0,40	
	C_s vs. e_0	$C_s = 0,0497 e_0 + 0,0119$	0,62	
Recife , Coutinho et.al (1998). $w \leq 200 \%$ $e_0 \leq 4,0$	C_c vs. $w(\%)$	$c_c = 0,014 w - 0,094$	0,82	0,26
	C_c vs. e_0	$c_c = 0,586 e_0 - 0,165$	0,84	0,25
	C_s vs. $w(\%)$	$C_s = 0,0019 w + 0,0043$	0,80	0,04
	C_s vs. e_0	$c_s = 0,084 e_0 - 0,0086$	0,81	0,04
Recife , Coutinho et.al (1998). $w \geq 200 \%$ $e_0 \geq 4,0$	C_c vs. $w(\%)$	$C_c = 0,004 w + 1,738$	0,52	0,54
	C_c vs. e_0	$C_c = 0,411 e_0 + 0,55$	0,79	0,45
	C_s vs. $w(\%)$	$C_s = 0,0009 w + 0,159$	0,53	0,12
	C_s vs. e_0	$C_s = 0,055 e_0 + 0,09$	0,62	0,10
Suape , Coutinho e Bello, 2014.	C_c vs. $w(\%)$	$Cc = 0.0097 w(\%)$		
	C_c vs. e_0	$Cc = 0,412e_0 - 0,193$		

$w \leq 200 \%$ $e_0 \leq 4,0$	C_s vs. $w(\%)$	$C_s = 0,028 + 0,001 w(\%)$		
	C_s vs. e_0	$C_s = 0,125 e_0 - 0,025$		
Suape, Coutinho e Bello, 2014. $w \geq 200 \%$	C_c vs. $w(\%)$	$C_c = 0,625 + 0,007 w(\%)$		
	C_s vs. $w(\%)$	$C_s = 0,108 + 0,001 w(\%)$		

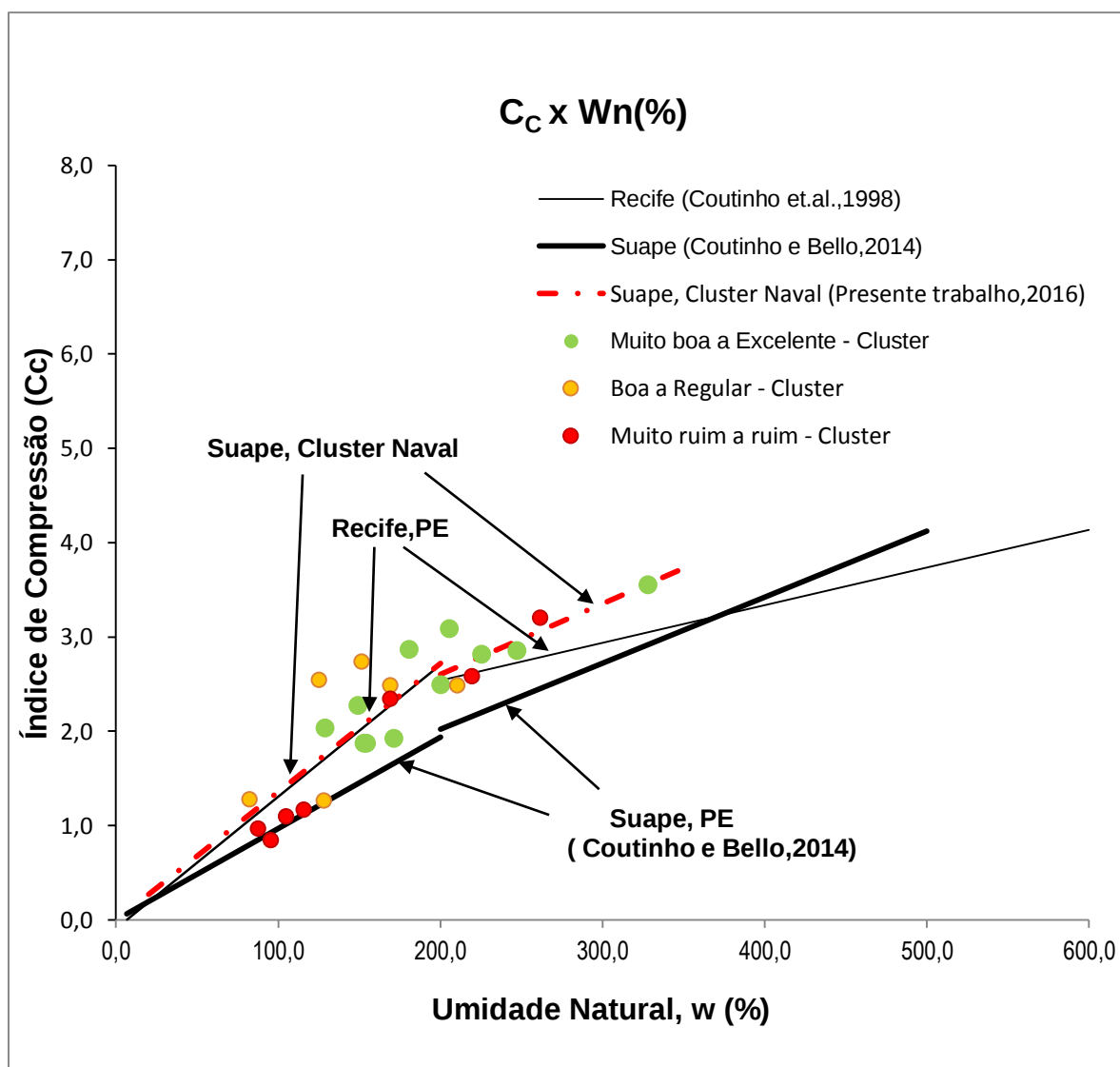


Figura 93. Correlações estatísticas: c_c vs $w(\%)$, Coutinho et.al (1998) e Coutinho e Bello (2014), mais resultados do Cluster Naval Suape.

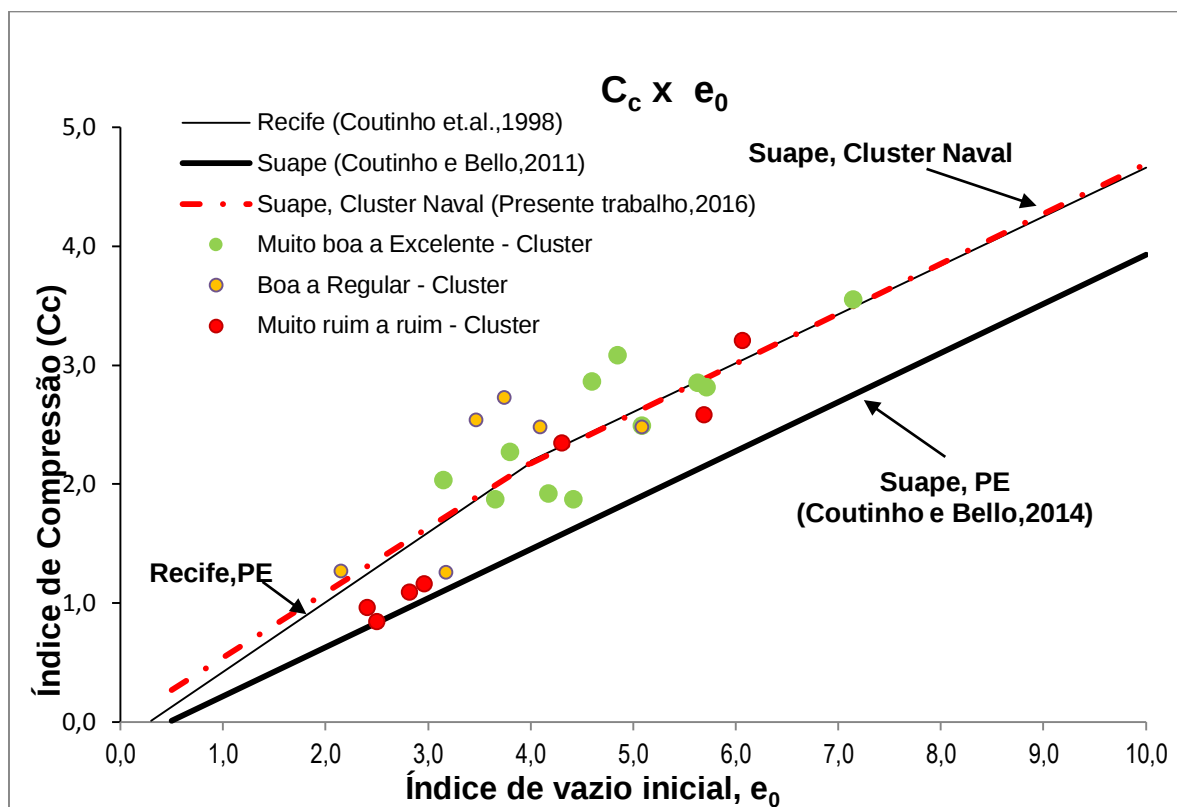


Figura 94. Correlações estatísticas: c_c vs e_0 , Coutinho et.al (1998) e Coutinho e Bello (2014), mais resultados do Cluster Naval Suape.

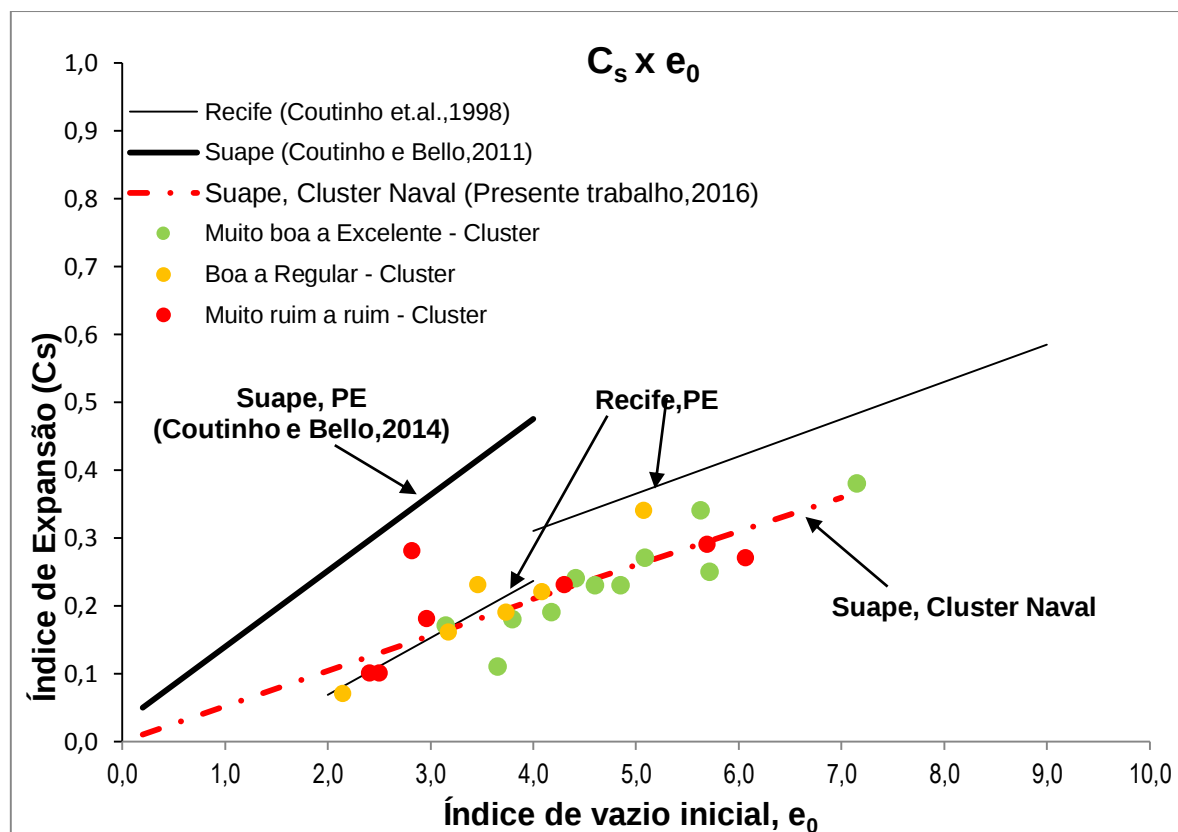


Figura 95. Correlações estatísticas: c_s vs e_0 , Coutinho et.al (1998) e resultados do Cluster Naval Suape.

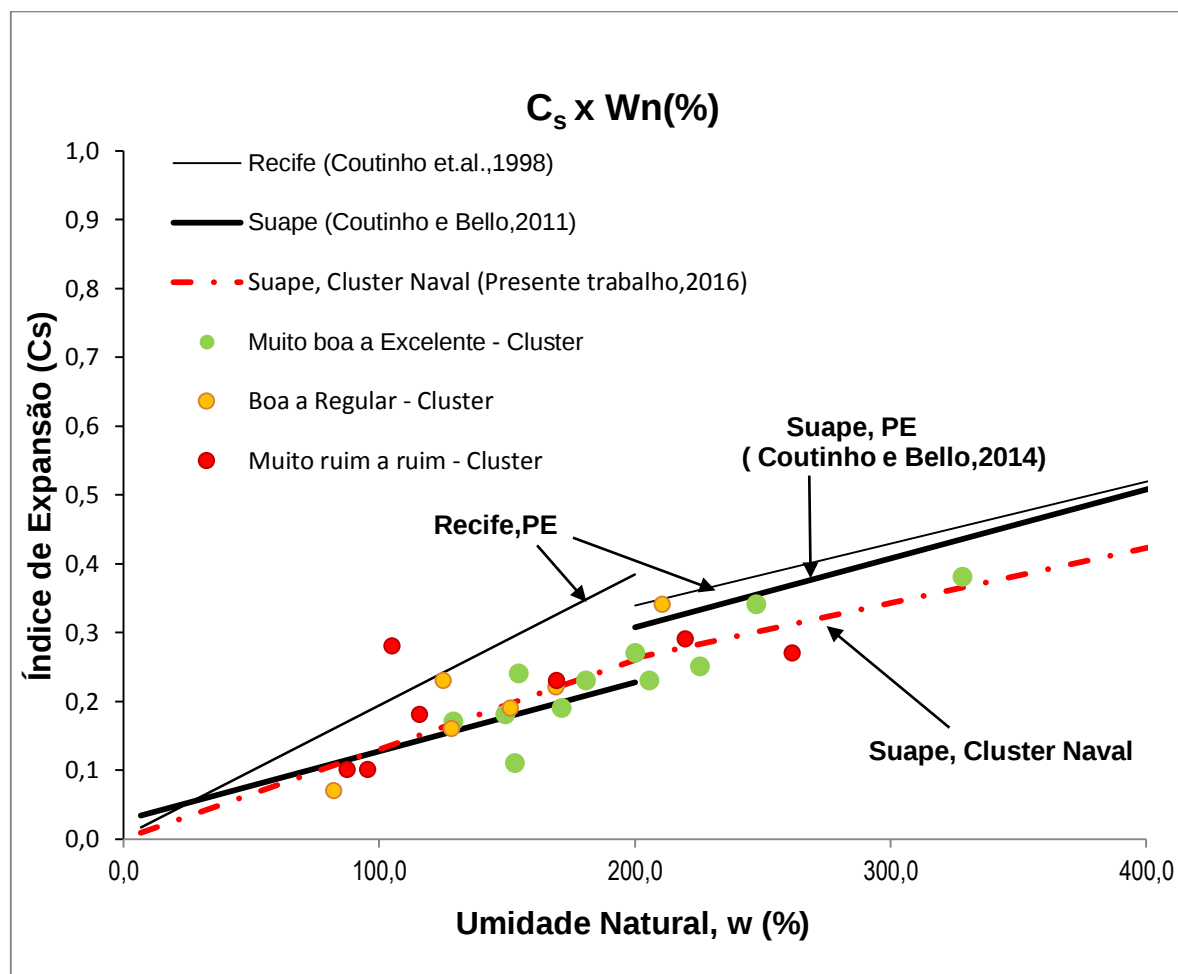


Figura 96. Correlações estatísticas: c_s vs $w(\%)$ - Coutinho et.al (1998) e Coutinho e Bello (2014), mais resultados do Cluster Naval Suape.

O estudo desenvolvido por Coutinho e Bello (2014) nas áreas AE-1 e AE-2 que estão dentro do Complexo Industrial Portuário de Suape, conforme já citado neste trabalho, mostra que as argilas dessa localidade apresentam valores inferiores na curva $C_c \times W_n$, quando comparadas com as argilas de Recife. Embora a área de estudo esteja localizada em Suape, próximas à área avaliada por Coutinho e Bello, pode-se observar por meio da figura 93, que o comportamento do índice de compressão C_c das amostras do Cluster Naval se aproximou mais das argilas de Recife. Tal situação também pode ser identificada na figura 94, a qual é apresentado o gráfico do índice de compressão $C_c \times e_0$ (Índice de vazio inicial).

Ao avaliar a relação entre o índice de expansão de umidade natural das amostras do Cluster Naval, percebe-se que para as umidades inferiores a 200% os resultados obtidos se aproximaram da equação proposta por Coutinho e Bello (2014)

para Suape/PE e ficando abaixo da proposta de Coutinho et.al (1998) para Recife/PE. As equações propostas para as duas cidades tiveram como ponto de referência o valor de umidade igual a 200%, propondo nova equação para valores acima deste. Entretanto, observa-se que não há mudança significativa no comportamento das mostras obtidas no Cluster Naval para valores superiores a 200%; nessa faixa as amostras estudadas apresentaram valores inferiores a Recife e Suape.

O estudo realizado por Coutinho e Bello (2014) para as argilas de Suape, contou com um grande percentual de amostras de má qualidade, o que pode ter acarretado uma diminuição do índice de compressão C_c , apresentando assim valores abaixo dos obtidos neste trabalho. Tal distorção não foi observada nas correlações envolvendo o índice de expansão C_s , pois, tal parâmetro é menos afetado pelo amolgamento da amostra.

5.8 RAZÃO DE PRÉ-ADENSAMENTO, OCR E CORRELAÇÕES (S_u/σ'_{vo} VS IP)

Conforme descrito no capítulo 2 desta dissertação, através do ensaio de palheta é possível a determinação do OCR, mesmo que seja uma relação de segunda ordem. Vários autores vêm desenvolvendo trabalhos nesta área. Schofield, Wroth, 1968 e Ladd et.al (1977) demonstraram que a resistência ao cisalhamento não drenada normalizada pela tensão efetiva vertical in situ (σ'_{vo}) cresce com o OCR. Já Mayne e Mitchell (1988) através do banco de dados de 96 depósitos de argilas avaliaram a aplicabilidade desta correlação determinando a expressão (11):

$$OCR = 22 \times IP^{-0,48} \times \frac{S_u}{\sigma_{vo}} \quad (11)$$

Bello (2011) a partir de Coutinho (2000) comparou os resultados OCR obtidos no ensaio de palheta como os restados determinados através dos ensaios oedométricos realizados em Suape/PE, através de três propostas (Chandler (1987; 1988), Tavenas & Leroueil (1987) e Mayne e Mitchell (1988)). A autora percebeu que em geral, os valores diferenciavam entre as propostas ao longo da profundidade, entretanto com tendência similares no comportamento. Porém, constatou que a

proposta de Mayne e Mitchell (1988) foi a que mais se aproximou dos valores de OCR obtidos nos ensaios oedométricos convencionais.

Para as argilas do Cluster foi determinado o OCR através do ensaio de Palheta com base na proposta pela equação (12), que tomou como base a proposta de Mayne e Mitchell (1988), apenas com ajuste da expressão para uma melhor concordância dos pontos obtidos nestas.

$$OCR = 30 \times IP^{-0,48} \times \frac{S_u}{\sigma'_{v0}} \quad (12)$$

Na figura 97, apresenta-se o gráfico com a relação entre o OCR obtido através dos ensaios de laboratório vs Palheta. Já a tabela 42, aponta os valores obtidos.

Tabela 42 Valores de OCR de campo e laboratório do Cluster Naval.

Amostra	Prof. (m)	IP	Su (Palheta)	σ'_{v0}	σ'_{vm}	OCR Laboratório	OCR Palheta
AM - 1-1	2,30	120,00	4,80	4,50	13,60	3,02	3,21
AM -1-2	8,60	136,00	1,40	23,43	34,00	1,45	0,17
AM -1-3	18,46	78,00	18,60	60,66	75,00	1,24	1,14
AM -2-1	2,56	103,00	10,40	5,28	19,50	3,69	6,39
AM -2-2	4,56	117,00	11,80	11,33	19,50	1,72	3,18
AM -2-3	10,56	128,00	17,30	27,78	45,00	1,62	1,82
AM -2-4	12,56	59,00	13,40	35,24	55,00	1,56	1,61
AM -2-5	14,56	69,00	13,90	44,72	81,00	1,81	1,22
AM -2-6	16,48	96,00	17,60	52,01	83,07	1,60	1,14
AM -3-1	5,26	133,00	12,40	13,58	29,00	2,14	2,62
AM -3-2	7,86	137,00	11,40	21,82	32,00	1,47	1,48
AM -3-3	9,55	171,00	15,90	25,21	31,00	1,23	1,60
AM -4-1	4,35	149,90	23,60	7,72	17,50	2,27	8,28
AM -4-2	6,47	176,00	34,00	10,35	21,00	2,03	8,24
AM -4-3	10,55	84,80	52,30	20,60	31,00	1,50	9,04
AM -5-1	2,47	-	3,50	5,48	7,50	1,37	-
AM -5-2	4,55	103,90	7,90	10,54	17,00	1,61	2,42
AM -5-3	6,57	164,50	6,90	13,77	31,55	2,29	1,30
AM -5-4	10,50	128,60	9,70	24,65	38,83	1,58	1,15
AM -5-5	14,37	71,10	32,40	38,88	62,10	1,60	3,23
AM -5-6	17,28	82,60	32,30	49,63	72,44	1,46	2,35
AM -6-1	2,29	142,70	8,70	3,21	12,00	3,74	7,52
AM -6-2	4,57	142,40	10,60	7,65	19,00	2,48	3,85
AM -6-3	6,57	127,60	18,50	11,25	20,00	1,78	4,81

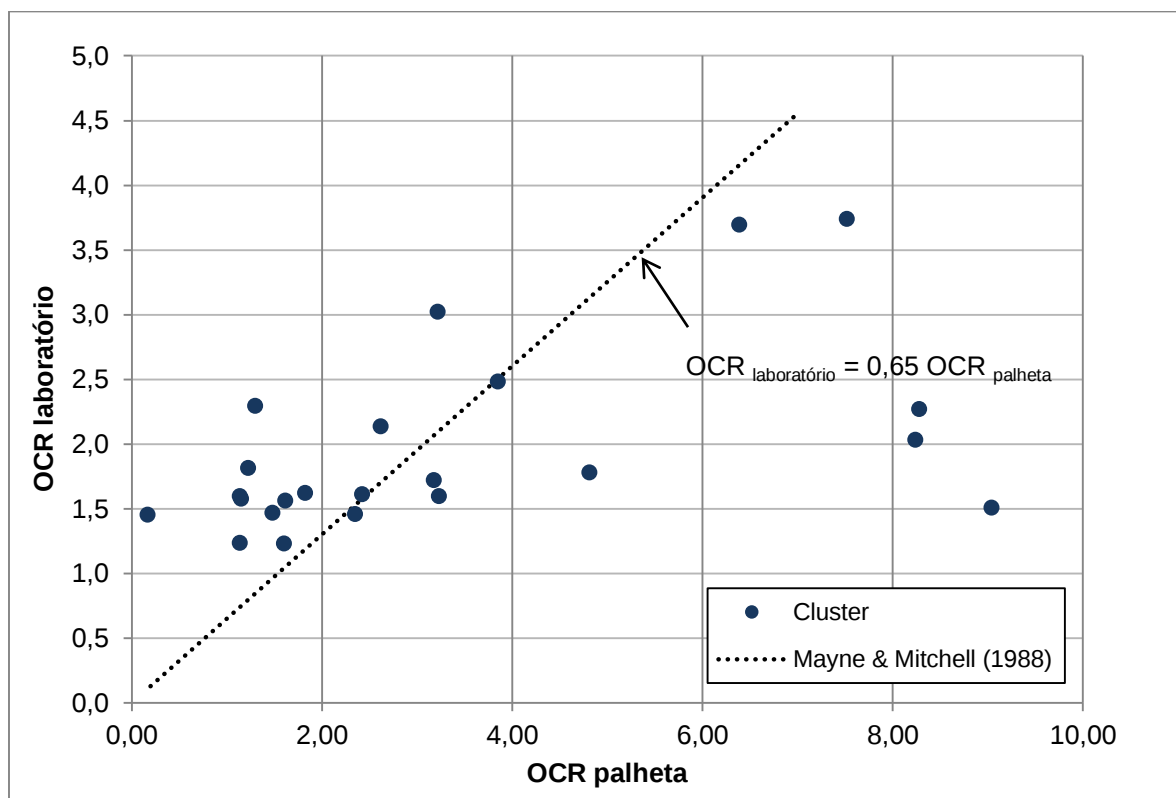


Figura 97. Gráfico de OCR_{laboratório} vs. OCR_{palheta} das amostras do Cluster.

Ao avaliar os resultados ao longo da profundidade (figura 96) percebe-se uma mesma tendência com valores próximos, indicando a qualidade dos ensaios realizados. Ao analisar os resultados obtidos na ilha 4, percebemos uma grande distorção entre os valores de OCR_{Laboratório} com OCR_{Palheta}, pode-se explicar tal distorção pelos altos valores obtidos nos ensaios de palheta, atingindo 52 kPa.

Segundo Almeida, M. S. S. & Marques, M. E. S. (2014)

“Os valores de σ'_{v0} podem também ser suscetíveis a erros, em particular nas camadas superiores, em função dos baixos valores de σ'_{v0} decorrentes de dificuldades na estimativa do nível d'água e da posição exata da amostra em profundidades dentro do amostrador”.

Isto explica a maior dispersão observada nas camadas superficiais, destacando a mostra AM-6-1, tal mostra apresentou um σ'_{v0} igual a 3,21 kPa. Esta ilha de investigação também sofre com a variação do nível de água.

A seguir será apresentada a figura 98 com os resultados de $OCR_{\text{Laboratório}}$ e OCR_{Palheta} variando com a profundidade nos resultados de OCR_{Palheta} que sofreram uma maior dispersão. Serão identificadas suas amostras e os valores de S_u palheta.

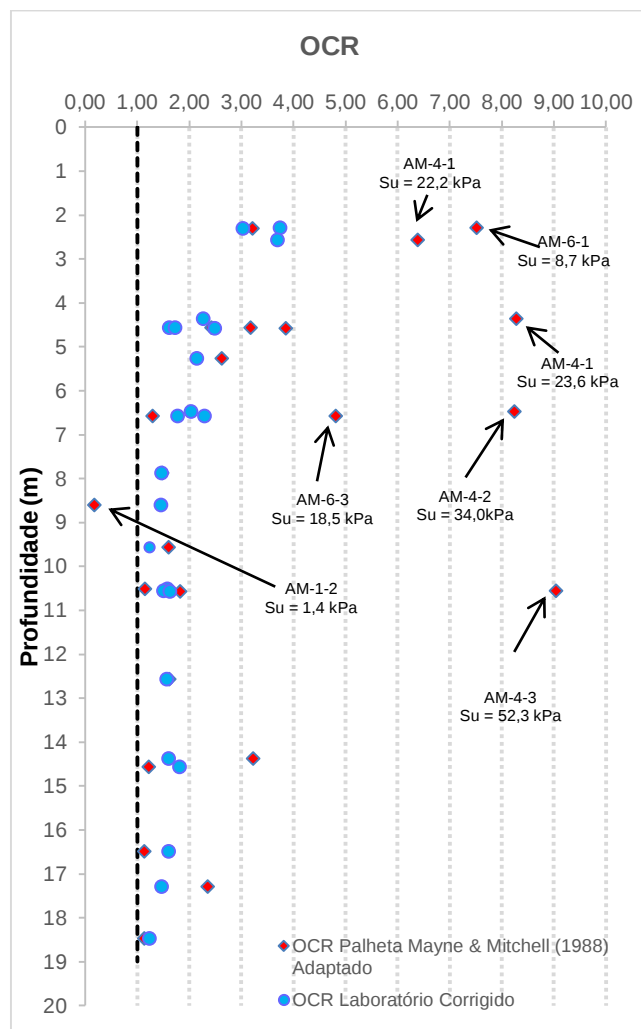


Figura 98. Gráfico de $OCR_{\text{laboratório}}$ e OCR_{palheta} das amostras do Cluster ao longo da profundidade.

Outro uso que vem sendo bastante abordado são as correlações estabelecidas a partir da relação da resistência ao cisalhamento não drenada normalizada com o índice de plasticidade IP das argilas. Autores como Skempton (1957), Mesri (1975), Larsson (1980), Oliveira (2000) e Bello (2011) o utilizam. A tabela 43 a seguir apresenta as correlações propostas por estes autores.

Tabela 43 Correlações propostas na literatura para determinação de $Su_{\text{palheta}} / \sigma'_{vm}$ e IP

EQUAÇÕES	AUTORES
$Su/\sigma'_{vm} = 0,11 + 0,0037 \text{ IP (\%)} $	Skempton (1957)
$Su/\sigma'_{vm} = 1/22 \text{ IP}^{-0,48} \text{ (\%)} $	Mesri (1975)
$Su/\sigma'_{vm} = 0,08 + 0,0055 \text{ IP (\%)} $	Larsson (1980)
$Su/\sigma'_{vm} = 0,1656 + 0,0029 \text{ IP (\%)} \pm 0,0782 $	Oliveira (2000)
$Su/\sigma'_{vm} = 0,004 \text{ IP (\%)} + 0,311 $	AE -1 (Bello, 2011, a partir de Coutinho 2006)
$Su/\sigma'_{vm} = 0,005 \text{ IP (\%)} + 0,094 $	AE -2 (Bello, 2011)

A figura 99, apresenta os valores de relação de $Su_{\text{palheta}} / \sigma'_{vm}$ vs. IP(%) para os ensaios obtidos no cluster naval, comparando com outros depósitos brasileiros.

Para a determinação dos pontos, foram considerados os valores de σ'_{vm} corrigidos como apresentado no item 5.4. Nota-se uma grande dispersão dos pontos e com valores em sua maior parte, abaixo da reta proposta por Coutinho 2007.

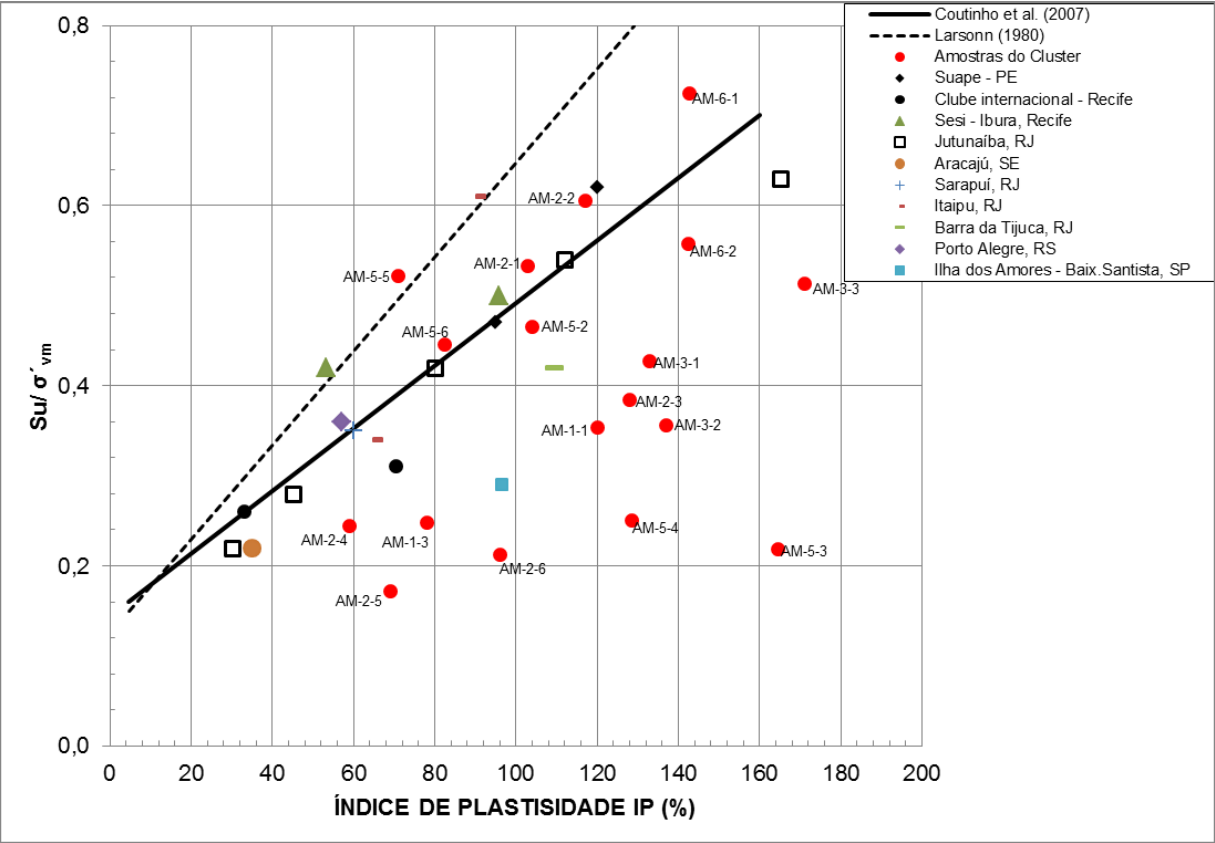


Figura 99. Gráfico de $Su_{\text{palheta}} / \sigma'_{vm}$ vs. Índice de Plasticidade (%).

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 CONCLUSÕES

O trabalho teve como objetivo estudar as propriedades geotécnicas do Subsolo do Cluster Naval, localizado no Complexo industrial Portuário de Suape/PE, para tal, foi realizada uma vasta campanha de investigação, com ensaios de campo e laboratório. Durante toda campanha de averiguação, redobram-se os esforços para garantir qualidade dos resultados obtidos.

Para a correta interpretação dos resultados obtidos nos ensaios de compressibilidade, foram avaliadas as qualidades das amostras através dos critérios propostos por Coutinho (2007) e Lunne et al (1997). Nas amostras consideradas de má qualidade, corrigiram-se os parâmetros através dos métodos propostos por Oliveira (2002), Schmertmann (1955) e Coutinho (2007).

Após as correções, discutiram-se os parâmetros de compressibilidade, adensamentos obtidos e realizaram-se as correlações.

6.1.1 Programa de Investigação

O trabalho contemplou seis ilhas de investigações contendo em cada uma, vertical de ensaio de palheta, sondagem a percussão e coleta de amostras indeformadas do tipo Shelby para a realização dos ensaios de laboratório (caracterização completa, teor de matéria orgânica, umidade natural, adensamento oedométrico e triaxial UU).

Por se tratar de uma área portuária localizada em trecho de mangue que sofre influência da maré, foi necessário um planejamento para execução dos ensaios e uma logística diferenciada, destacando a maior dificuldade para a execução das ilhas 4,5 e 6 por estarem mais afastadas e sem acesso próximo.

O processo de amostragens seguiu rigorosamente as exigências da norma brasileira e das especificações técnicas elaboradas pelos consultores envolvidos. Destacando também os cuidados tomados com o transporte e armazenamento das amostras.

Embora todos os esforços realizados para a obtenção de amostras de boa qualidade, foram extraídas amostras de má qualidade, ratificando a dificuldade da amostragem em solos muito moles.

6.1.2 Qualidade das amostras

As avaliações da qualidade das amostras apontaram que 67% apresentaram resultados satisfatórios segundo critério Coutinho (2007), variando entre regular à excelente. Este percentual pode ser considerado bom se tratando de solo muito mole e das dificuldades encontrada em campo, em especial nas ilhas 4,5 e 6.

Das oito amostras consideradas de má qualidade, apenas uma foi coletada com profundidade inferior a 10m, o que mostra o aumento do grau de dificuldade nas coletas mais profundas.

As amostragens que apresentaram má qualidade foram corrigidas através dos métodos propostos por Oliveira (2002), Schmertmann (1955) e Coutinho (2007). Os parâmetros analisados neste trabalho foram os corrigidos.

6.1.3 Caracterização geotécnica e geológica

Segundo a carta Geotécnica e de Suscetibilidade a processos geológicos do município, na área em estudo encontram-se os depósitos de Mangues, constituído predominantemente por argilas orgânicas, siltes, areias finas e restos orgânicos, formando áreas baixas periodicamente inundáveis; situadas principalmente ao longo dos trechos inferiores dos rios que sofrem a influência direta do mar e estão cobertas por uma vegetação característica que se assenta em um substrato de sedimentos finos ricos em matéria orgânica.

De fato, essas características foram às observadas no estudo, ratificando a importância das cartas geotécnicas e geológicas bem elaboradas.

6.1.3.1 Parâmetros de caracterização

Foram analisados os parâmetros de caracterização, dividindo em quatro diferentes áreas, uma primeira, concentrando as ilhas 1, 2 e 3 e outras três, localizadas nas ilhas 4, 5 e 6.

As interpretações dos resultados mostraram que nas ilhas 1, 2 e 3, o subsolo é formado por três diferentes camadas, uma primeira composta por turfa com altos teores de umidade natural e matéria orgânica, com valores médios respectivamente de 420% e 42%. Embora não tenham sido coletadas amostras superficiais nas demais ilhas, a análise tátil visual e a descrições obtidas nas sondagens e nas amostragens mais superficiais, indicam a presença de turfas nas demais áreas investigadas.

A camada intermediária, variou entre 2,5 a 10,5 metros de profundidade com redução dos valores de umidade natural TMO apresentando respectivamente como média, 170 % e 13,7%. Já a terceira camada, com profundidade superior a 12,5 metros, os valores de umidade natural e TMO reduziram ainda mais, apresentado valores médios respectivos de 100% e 7%.

Mesmo que apresentasse bem definidas as três camadas, observou-se nestas, a formação de uma subcamada onde se verifica uma estratificação horizontal que acarretou um aumento da umidade natural, teor de matéria orgânica e índice de vazios inicial, causando uma maior dispersão dos valores obtidos.

Avaliando a variabilidade entre todas as ilhas, percebe-se que as ilhas 5 e 6 se aproximaram dos resultados de caracterização obtidos nas ilhas 1, 2 e 3, porém a ilha 4, apresentou valores mais elevados de umidade natural, TMO e índice de vazio, com os respectivos valores médios 235%, 32% e 16.

Avaliando a carta de plasticidade das amostras obtidas no Cluster, aponta-se que 32% das amostras obtidas neste trabalho, foram classificadas como pouco orgânicas; 52% mediamente orgânica e os 16% restante, muito orgânica. Destacando a ilha 4 que apresentou valores que representam turfas segundo (Coutinho, 1986) a partir de (Perrin, 1975).

De modo geral os valores apresentaram entorno da linha A, com valores acima de outros depósitos como Juturnaiba (Coutinho et.al 1998), e Suape nas áreas AE-1 e AE-2 (Coutinho & Bello, 2014), se aproximando mais dos resultados da área AE-1.

6.1.3.2 Resistência não Drenada (S_u)

Para a determinação da resistência não drenada S_u , foram realizados ensaios de palheta nas seis ilhas de investigações. Os valores de S_u obtidos nas ilhas 1, 2 e 3 apresentaram um crescimento com a profundidade, nas camadas superficiais

variando o S_u entre 5 a 10 kPa, já na camada mais profunda, a resistência atingiu valores de 29 kPa.

As ilhas 5 e 6, acompanharam a tendência das ilhas 1, 2 e 3, porém na ilha 5 os valores de S_u só apresentaram ganho de resistência na profundidade de 14 m, que apresentou S_u de 32,4 kPa. A ilha 4 comparada com as demais foi a que apresentou maiores valores de S_u , com valor de 10,6 kPa na camada de 2 metros e atingindo 52,3 kPa aos 10 m de profundidade. O aumento expressivo do S_u nesta ilha 4, pode ser explicado pela presença de turfa no perfil.

6.1.3.3 Compressibilidade

(a) Razão de Compressão

Quanto aos parâmetros de compressibilidade, nas amostras das ilhas 1, 2 e 3, os valores de CR, variaram entre 0,37 a 0,58. O perfil apresentou na profundidade de 2,0 metros (camada 1) valores inferiores a 0,4, na mesma camada, percebe-se um aumento da compressibilidade, atingindo valores de 0,57 na profundidade média de 9 metros, onde encontra-se as amostras com estratificação horizontal.

Já na camada 2, com profundidade superior a 10,5 metros, apresentaram valores de CR variando entre 0,40 a 0,58, observando também um aumento da compressibilidade nas amostras que apresentaram estratificação horizontal.

Na ilha 6 a razão de compressão seguiu a tendência das demais 1, 2 e 3 apresentando valores pouco menores, entre 0,35 a 0,41. Já a ilha 4 apresentou nas profundidade de 4,3 e 6,5 metros valores de 0,44, seguindo a tendências das demais ilhas, porém na profundidade de 10,5 metros os montantes apresentaram forte redução se atingindo o valor de 0,3.

A ilha 5 indicou um perfil com pequena variação ao longo da profundidade, com valores ente 0,42 a 0,51.

(b) Índice de compressão

Os índices de compressão das ilhas 1, 2 e 3 apresentaram na camada 1, valores variando entre 1,87 a 2,73, exceto nas amostras encontradas na subcamada, que evidenciou um aumento do C_c , atingindo o valor de 4,1.

Na camada 2, os valores variaram entre 1,27 a 1,94, aumentando também na subcamada, que apresentou valor de 2,54.

Na ilha 4 o comportamento diferenciou-se das ilhas 1, 2 e 3, com valores elevados nas camadas mais superficiais, chegando a 3,5. Na camada mais profunda, 10,5 m, o valor reduziu bruscamente, atingindo 1,26.

A ilha 5 apresentou valores na primeira camada próxima à 4, porém na camada intermediária e mais profunda, os montantes se aproximaram dos encontrados as ilhas 1, 2 e 3.

Na ilha 6, a amostra coleta a 2,3 metros, apresentou valores próximos aos obtidos nas ilhas 1, 2 e 3 para a mesma camada. Já nas amostragens coletadas a 4,5 e 6,5 metros, apresentaram valores correspondente a segunda camada das 1, 2 e 3.

6.1.3.4 Adensamento

Para a determinação do coeficiente de adensamento por drenagem vertical foi considerado a interpretação em dois diferentes domínios, o primeiro na fase de recompressão (C_v recomp) e o segundo, no domínio de compressão vigem (C_v virgem). Através dos resultados obtidos, foram construídos histogramas para cada domínio. Na fase de compressão virgem a maior ocorrência se deu para o C_v de 1 a 2×10^{-8} m²/s com 31% do total. Já na fase de recompressão, com 25 % de ocorrência, o C_v de 12 a 14×10^{-8} m²/s foi o mais frequente.

6.1.4 Correlações

Através dos resultados obtidos na campanha realizaram-se correlações entre os parâmetros de compressibilidade C_c , C_s com o índice de vazios e_0 e umidade natural W_n , e comparados com os resultados de Recife- Coutinho et.al. (1998.a)- e Suape, Coutinho e Bello, 2014.

Para a correlação $C_c \times W_n$ e $C_c \times e_0$, percebeu que as amostras apresentaram-se acima dos valores proposto para Suape, situando-se mais próximas de Recife.

Já em relação à análise do $C_s \times W_n$, as amostras do cluster apresentaram valores próximo ao proposto para Suape.

O estudo realizado por Coutinho e Bello (2014) para as argilas de Suape, contou com um grande percentual de amostras de má qualidade, o que pode ter acarretado uma diminuição do índice de compressão C_c , apresentando assim valores abaixo dos obtidos neste trabalho. Tal distorção não foi observada nas correlações envolvendo o índice de expansão C_s , pois, tal parâmetro é menos afetado pelo amolgamento da amostra.

6.2 SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

- a) Aprofundar os estudos das argilas de Suape, com novas campanhas de investigações;
- b) Construir curvas oedométricas corrigidas a partir de outras propostas com Futai (2010);
- c) Atualizar o banco de Dados das argilas de Suape, incluindo esta investigação;
- d) Refinar as correlações propostas entre os parâmetros de compressibilidade com os índices e vazios e umidade natural para as argilas de Suape, através desta campanha.
- e) Aprofundar os estudos de resistência não drenada S_u , para as argilas de Suape/PE

ANEXO 01.

(Sondagens das Ilhas de investigações)

ILHA 1 – SP 263

PERFIL INDIVIDUAL DE SONDAGEM À PERCUSSÃO													
Cliente: CONSORCIO PROJETEC PLANAVE ECOMNOR													
Local: CLUSTER NAVAL - PORTO DE SUAPE - PE													
Escala: 1:100		Data: 04/05/2012		Des. n.º		Folha: 1/3							
Sondagem n.º SP-263		Cota:		Locação:		N		E					
Cota em relação ao R.N.	Avanço	Amostra	Profundidade da camada (m)	Penetração (golpes/30cm) — 1ª e 2ª penetrações — 2ª e 3ª penetrações				Umidade Natural	Revestimento Ø 76,2 mm Amostrador { Ø Interno 34,9 mm Ø externo 50,8 mm Peso: 65kg - Altura da queda= 75cm				
Nível d'água				Número de golpes		Gráfico				CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL			
				1ª e 2ª	2ª e 3ª	10	20	30	40	%			
N.A.	TC		0,55	P/98	-						VÃO LIVRE		
		1		P/97	-						ARGILA ORGÂNICA, SILTOSA, COM TURFA, MUITO MOLE, CINZA-ESCURA (ALUVIÃO)		
		2		P/99	-								
		3		P/99	-								
		4	3,91	P/96	-								
		5		P/95	-						ARGILA ORGÂNICA, SILTOSA, MUITO MOLE, CINZA-ESCURA (ALUVIÃO)		
		6		P/93	-								
		7		P/91	-								
		8		P/89	-								
		9	8,93	P/83	-						ARGILA SILTOSA, PLÁSTICA, MUITO MOLE A MÉDIA, CINZA (ALUVIÃO)		
		10		P/87	-								
		11		P/95	-								
		12		P/86	-								
		13		P/81	-								
		14		P/83	-								
		15		P/79	-								
		16		P/86	-								
		17		P/83	-								
		18		P/82	-								
		19		P/67	-						(ALUVIÃO)		
		20	19,65								VER FLS 2/3		
PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA (m)				COLETADA AMOSTRA LAVADA				LAVAGEM		TEMPO		TRECHO	
DATA INICIAL				AMOSTRA SHELBY NÃO RECUPERADA				TEMPO		10 MIN		DE 45,81 A 45,83	
03/05/2012				NÍVEL D'ÁGUA NÃO FOI OBSERVADO				TEMPO		10 MIN		DE 45,83 A 45,84	
04/05/2012								TEMPO		10 MIN		DE 45,84 A 45,84	
PROFUNDIDADE								TEMPO		10 MIN		DE A	
0,15								TEMPO		10 MIN			
0,03								TEMPO		10 MIN			

ILHA 1 – SP 263 (Continuação)

PERFIL INDIVIDUAL DE SONDAGEM À PERCUSSÃO									
Cliente: CONSORCIO PROJETER PLANAVE E COMOR									
Local: CLUSTER NAVAL - PORTO DE SUAPE - PE									
Escala: 1:100		Data: 04/05/2012		Des n°1		Folha: 23			
Sondagem n°1: SP-263		Cota:		Localização:		N		E	
Cota em relação ao R.N.	Avanço	Amostra	Profundidade da camada (m)	Penetração (golpes/30cm) — 1ª e 2ª penetrações — 2ª e 3ª penetrações				Unidade Natural	Revestimento Ø 76,2 mm Amostrador Ø Interno 34,9 mm Ø externo 50,8 mm Peso: 65kg - Altura da queda= 75cm
Nível d'água				Número de golpes	Gráfico				
				1ª e 2ª	2ª e 3ª	10	20	30	40
									%
CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL									
ARGILA SILTOSA, PLÁSTICA, MUITO MOLE A MÉDIA, CINZA									
(ALUVIÃO)									
AREIA FINA, A GROSSA SILTOSA, MEDIANAMENTE COMPACTA A COMPACTA, CINZA									
(ALUVIÃO)									
VER FLS 2/3									

ILHA 1 – SP 263 (Continuação)

PERFIL INDIVIDUAL DE SONDAGEM À PERCUSSÃO											
Cliente: CONSORCIO PROJETER PLANAVE E COMNOR											
Local: CLUSTER NAVAL - PORTO DE SUAPE - PE											
Escala: 1:100		Data: 04/05/2012		Des n°:		Folha: 3/3					
Sondagem n°: SP-263		Cota:		Locação:		N		E			
Cota em relação ao R.N.		Avanço		Amostra		Profundidade da camada (m)		Penetração (golpes/30cm) — 1ª e 2ª penetrações — 2ª e 3ª penetrações		Revestimento Ø 76,2 mm Amostrador Ø interno 34,9 mm Ø externo 50,8 mm Peso: 65kg - Altura da queda= 75cm	
Nível d'água								Número de golpes		Gráfico	
								1ª e 2ª		2ª e 3ª	
								10		20	
								30		40	
										%	
CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL											
AREIA FINA A GROSSA, POUCA SILTOSA, COMPACTA A MUITO COMPACTA, CINZA A AMARELADA											
LIMITE DA SONDAGEM / IMPENETRÁVEL											
PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA (m)											
DATA INICIAL DATA FINAL 03/05/2012 04/05/2012											
PROFUNDIDADE PROFUNDIDADE 0.15 0.03											
SIMBOLOGIA											
COLETADA AMOSTRA LAVADA											
AMOSTRA SHELBY NÃO RECUPERADA											
NÍVEL D'ÁGUA NÃO FOI OBSERVADO											
TEMPO TRECHO 10 MIN DE 45,81 A 45,83 10 MIN DE 45,83 A 45,84 10 MIN DE 45,84 A 45,84 10 MIN DE A											

ILHA 2 – SP 267

PERFIL INDIVIDUAL DE SONDAGEM À PERCUSSÃO													
Cliente: CONSORCIO PROJETEC PLANAVE EICOMNOR													
Local: CLUSTER NAVAL - PORTO DE SUAPE - PE													
Escala: 1:100		Data: 18/05/2012		Des n°1		Folha: 1/3							
Sondagem n°1: SP-267		Cota:		Locação:		N		E					
Cota em relação ao R.N.	Avanço	Amostra	Profundidade da camada (m)	Penetração (golpes/30cm)				Umidade Natural	Revestimento Ø 76,2 mm				
				1ª e 2ª penetrações 2ª e 3ª penetrações					Amostrador Ø interno 34,9 mm Ø externo 50,8 mm Peso: 65kg - Altura da queda= 75cm				
Nível d'água				Número de golpes		Gráfico					CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL		
				1ª e 2ª	2ª e 3ª	10	20	30	40				
N.A.		1	0,50	P/73	-						VÃO LIVRE		
		2		P/88	-						ARGILA ORGÂNICA, SILTOSA, COM TURFA, MUITO MOLE, CINZA-ESCURA (ALUVIÃO)		
		3		P/94	-								
		4	3,85	P/97	-								
		5		P/99	-								
		6		P/90	-						ARGILA SILTOSA, MUITO MOLE, COM FRAGMENTOS DE VALVAS, CINZA-ESCURA (ALUVIÃO)		
		7		P/96	-								
		8		P/97	-								
		9		P/99	-								
		10	10,15	P/96	-						ARGILA SILTOSA, MUITO MOLE, CINZA (ALUVIÃO)		
		11		P/96	-								
		12		P/99	-								
		13		P/99	-								
		14		P/95	-						ARGILA SILTOSA, MUITO MOLE, CINZA		
		15		P/97	-								
		16		P/80	-								
		17		P/68	-								
		18		P/99	-								
		19		P/99	-								
		20		P/96	-								

PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA (m)		SÍMBOLOGIA	LAVAGEM X	TEMPO	TRECHO
DATA INICIAL	DATA FINAL				
18/05/2012	19/05/2012	☒	COLETADA AMOSTRA LAVADA	10 MIN	DE 44,47 A 44,47
PROFUNDIDADE	PROFUNDIDADE	☉	AMOSTRA SHELBY NÃO RECUPERADA	10 MIN	DE 44,47 A 44,47
0,33	0,50	☐	NÍVEL D'ÁGUA NÃO FOI OBSERVADO	10 MIN	DE 44,47 A 44,47
				10 MIN	DE A

ILHA 2 – SP 267 (Continuação)

PERFIL INDIVIDUAL DE SONDAGEM À PERCUSSÃO																	
Cliente: CONSORCIO PROJETER PLANAVE E COMNOR																	
Local: CLUSTER NAVAL - PORTO DE SUAPE - PE																	
Escala: 1:100		Data: 18/05/2012		Des n°:		Folha: 2/3											
Sondagem n°: SP-267		Cota:		Locação:		N		E									
Cota em relação ao R.N.	Avanço	Amostra	Profundidade da camada (m)	Penetração (golpes/30cm) — 1ª e 2ª penetrações — 2ª e 3ª penetrações				Umidade Natural	Revestimento Ø 76,2 mm Amostrador Ø Interno 34,9 mm Ø externo 50,8 mm Peso: 65kg - Altura da queda= 75cm								
Nível d'água				Número de golpes		Gráfico											
				1ª e 2ª	2ª e 3ª	10	20	30	40								
									%								
CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL																	
VER FLS 1/2																	
ARGILA SILTOSA, PLÁSTICA, MUITO MOLE, CINZA CLARA																	
(ALUVIÃO)																	
ARGILA SILTOSA, COM AREIA FINA, MUITO MOLE A MOLE, CINZA-ESCURA																	
(ALUVIÃO)																	
AREIA FINA, SILTOSA, FOFA A MEDIANAMENTE COMPACTA, CINZA-ESCURA																	
VER FLS 3/3																	
PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA (m) DATA INICIAL 18/05/2012 DATA FINAL 19/05/2012 PROFUNDIDADE 0,33 PROFUNDIDADE 0,50				SIMBOLOGIA ☒ COLETADA AMOSTRA LAVADA ☒ AMOSTRA SHELBY NÃO RECUPERADA NFO NÍVEL D'ÁGUA NÃO FOI OBSERVADO		LAVAGEM X TEMPO <table border="1"> <thead> <tr> <th>TEMPO</th> <th>TRECHO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10 MIN</td> <td>DE 44,47 A 44,47</td> </tr> <tr> <td>10 MIN</td> <td>DE 44,47 A 44,47</td> </tr> <tr> <td>10 MIN</td> <td>DE 44,47 A 44,47</td> </tr> <tr> <td>10 MIN</td> <td>DE A</td> </tr> </tbody> </table>		TEMPO	TRECHO	10 MIN	DE 44,47 A 44,47	10 MIN	DE 44,47 A 44,47	10 MIN	DE 44,47 A 44,47	10 MIN	DE A
TEMPO	TRECHO																
10 MIN	DE 44,47 A 44,47																
10 MIN	DE 44,47 A 44,47																
10 MIN	DE 44,47 A 44,47																
10 MIN	DE A																

ILHA 2 – SP 267 (Continuação)

[illegible]

ILHA 3 – SP 270

PERFIL INDIVIDUAL DE SONDAGEM À PERCUSSÃO											
Cliente: CONSORCIO PROJETEC PLANAVE E COMNOR											
Local: CLUSTER NAVAL - PORTO DE SUAPE - PE											
Escala: 1:100		Data: 21/04/2012		Des n°1		Folha: 1/3					
Sondagem n°1: SP-270		Cota:		Locação:		N		E			
Cota em relação ao R.N.	Avanço	Amostra	Profundidade da camada (m)	Penetração (golpes/30cm)				Umidade Natural	Revestimento Ø 76,2 mm		
				1ª e 2ª penetrações 2ª e 3ª penetrações					Amostrador Ø Interno 34,9 mm Ø externo 50,8 mm Peso: 65kg - Altura da queda= 75cm		
Nível d'água				Número de golpes		Gráfico				%	CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL
				1ª e 2ª	2ª e 3ª	10	20	30	40		
N.A.	TC		0,56								VÃO LIVRE
	TCSP	1		P/94	-						
		2		P/91	-						
	LV / SP Ø 2 1/2"	3		P/89	-						
		4		P/90	-						ARGILA ORGÂNICA, SILTOSA, MUITO MOLE, COM TURFA, CINZA-ESCURA A PRETA
5		5		P/87	-						
		6		P/85	-						
		7	6,52	P/93	-						(ALUVIÃO)
		8		P/86	-						
		9		P/87	-						
10		10		P/89	-						
		11		P/85	-						ARGILA SILTOSA, MUITO MOLE, CINZA-ESCURA
		12		P/92	-						
		13		P/95	-						
		14		P/87	-						
15		15		P/93	-						
		16	15,73	P/83	-						(ALUVIÃO)
		17		P/78	-						
		18		P/86	-						VER FLS 2/3
		19		P/84	-						
20		20		P/89	-						
PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA (m)			SIMBOLOGIA		COLETADA AMOSTRA LAVADA		LAVAGEM		TEMPO		TRECHO
DATA INICIAL			DATA FINAL		AMOSTRA SHELBY NÃO RECUPERADA		TEMPO		10 MIN		DE 43,70 A 43,71
21/04/2012			22/04/2012		NFO NÍVEL D'ÁGUA NÃO FOI OBSERVADO		TEMPO		10 MIN		DE 43,71 A 43,72
PROFUNDIDADE			PROFUNDIDADE				TEMPO		10 MIN		DE 43,72 A 43,72
0,03			0,53				TEMPO		10 MIN		DE A

ILHA 3 – SP 270 (Continuação)

[illegible]

ILHA 3 – SP 270 (Continuação)

PERFIL INDIVIDUAL DE SONDAGEM À PERCUSSÃO										
Cliente: CONSÓRCIO PROJETEC PLANAVE E COMNOR										
Local: CLUSTER NAVAL - PORTO DE SUAPE - PE										
Escala: 1:100		Data: 21/04/2012		Des n°:		Folha: 3/3				
Sondagem n°: SP-270		Cota:		Locação:		N		E		
Cota em relação ao R.N.	Avanço	Amostra	Profundidade da camada (m)	Penetração (golpes/30cm)				Umidade Natural	Revestimento Ø 76,2 mm Amostrador { Ø interno 34,9 mm Ø externo 50,8 mm Peso: 65kg - Altura da queda= 75cm	
				1ª e 2ª penetrações 2ª e 3ª penetrações		Número de golpes Gráfico				
Nível d'água				1ª e 2ª	2ª e 3ª	10	20	30	40	%
CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL										
	LV / SP Ø 2 1/2"		43,72	32	40					
				40	53					
				49	64					
(ALUVIÃO) VER FLS 2/3										
LIMITE DA SONDAGEM / IMPENETRÁVEL										
(Empty rows for additional data)										

ILHA 4 – SP 319

PERFIL INDIVIDUAL DE SONDAGEM À PERCUSSÃO

Cliente: **CONSORCIO PROJETEC PLANAVE E COMNOR**

Local: **CLUSTER NAVAL - PORTO DE SUAPE - PE**

Escala: 1:100

Data: 21/05/2012

Des n°:

Folha:

1/2

Sondagem n°: **SP-319**

Cota:

Localização:

N

E

Cota em relação ao R.N.

Avanço

Amostra

Profundidade da camada (m)

Penetração (golpes/30cm)
— 1ª e 2ª penetrações
— 2ª e 3ª penetrações

Umidade Natural

Revestimento Ø 76,2 mm
Amostrador Ø Interno 34,9 mm
Ø externo 50,8 mm
Peso: 65kg - Altura da queda= 75cm

Nível d'água

Número de golpes

Gráfico

1ª e 2ª

2ª e 3ª

10

20

30

40

%

CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL

VÃO LIVRE

LÂMINA D'ÁGUA

ARGILA ORGÂNICA, SILTOSA COM TURFA, MUITO MOLE, CINZA-ESCURA

(ALUVIÃO)

ARGILA SILTOSA, MUITO MOLE, CINZA-ESCURA

(ALUVIÃO)

ARGILA SILTOSA, MUITO MOLE, COM FRAGMENTOS DE VALVAS, CINZA-ESCURA

(ALUVIÃO)

ARGILA SILTOSA, COM AREIA FINA, FOFA A POUCO COMPACTA, MARROM

(ALUVIÃO)

ARGILA SILTOSA, MOLE A RUJA, COM FRAGMENTOS DE VALVAS, CINZA-ESCURA

PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA (m)

DATA INICIAL DATA FINAL

21/05/2012 21/05/2012

PROFUNDIDADE PROFUNDIDADE

0,42 0,00

Simbologia

☒

COLETA DA AMOSTRA LAVADA

☉

AMOSTRA SHELBY NÃO RECUPERADA

INFO

NÍVEL D'ÁGUA NÃO FOI OBSERVADO

LAVAGEM

X

TEMPO

TEMPO

TRECHO

10 MIN DE 28,23 A 28,25

10 MIN DE 28,25 A 28,26

10 MIN DE 28,26 A 28,26

10 MIN DE A

Area of Interest Map Book Area

ILHA 4 – SP 319 (Continuação)

PERFIL INDIVIDUAL DE SONDAGEM À PERCUSSÃO									
Cliente: CONSORCIO PROJETEC PLANAVE E COMNOR									
Local: CLUSTER NAVAL - PORTO DE SUAPE - PE									
Escala: 1:100		Data: 21/05/2012		Des. n°:		Folha: 2/2			
Sondagem n°: SP-319		Cota:		Locação:		N		E	
Cota em relação ao R.N.	Avanço	Amostra	Profundidade da camada (m)	Penetração (golpes/30cm) — 1ª e 2ª penetrações — 2ª e 3ª penetrações				Unidade Natural	Revestimento Ø 76,2 mm Amostrador Ø Interno 34,9 mm Ø externo 50,8 mm Peso: 65kg - Altura da queda= 75cm
Nível d'água				Número de golpes		Gráfico			
				1ª e 2ª	2ª e 3ª	10	20	30	40
									%
CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL									
VER FLS 1/2									
ARGILA SILTOSA, COM AREIA FINA, MOLE A MÉDIA, CINZA A VARIEGADA									
(ALUVIÃO)									
AREIA FINA, SILTO-ARGILOSA, MUITO COMPACTA, CINZA A VARIEGADA									
LIMITE DA SONDAGEM IMPENETRÁVEL									

ILHA 5 – SP 320

PERFIL INDIVIDUAL DE SONDAGEM À PERCUSSÃO									
Cliente: CONSORCIO PROJETEC PLANAVE E COMNOR									
Local: CLUSTER NAVAL - PORTO DE SUAPE - PE									
Escala: 1:100		Data: 11/07/2012		Des n°:		Folha: 1/2			
Sondagem n°: SP-320		Cota:		Locação:		N		E	
Cota em relação ao R.N.		Amostra	Profundidade da camada (m)	Penetração (golpes/30cm)				Revestimento Ø 76,2 mm	
Nível d'água	1ª e 2ª penetrações			2ª e 3ª penetrações		Amostrador Ø Interno 34,9 mm		Ø externo 50,8 mm	
	Número de golpes			Gráfico		Peso: 65kg - Altura da queda= 75cm			
				1ª e 2ª		2ª e 3ª		10 20 30 40	
CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL									
VÃO LIVRE									
LÂMINA D'ÁGUA									
ARGILA ORGÂNICA, SILTOSA, MUITO MOLE, CINZA-ESCURA									
(ALUVIÃO)									
ARGILA SILTOSA, MUITO MOLE, CINZA-ESCURA									

ILHA 5 – SP 320 (Continuação)

[illegible]

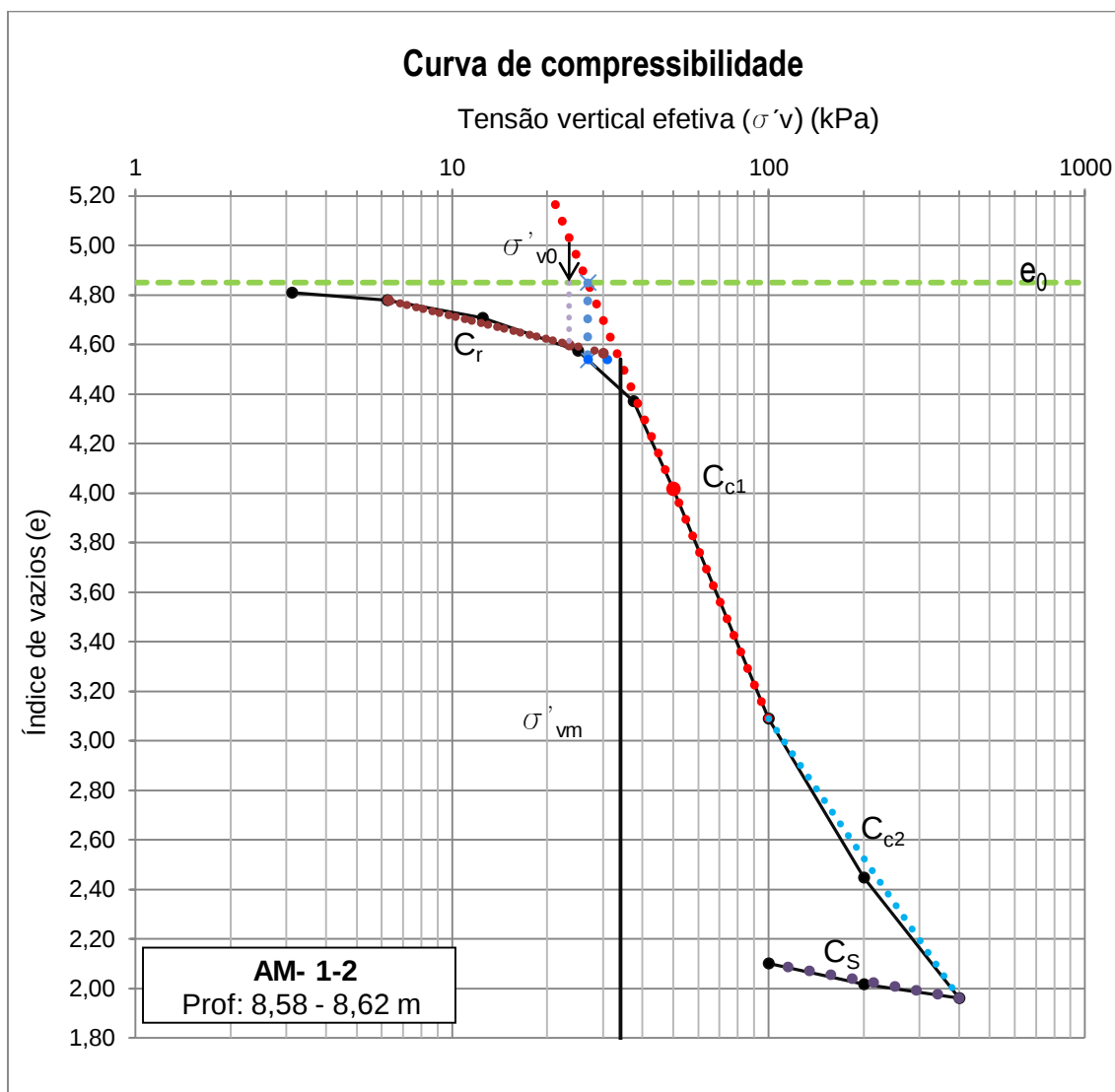
ILHA 6 – SP 321

PERFIL INDIVIDUAL DE SONDAGEM À PERCUSSÃO									
Cliente: CONSÓRCIO PROJETER PLANAVE EICOMNOR									
Local: CLUSTER NAVAL - PORTO DE SUAPE - PE									
Escala: 1:100		Data: 14/06/2012		Des n°1		Folha: 1/2			
Sondagem n°1: SP-321		Cota:		Locação:		N		E	
Cota em relação ao R.N.	Avanço	Amostra	Profundidade da camada (m)	Penetração (golpes/30cm) — 1ª e 2ª penetrações — 2ª e 3ª penetrações				Umidade Natural	Revestimento Ø 76,2 mm Amostrador Ø Interno 34,9 mm Ø externo 50,6 mm Peso: 65kg - Altura da queda= 75cm
Nível d'água				Número de golpes	Gráfico				
				1ª e 2ª	2ª e 3ª	10	20	30	40
									%
CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL									
VÃO LIVRE									
LÂMINA D'ÁGUA									
ARGILA ORGÂNICA, SILTOSA, COM TURFA, MUITO MOLE, CINZA ESCURA									
ALUVIÃO									
ARGILA SILTOSA, MUITO MOLE, CINZA									
ALUVIÃO									
ARGILA SILTOSA, MUITO MOLE, COM FRAGMENTOS DE VALVAS, CINZA-ESCURA									
ALUVIÃO									
AREIA FINA, SILTO-ARGILOSA, FOFA E POUCO COMPACTA, CINZA									
ALUVIÃO									
ARGILA SILTOSA, COM AREIA FINA, POUCO COMPACTA, CINZA-AMARELADO									
ALUVIÃO									
VER FLS 212									
PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA (m) DATA INICIAL 12/06/2012 DATA FINAL 14/06/2012 PROFUNDIDADE L. D'ÁGUA PROFUNDIDADE L. D'ÁGUA				SIMBOLOGIA ☒ COLETADA AMOSTRA LAVADA ☒ AMOSTRA SHELBY NÃO RECUPERADA ☒ NÍVEL D'ÁGUA NÃO FOI OBSERVADO		LAVAGEM TEMPO 10 MIN TRECHO DE 27,51 A 27,53 10 MIN DE 27,53 A 27,54 10 MIN DE 27,54 A 27,54 10 MIN DE A			

ILHA 6 – SP 321 (Continuação)[illegible]

APÊNDICES 1.

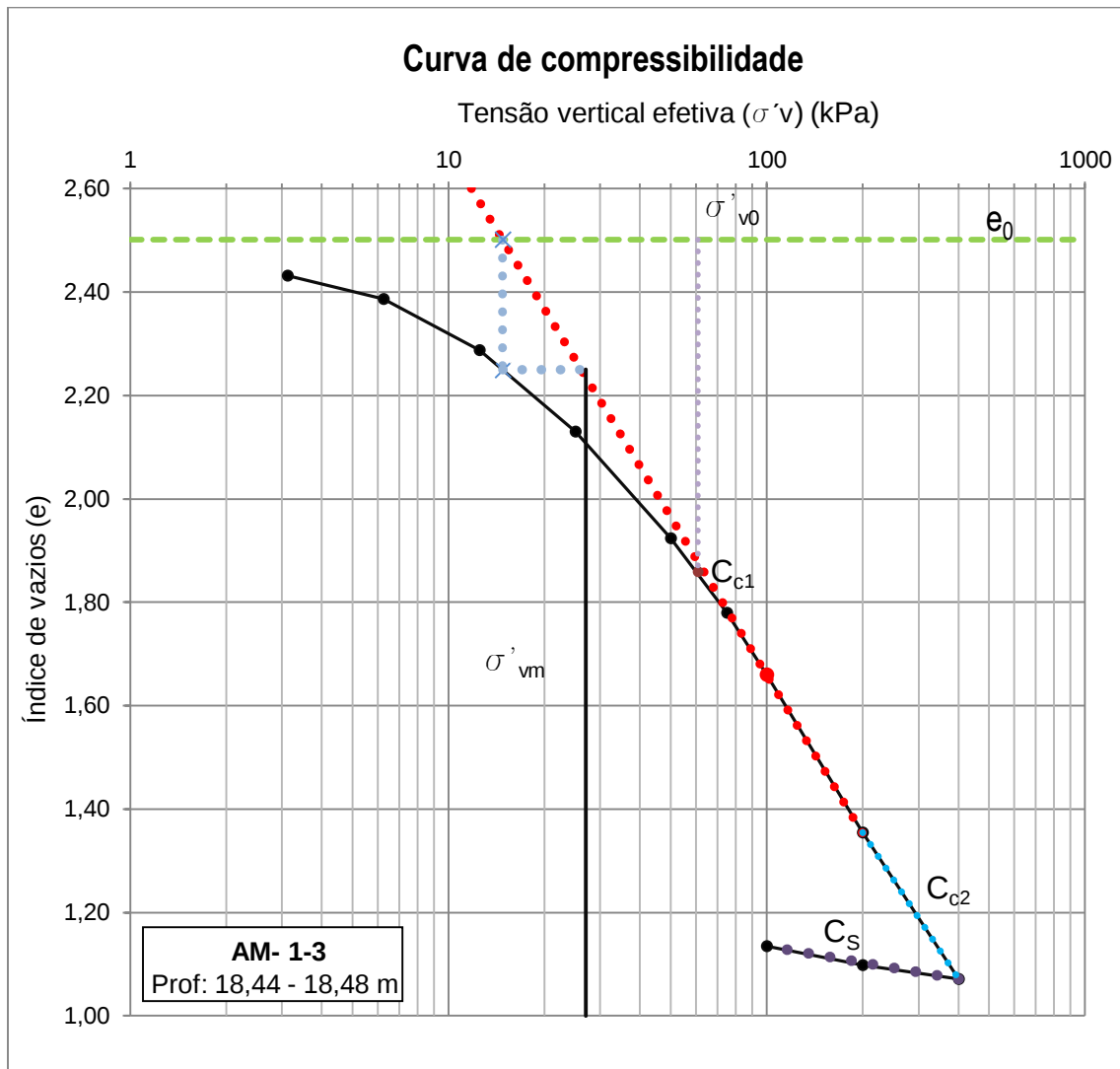
(Curva de compressibilidade sem correção das 6 ilhas de investigação)



Amostra AM -1-2
Profundidade: 8,60
e_0 : 4,85
$\sigma'v_0$: 23,43
C_{c1} : 3,08
C_{c2} : 1,87
C_r : 0,31
C_s : 0,23
σ'_{vm} : 34,00
OCR: 1,45

Qualidade
e $\sigma'v_0$: 4,60
$\Delta e/e_0$: 0,05
Coutinho: Muito boa a Excelente
Lune: Boa a regular

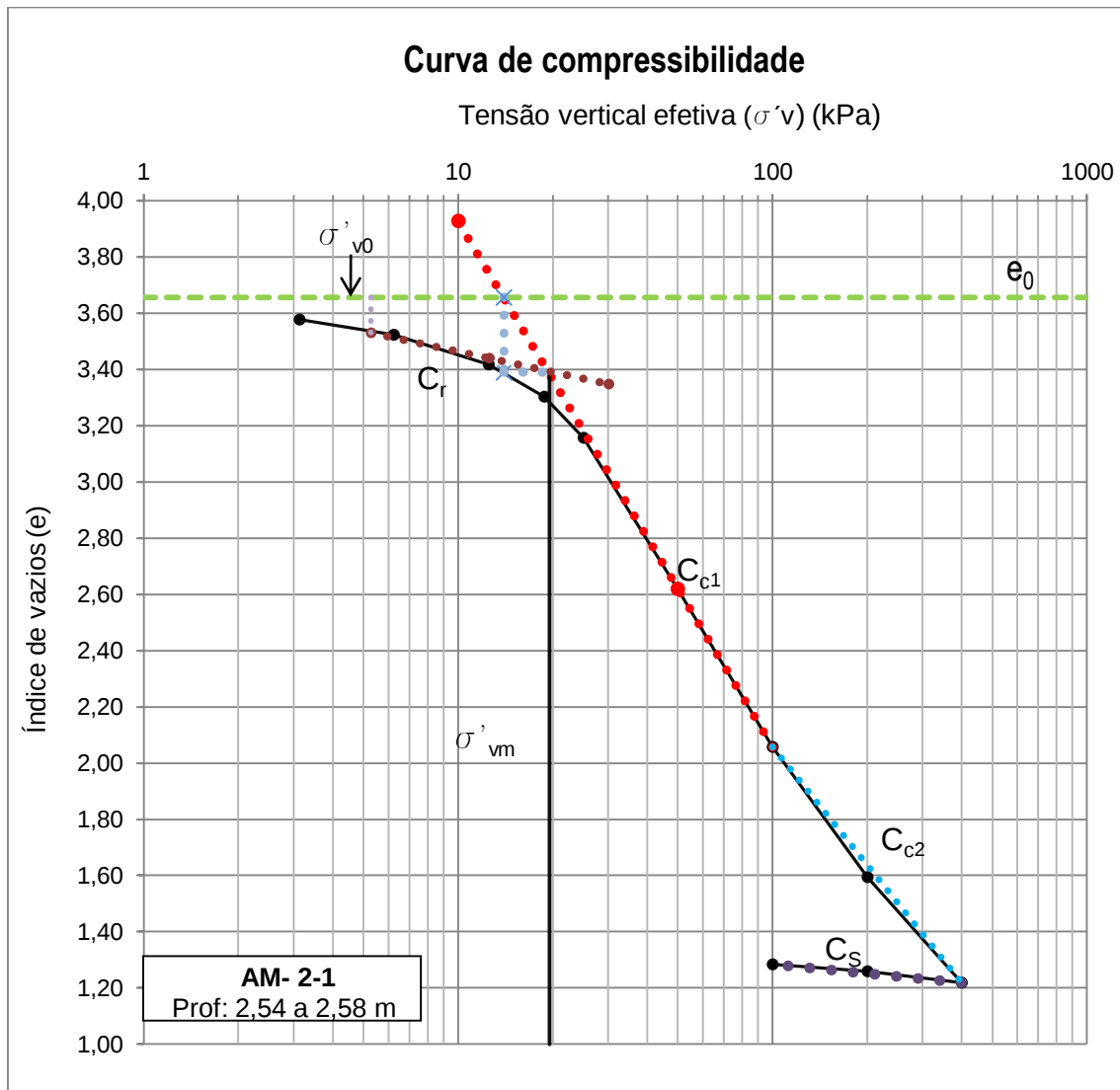
Curva de compressibilidade e determinação dos parâmetros (C_r , C_c , C_s e σ'_{vm}) da amostra AM-1-2. (ILHA 1)



Amostra AM -1-3
Profundidade: 18,46
e_0 : 2,50
σ'_{v0} : 60,66
Cc_1 : 1,01
Cc_2 : 0,94
C_r : -
C_s : 0,10
σ'_{vm} : 27,00
OCR: 0,45

Qualidade	
e σ'_{v0} :	1,86
$\Delta e/e_0$:	0,26
Coutinho:	Muito ruim
Lune:	Muito ruim

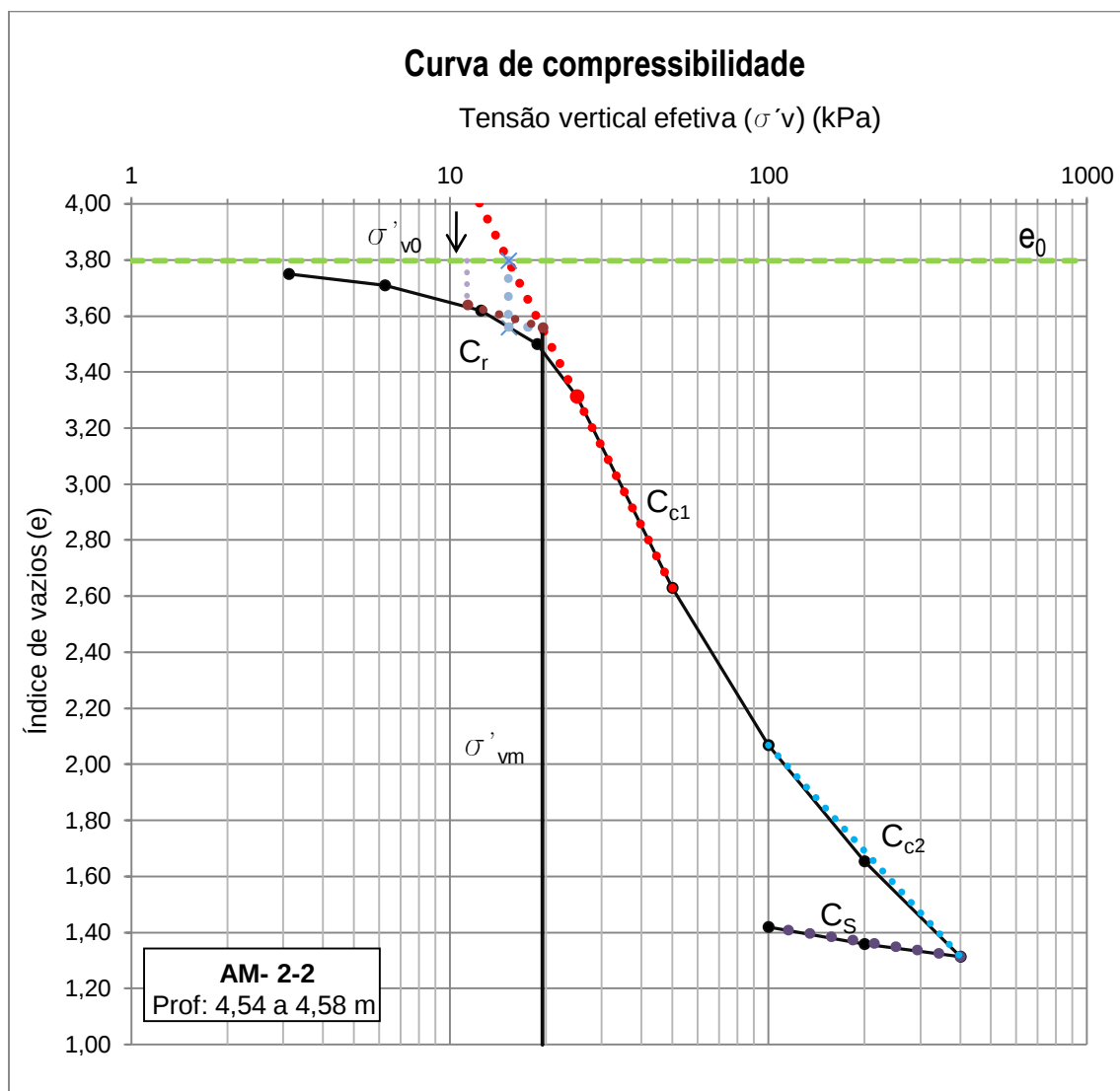
Curva de compressibilidade e determinação dos parâmetros (C_r , C_c , C_s e σ'_{vm}) da amostra AM-1-3. **(ILHA 1)**



Amostra AM -2-1
Profundidade: 2,56
e_0 : 3,66
$\sigma'v_0$: 5,28
CC_1 : 1,87
CC_2 : 1,39
C_r : 0,24
C_s : 0,11
σ'_{vm} : 19,5
OCR: 3,7

Qualidade
$e \sigma'v_0$: 3,53
$\Delta e/e_0$: 0,03
Coutinho: Muito boa a excelente
Lune: Muito boa a excelente

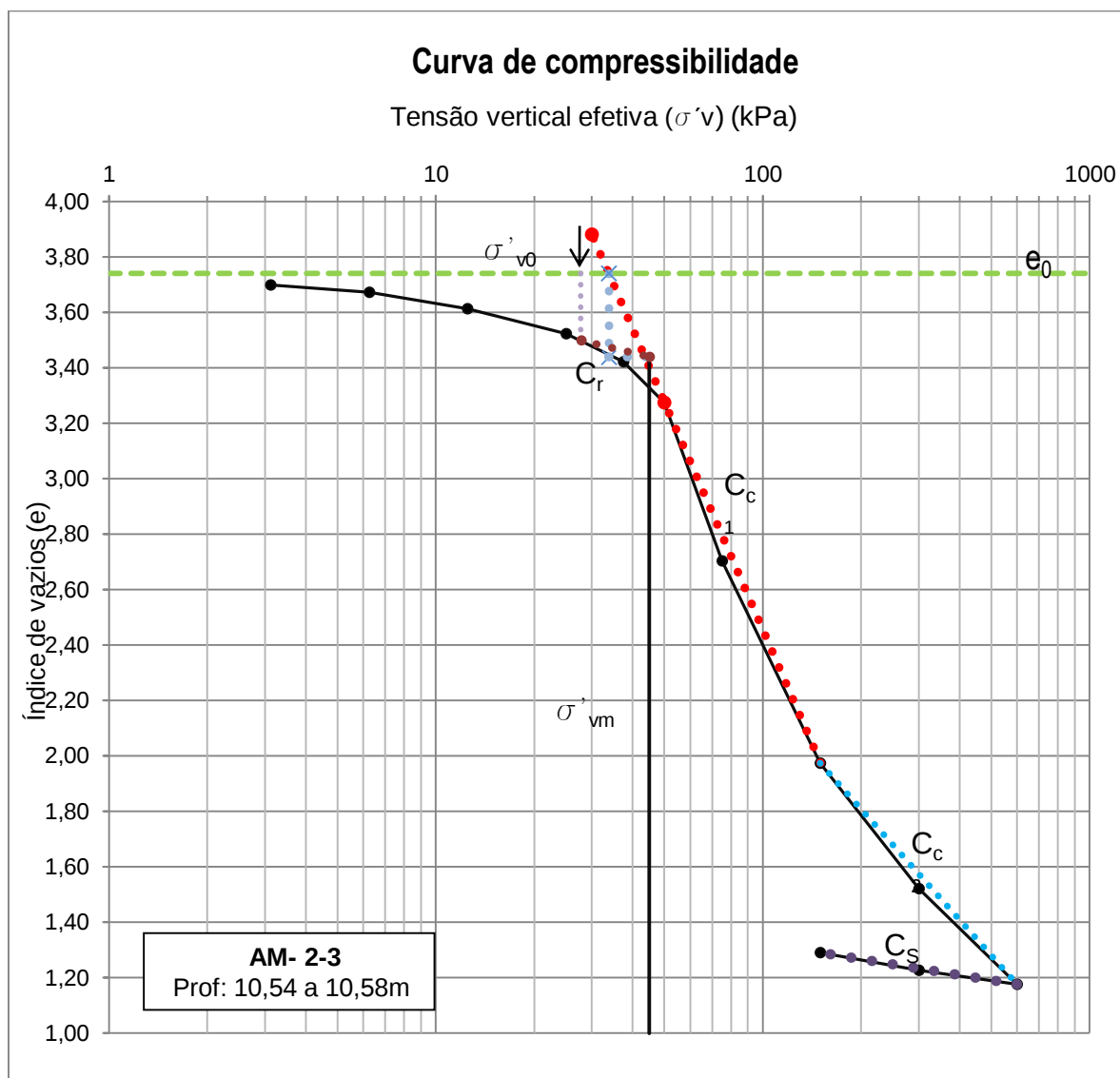
Curva de compressibilidade e determinação dos parâmetros (C_r , C_c , C_s e σ'_{vm}) da amostra AM-2-1. (ILHA 2)



Amostra AM -2-2
Profundidade: 4,56
e_0 : 3,80
$\sigma'v_0$: 11,33
CC_1 : 2,27
CC_2 : 1,26
C_r : 0,34
C_s : 0,18
σ'_{vm} : 19,50
OCR: 1,72

Qualidade
$e \sigma'v_0$: 3,64
$\Delta e/e_0$: 0,04
Coutinho: Muito boa a excelente
Lune: Muito boa a excelente

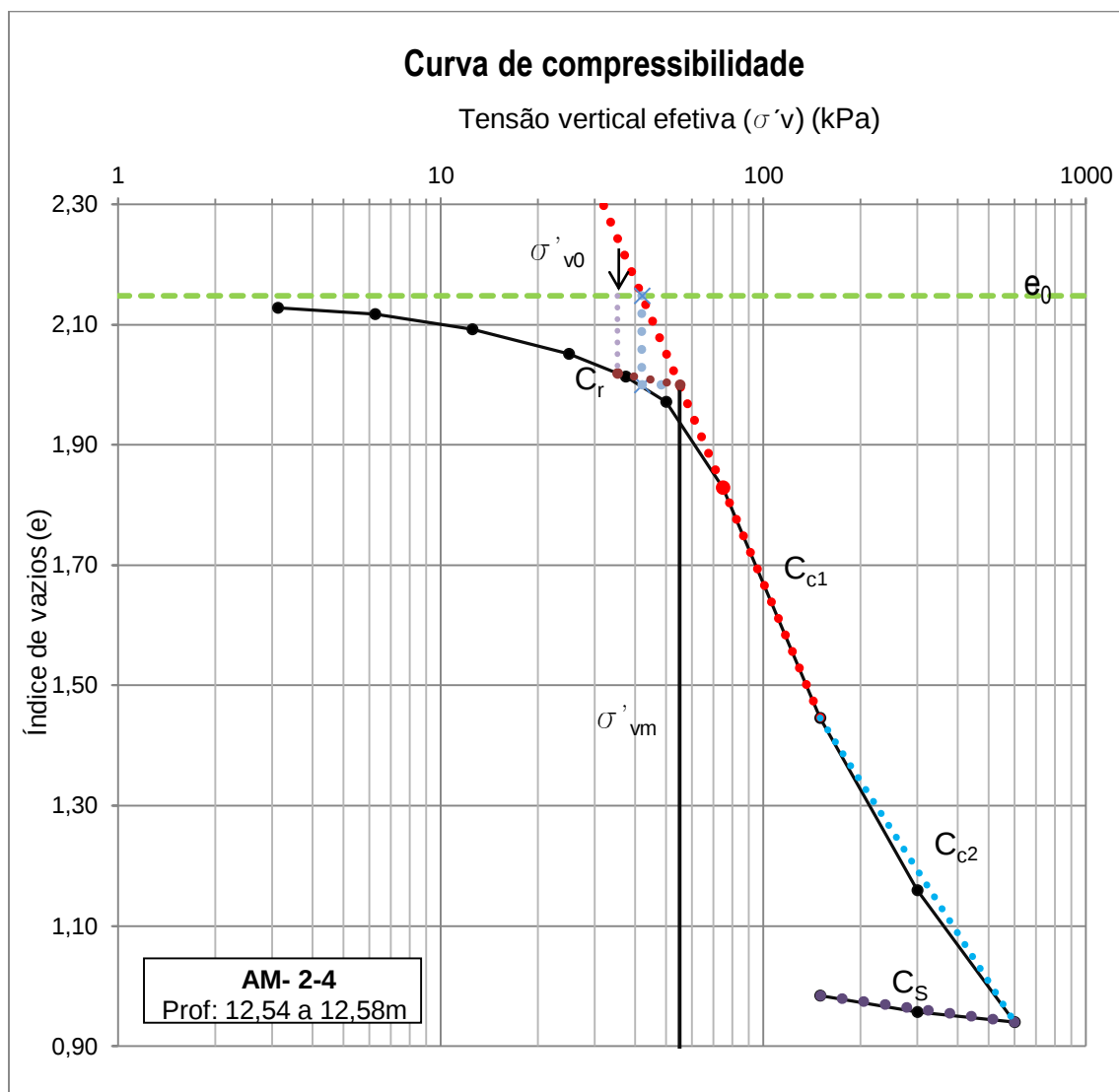
Curva de compressibilidade e determinação dos parâmetros (C_r , C_c , C_s e σ'_{vm}) da amostra AM-2-2 (ILHA 2).



Amostra AM -2-3
Profundidade: 10,56
e_0 : 3,74
σ'_{v0} : 27,78
CC_1 : 2,73
CC_2 : 1,33
C_r : 0,29
C_s : 0,19
σ'_{vm} : 45,0
OCR: 1,62

Qualidade
$e \sigma'_{v0}$: 3,50
$\Delta e/e_0$: 0,06
Coutinho: Boa a regular
Lune: Boa a regular

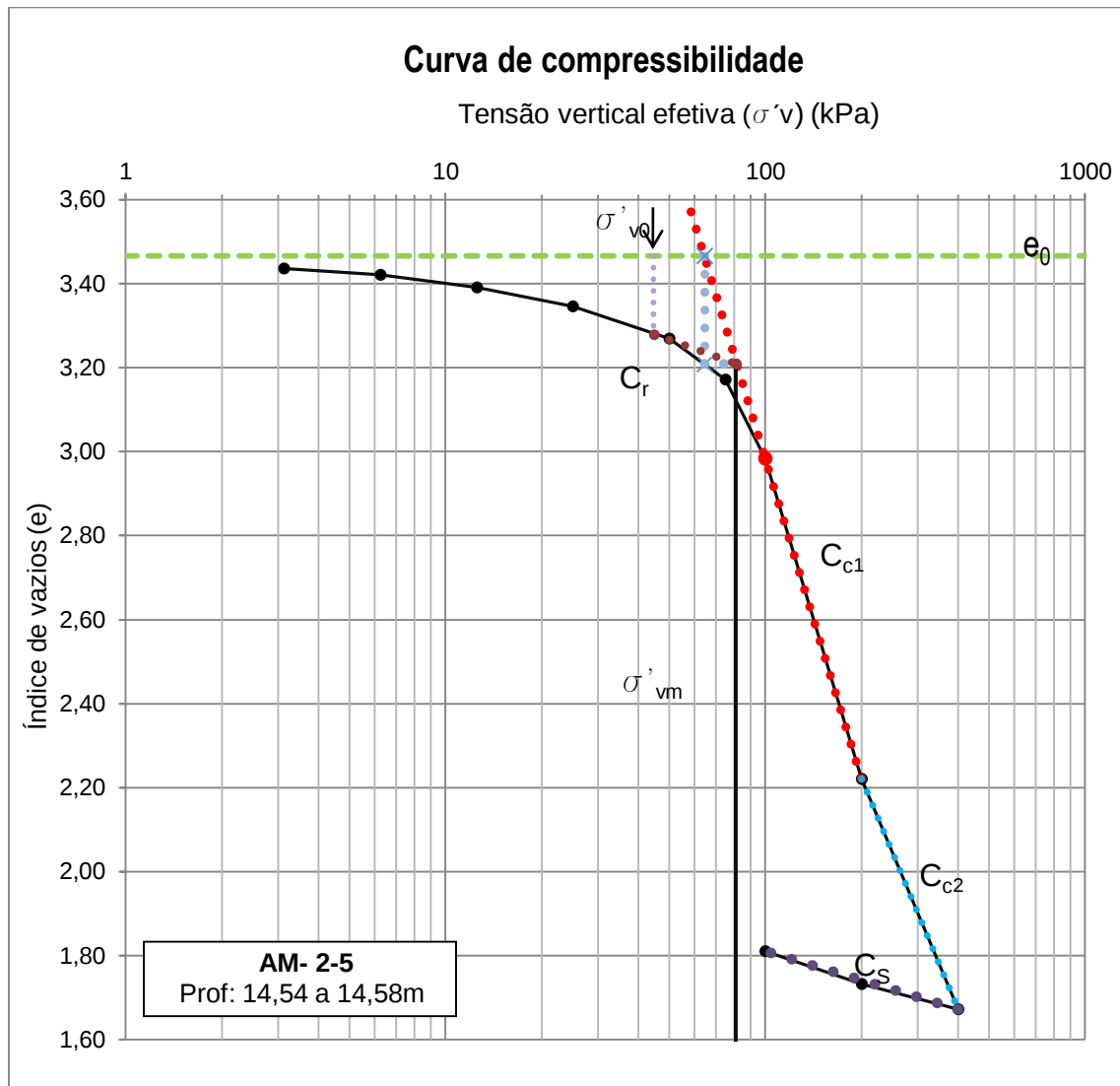
Curva de compressibilidade e determinação dos parâmetros (C_r , C_c , C_s e σ'_{vm}) da amostra AM-2-3. (ILHA 2).



Amostra AM -2-4
Profundidade: 12,56
e_0 : 2,15
σ'_{v0} : 35,24
CC_1 : 1,27
CC_2 : 0,84
C_r : 0,1
C_s : 0,07
σ'_{vm} : 55,00
OCR: 1,56

Qualidade
$e \sigma'_{v0}$: 2,02
$\Delta e/e_0$: 0,06
Coutinho: Boa a regular
Lune: Boa a regular

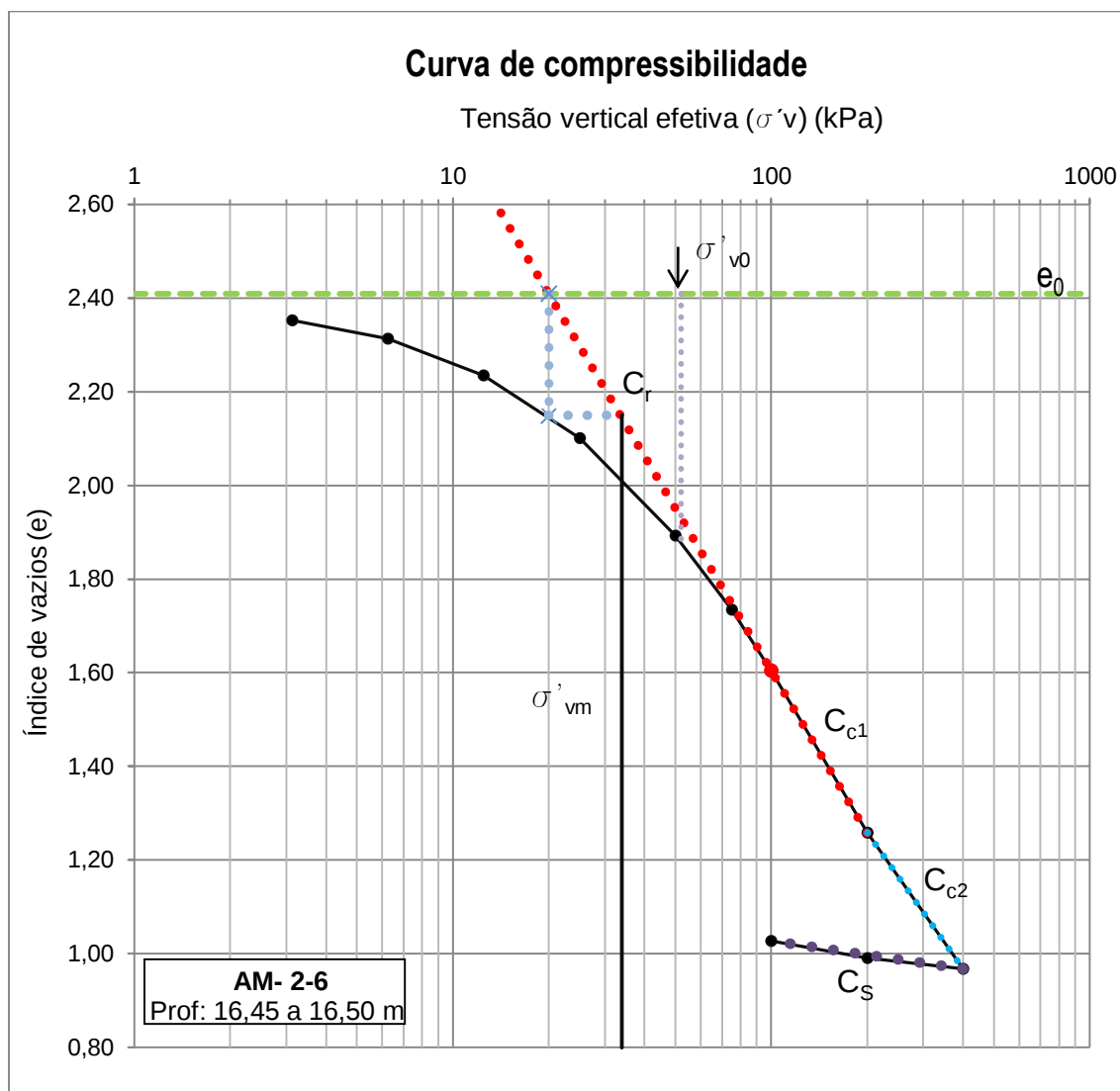
Curva de compressibilidade e determinação dos parâmetros (C_r , C_c , C_s e σ'_{vm}) da amostra AM-2-4. (ILHA 2).



Amostra AM -2-5
Profundidade: 14,56
e_0 : 3,47
σ'_{v0} : 44,72
C_{c1} : 2,54
C_{c2} : 1,82
C_r : 0,27
C_s : 0,23
σ'_{vm} : 81,00
OCR: 1,81

Qualidade
$e \sigma'_{v0}$: 3,28
$\Delta e/e_0$: 0,05
Coutinho: Boa a regular
Lune: Muito boa a excelente

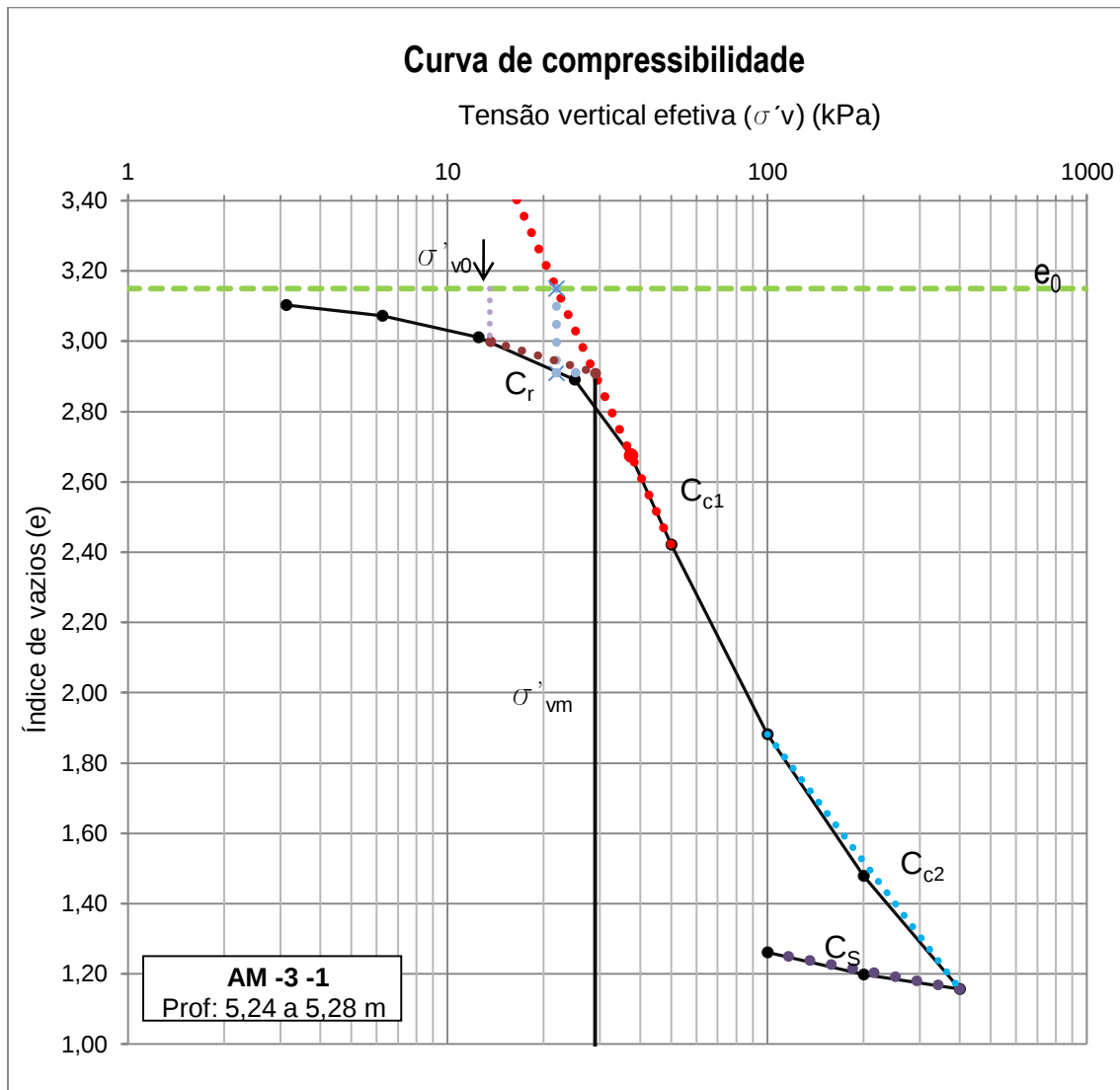
Curva de compressibilidade e determinação dos parâmetros (C_r , C_c , C_s e σ'_{vm}) da amostra AM-2-5. (ILHA 2).



Amostra AM -2-6
Profundidade: 16,48
e_0 : 2,41
$\sigma'v_0$: 52,01
CC_1 : 1,15
CC_2 : 0,97
C_r : -
C_s : 0,1
σ'_{vm} : 34,00
OCR: 0,65

Qualidade
$e \sigma'v_0$: 1,88
$\Delta e/e_0$: 0,22
Coutinho: Muito ruim
Lune: Muito ruim

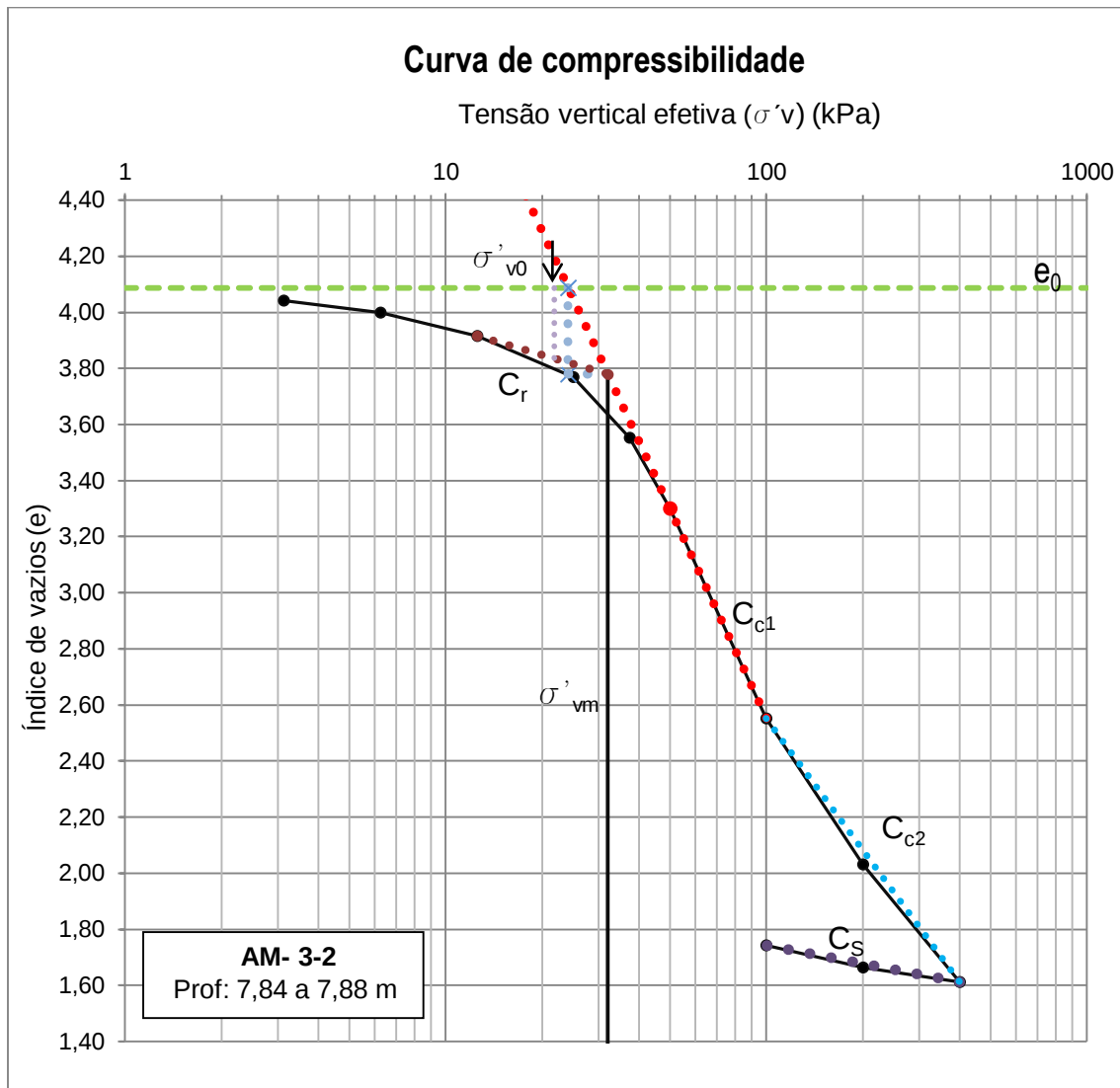
Curva de compressibilidade e determinação dos parâmetros (C_r , C_c , C_s e σ'_{vm}) da amostra AM-2-6. (ILHA 2).



Amostra AM -3-1
Profundidade: 5,26
e_0 : 3,15
$\sigma'v_0$: 13,58
CC_1 : 2,03
CC_2 : 1,21
C_r : 0,27
C_s : 0,17
σ'_{vm} : 29,00
OCR: 2,14

Qualidade
$e \sigma'v_0$: 3,00
$\Delta e/e_0$: 0,05
Coutinho: Muito boa a excelente
Lune: Boa a regular

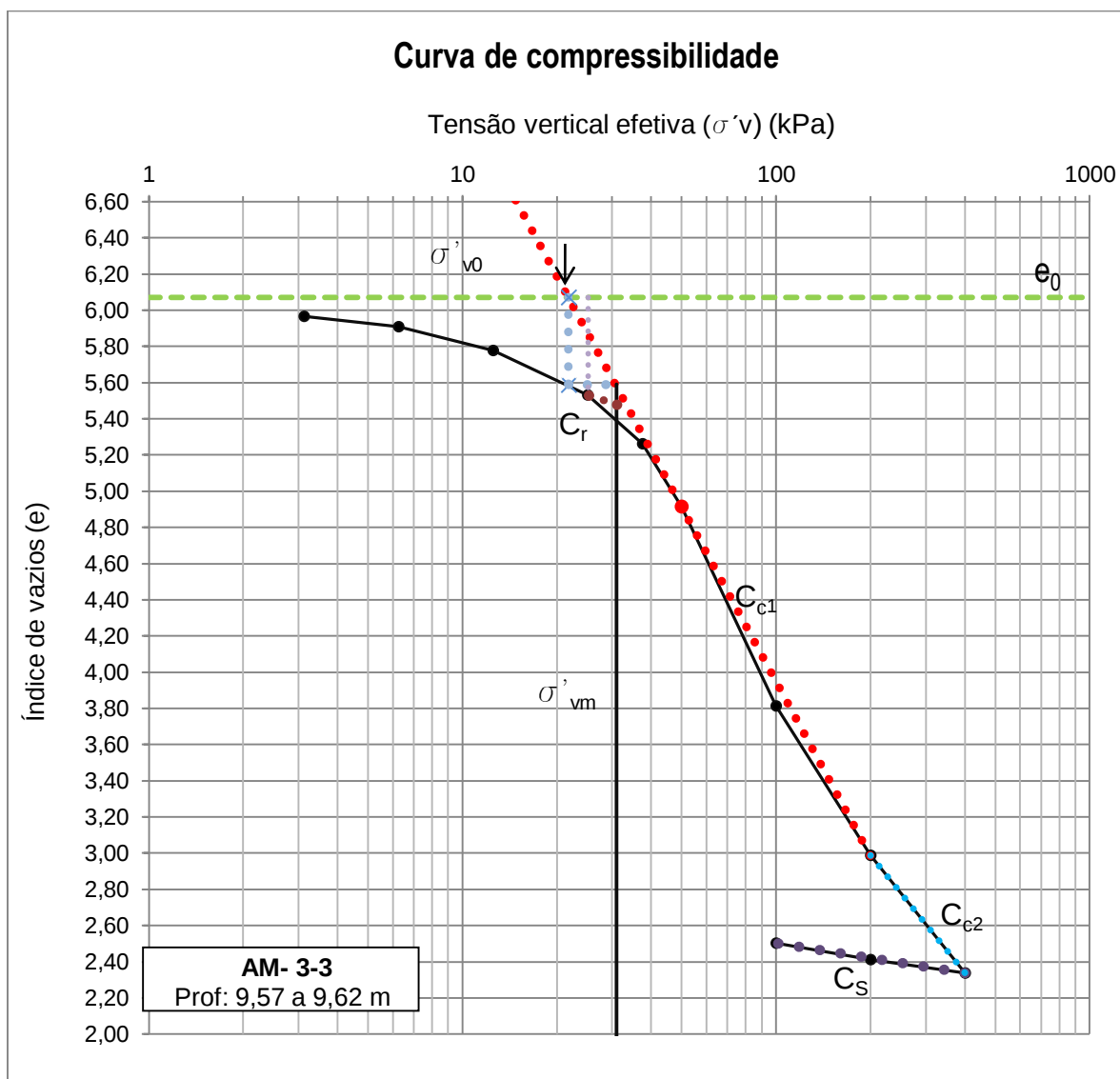
Curva de compressibilidade e determinação dos parâmetros (C_r , C_c , C_s e σ'_{vm}) da amostra AM-3-1. (ILHA 3).



Amostra AM -3-2
Profundidade: 7,86
e_0 : 4,09
σ'_{v0} : 21,82
CC_1 : 2,48
CC_2 : 1,56
C_r : 0,33
C_s : 0,22
σ'_{vm} : 32,00
OCR: 1,47

Qualidade	
$e \sigma'_{v0}$:	3,80
$\Delta e/e_0$:	0,07
Coutinho:	Boa a regular
Lune:	Boa a regular

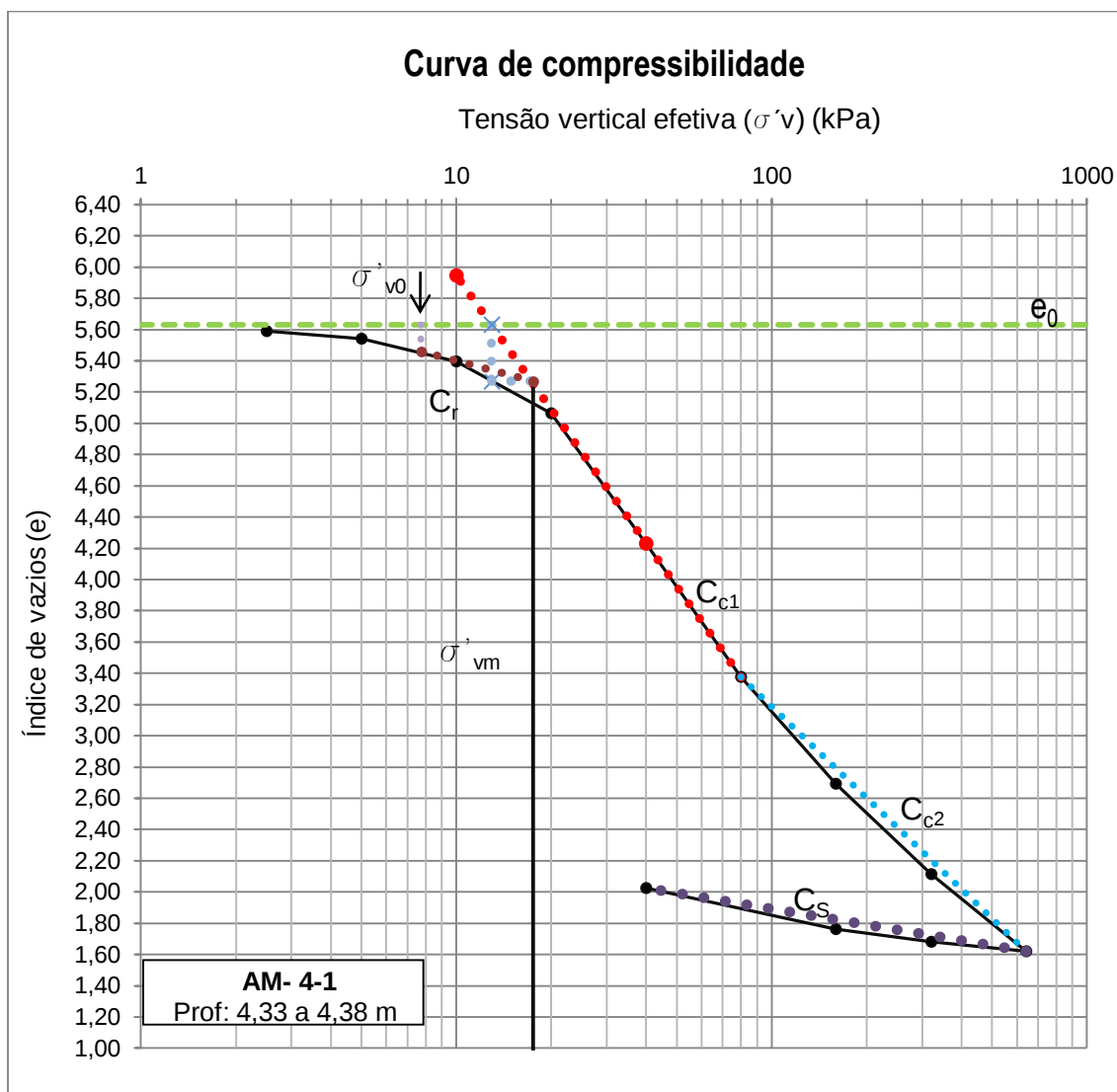
Curva de compressibilidade e determinação dos parâmetros (C_r , C_c , C_s e σ'_{vm}) da amostra AM-3-2. **(ILHA 3).**



Amostra AM -3-2
Profundidade: 9,55
e_0 : 6,07
σ'_{v0} : 25,21
CC_1 : 3,20
CC_2 : 2,15
C_r : 0,56
C_s : 0,27
σ'_{vm} : 31,00
OCR: 1,23

Qualidade
e σ'_{v0} : 5,53
$\Delta e/e_0$: 0,09
Coutinho: Ruim
Lune: Ruim

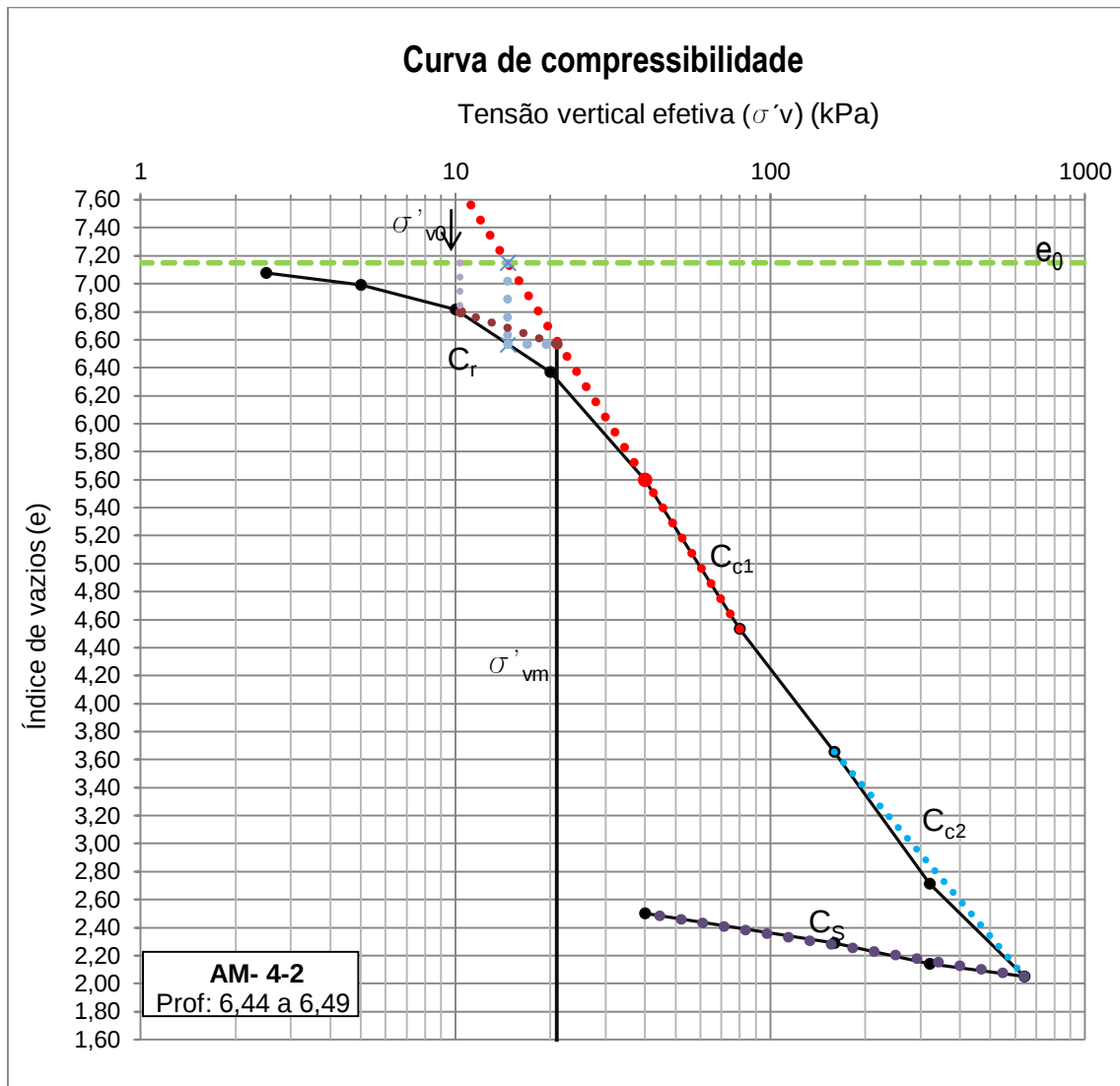
Curva de compressibilidade e determinação dos parâmetros (C_r , C_c , C_s e σ'_{vm}) da amostra AM-3-3. (ILHA 3).



Amostra AM -4-1
Profundidade: 4,35
e_0 : 5,63
$\sigma'v_0$: 7,72
CC_1 : 2,85
CC_2 : 1,95
C_r : 0,53
C_s : 0,34
σ'_{vm} : 17,50
OCR: 2,27

Qualidade	
$e \sigma'v_0$:	5,46
$\Delta e/e_0$:	0,03
Coutinho:	Muito boa a excelente
Lune:	Muito boa a excelente

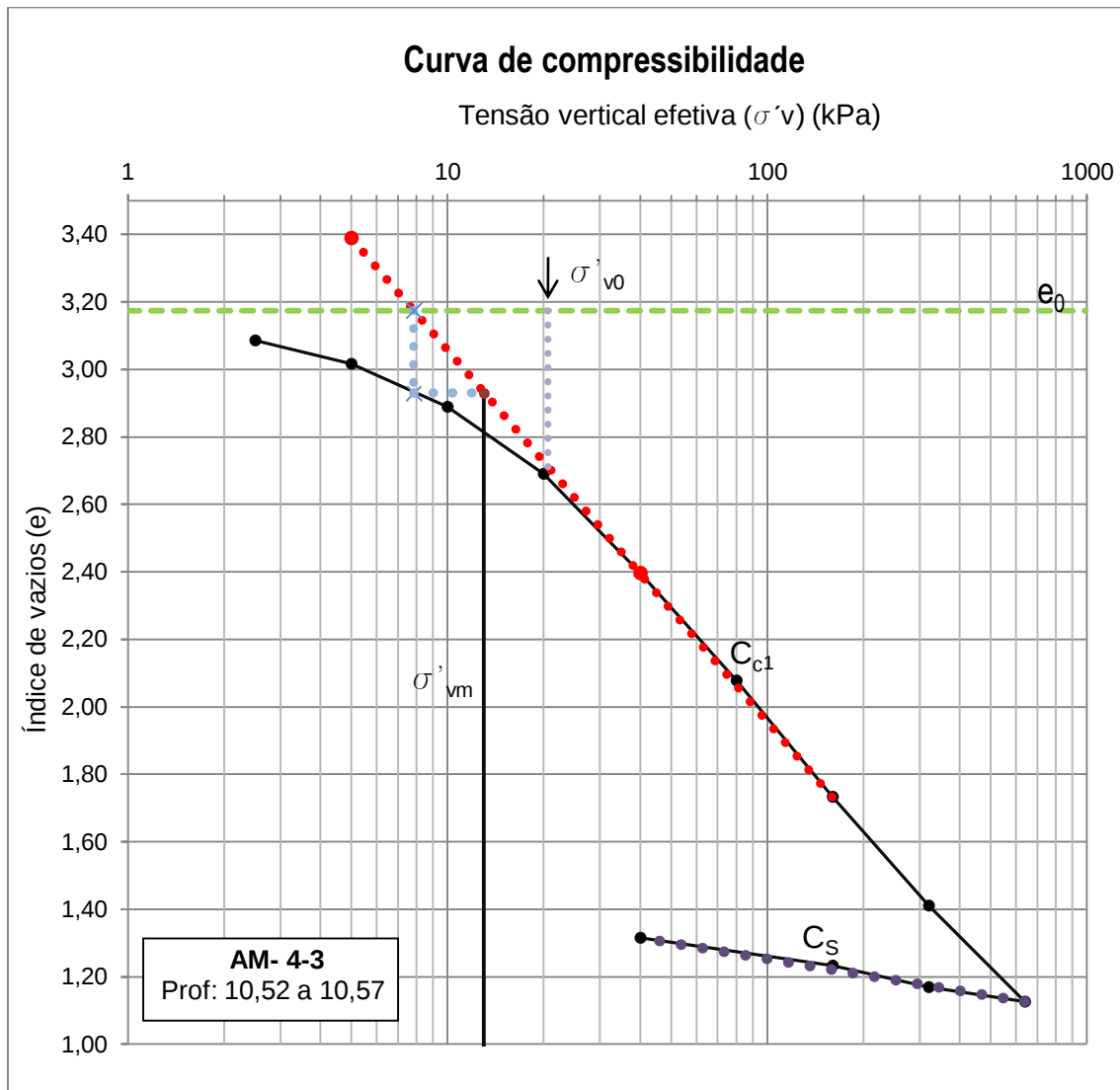
Curva de compressibilidade e determinação dos parâmetros (C_r , C_c , C_s e σ'_{vm}) da amostra AM-4-1.(ILHA 4)



Amostra AM -4-2
Profundidade: 6,47
e_0 : 7,15
$\sigma'v_0$: 10,35
CC_1 : 3,55
CC_2 : 2,67
C_r : 0,75
C_s : 0,38
σ'_{vm} : 21,00
OCR: 2,03

Qualidade	
$e \sigma'v_0$:	6,80
$\Delta e/e_0$:	0,05
Coutinho:	Muito boa a excelente
Lune:	Boa a regular

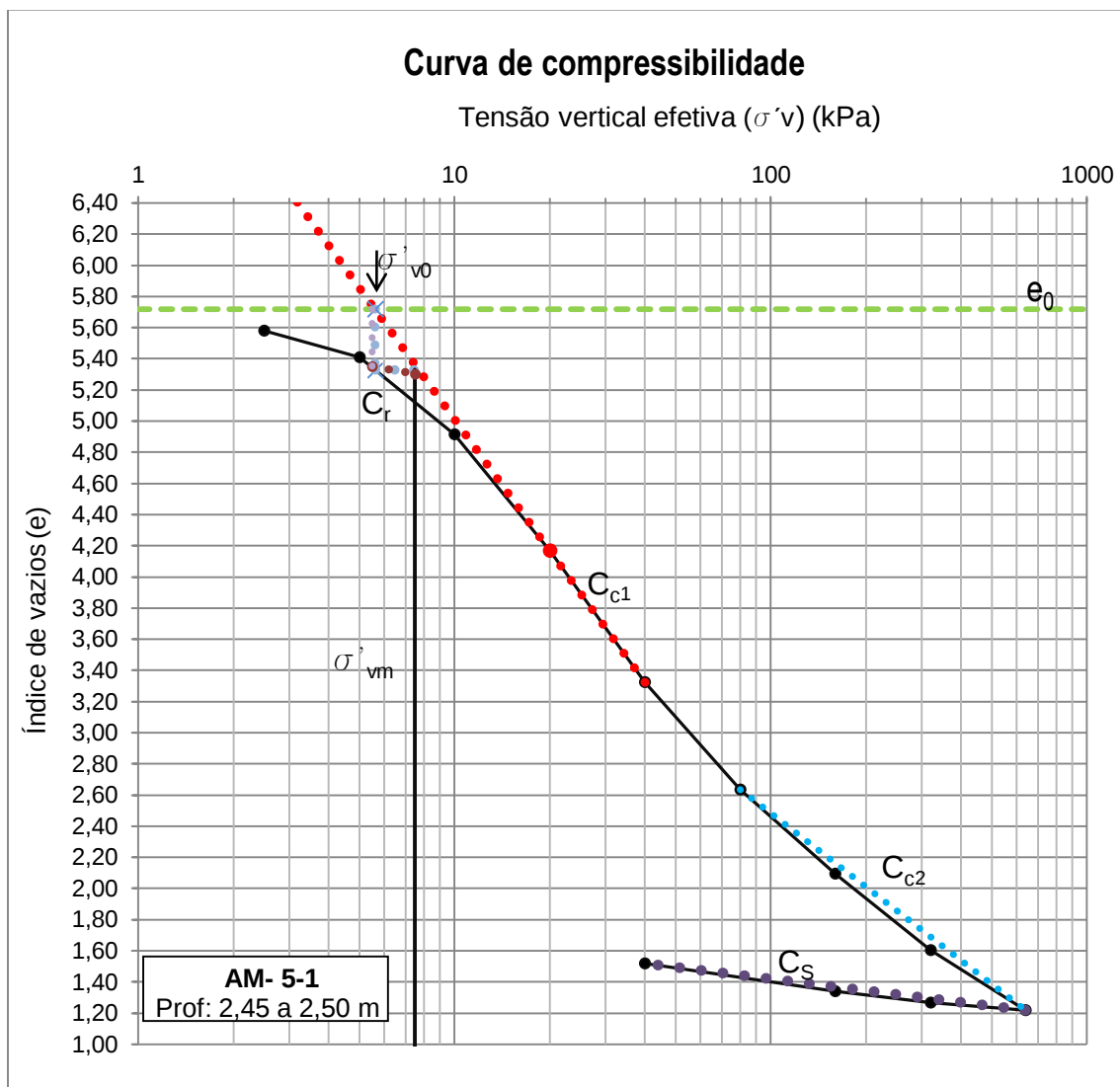
Curva de compressibilidade e determinação dos parâmetros (C_r , C_c , C_s e σ'_{vm}) da amostra AM-4-2. **(ILHA 4)**



Amostra AM -4-3
Profundidade: 10,55
e_0 : 3,17
$\sigma'v_0$: 20,60
CC_1 : 1,10
CC_2 : -
C_r : -
C_s : 0,16
σ'_{vm} : 13,00
OCR: 0,63

Qualidade
$e \sigma'v_0$: 2,70
$\Delta e/e_0$: 0,15
Coutinho: Muito ruim
Lune: Muito ruim

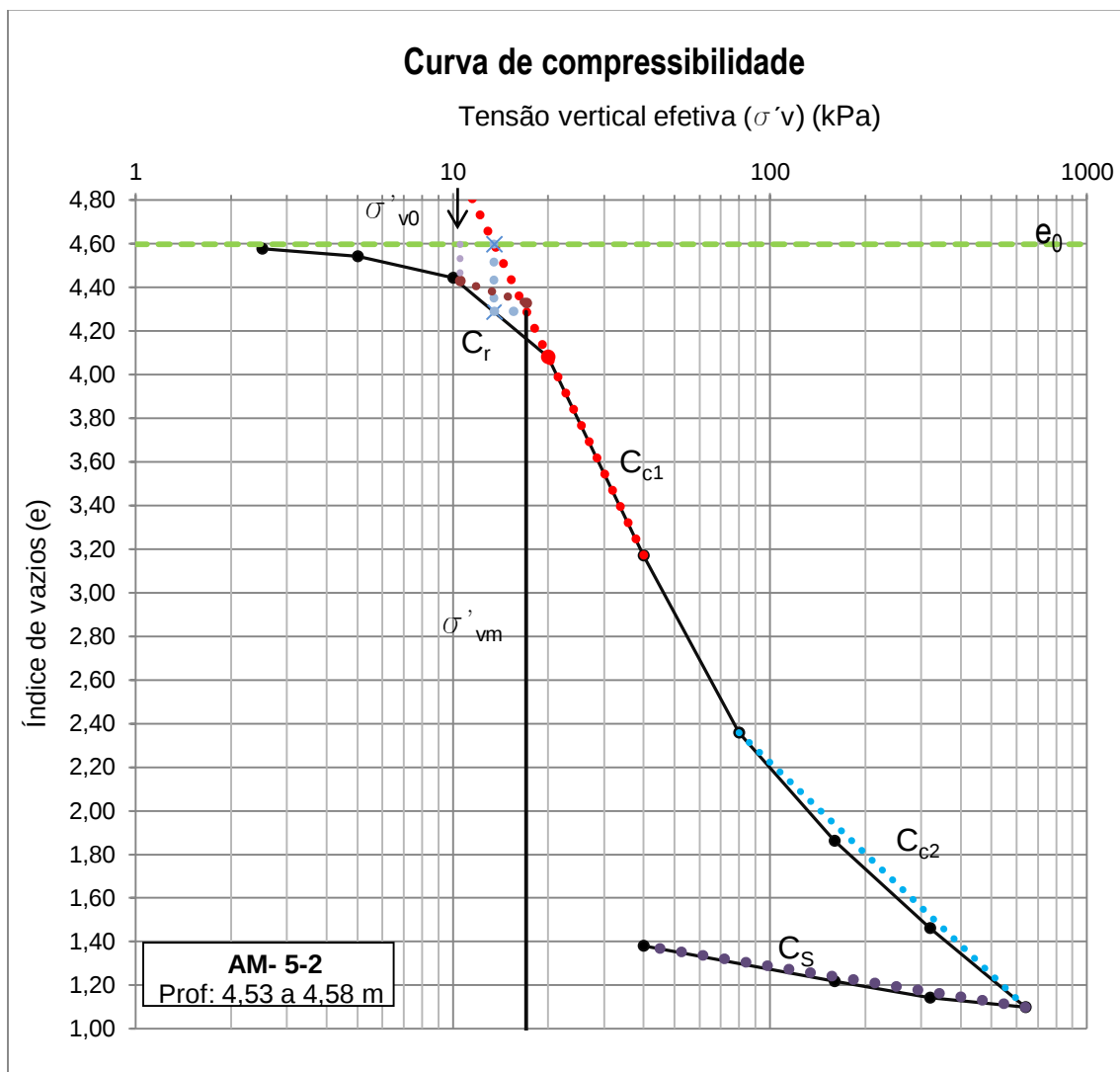
Curva de compressibilidade e determinação dos parâmetros (C_r , C_c , C_s e σ'_{vm}) da amostra AM-4-3. **(ILHA 4)**



Amostra AM -5-1
Profundidade: 2,47
eo: 5,72
σ'_{v0} : 5,48
Cc1: 2,81
Cc2: 1,57
Cr: 0,34
Cs: 0,25
σ'_{vm} : 7,50
OCR: 1,37

Qualidade	
$e \sigma'v_0$:	5,35
$\Delta e/e_0$:	0,06
Coutinho:	Muito boa a excelente
Lune:	Boa a regular

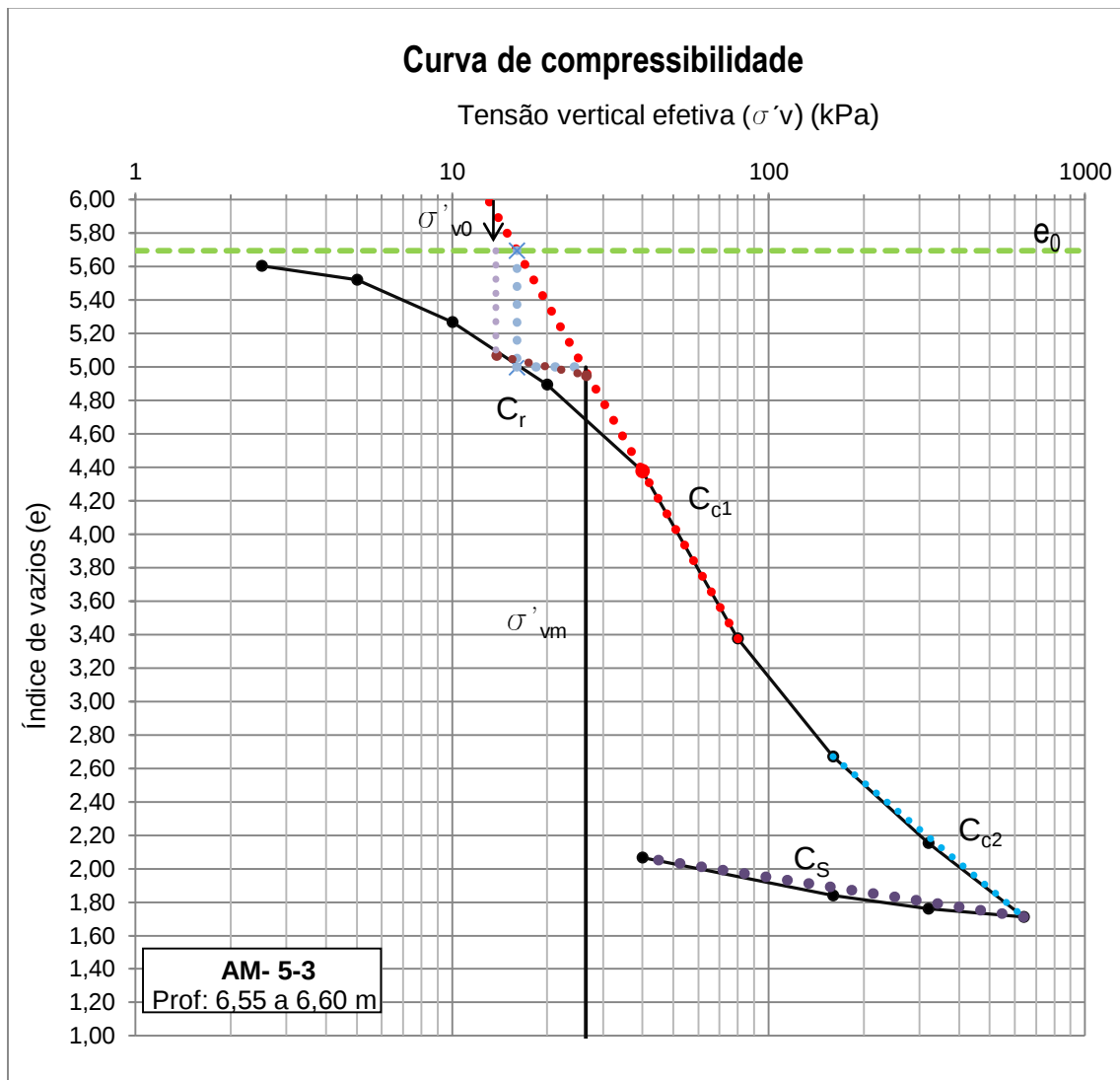
Curva de compressibilidade e determinação dos parâmetros (C_r , C_c , C_s e σ'_{vm}) da amostra AM-5-1. **(ILHA 5)**



Amostra AM -5-2	
Profundidade:	4,55
e_0 :	4,60
$\sigma'v_0$:	10,54
CC_1 :	3,02
CC_2 :	1,39
C_r :	0,48
C_s :	0,23
σ'_{vm} :	17,00
OCR:	1,61

Qualidade	
$e \sigma'v_0$:	4,43
$\Delta e/e_0$:	0,04
Coutinho:	Muito boa a excelente
Lune:	Muito boa a excelente

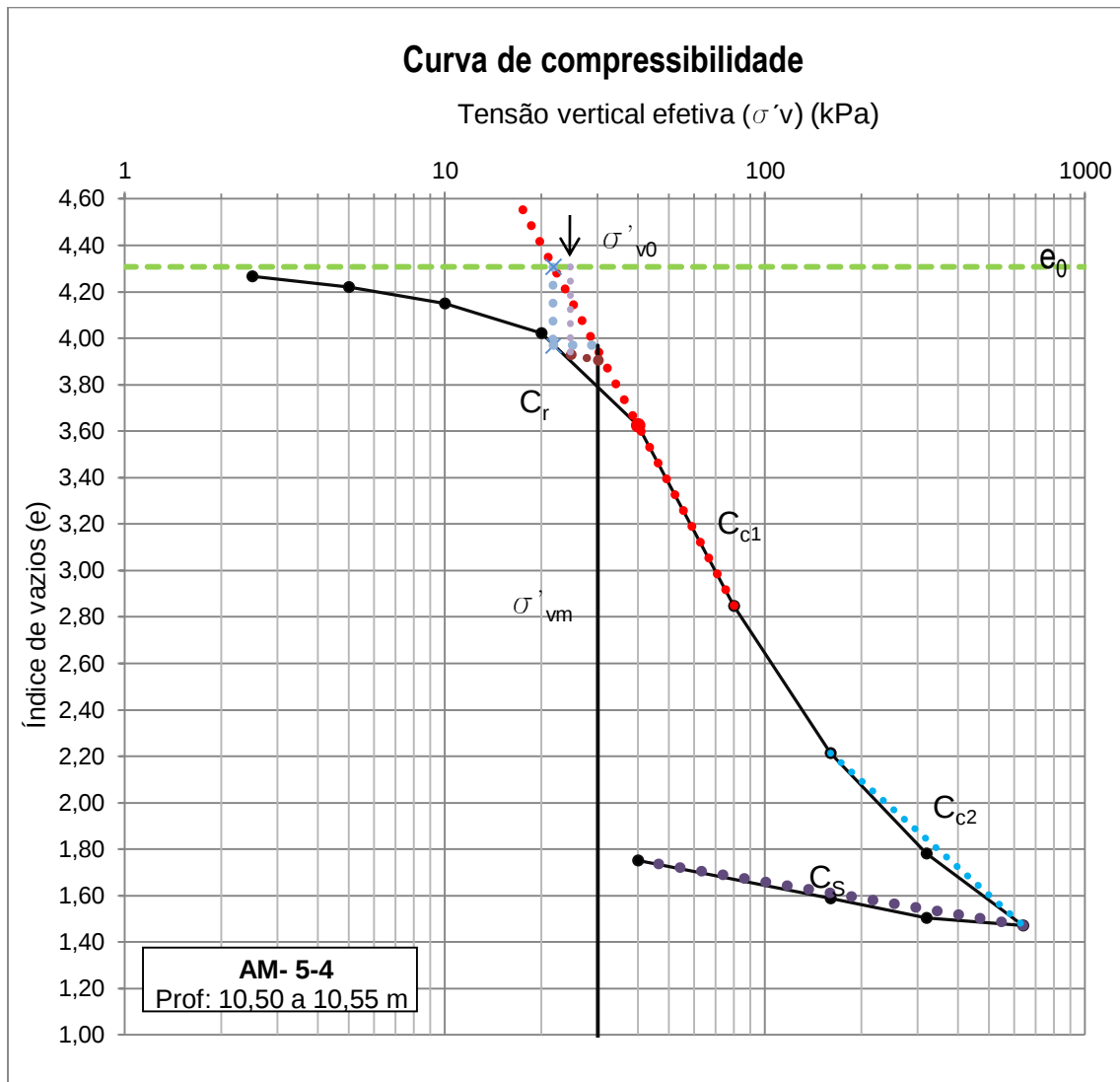
Curva de compressibilidade e determinação dos parâmetros (C_r , C_c , C_s e σ'_{vm}) da amostra AM-5-2. **(ILHA 5)**



Amostra AM -5-3
Profundidade: 6,57
e_0 : 5,70
$\sigma'v_0$: 13,77
CC_1 : 3,32
CC_2 : 1,59
C_r : 0,42
C_s : 0,29
σ'_{vm} : 26,50
OCR: 1,92

Qualidade
$e \sigma'v_0$: 5,07
$\Delta e/e_0$: 0,11
Coutinho: Ruim
Lune: Ruim

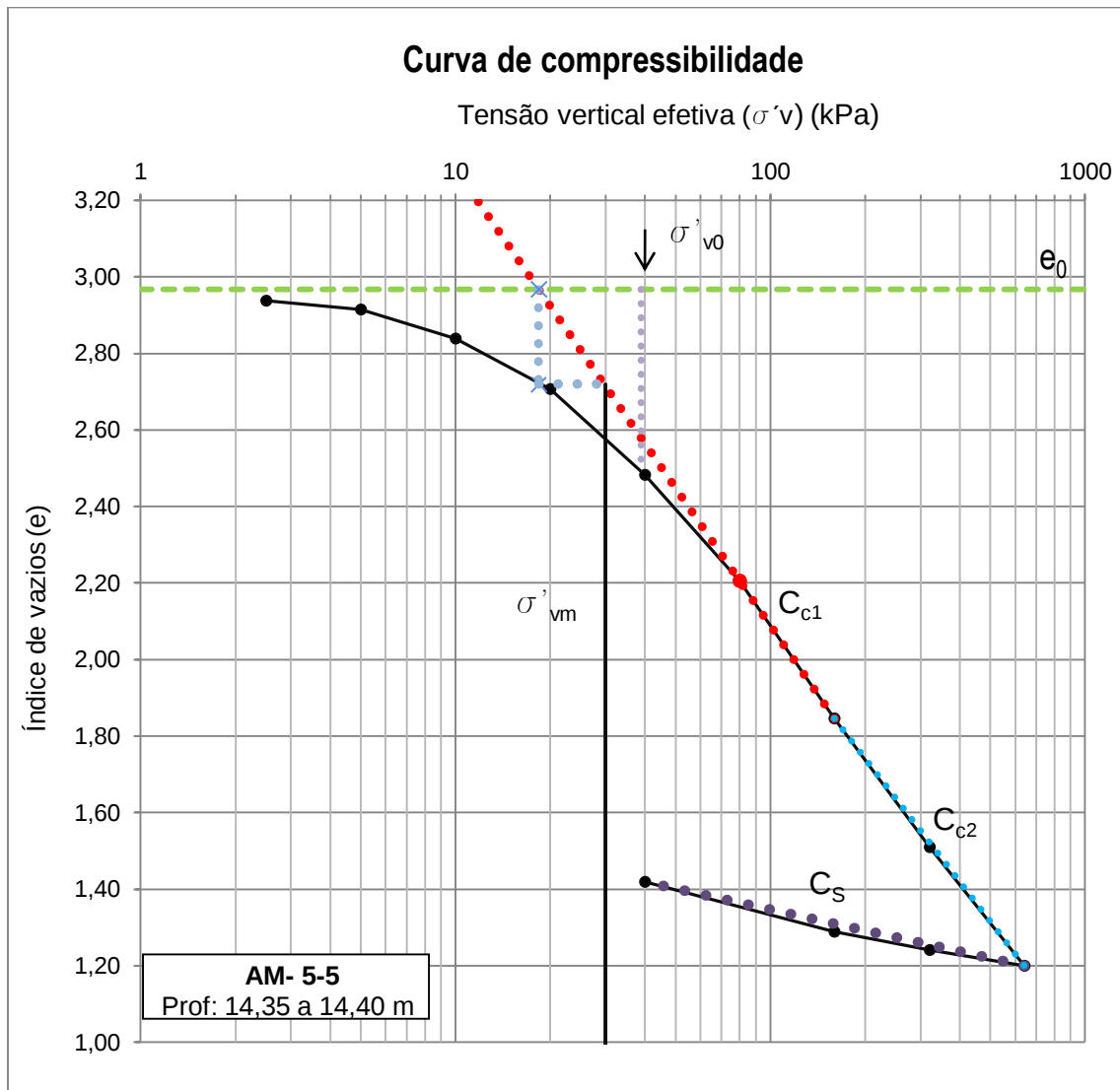
Curva de compressibilidade e determinação dos parâmetros (C_r , C_c , C_s e σ'_{vm}) da amostra AM-5-3. (ILHA 5)



Amostra AM -5-4
Profundidade: 10,50
e_0 : 4,31
$\sigma'v_0$: 24,65
CC_1 : 2,58
CC_2 : 1,23
C_r : 0,28
C_s : 0,23
σ'_{vm} : 30,00
OCR: 1,22

Qualidade
$e \sigma'v_0$: 3,93
$\Delta e/e_0$: 0,09
Coutinho: Ruim
Lune: Ruim

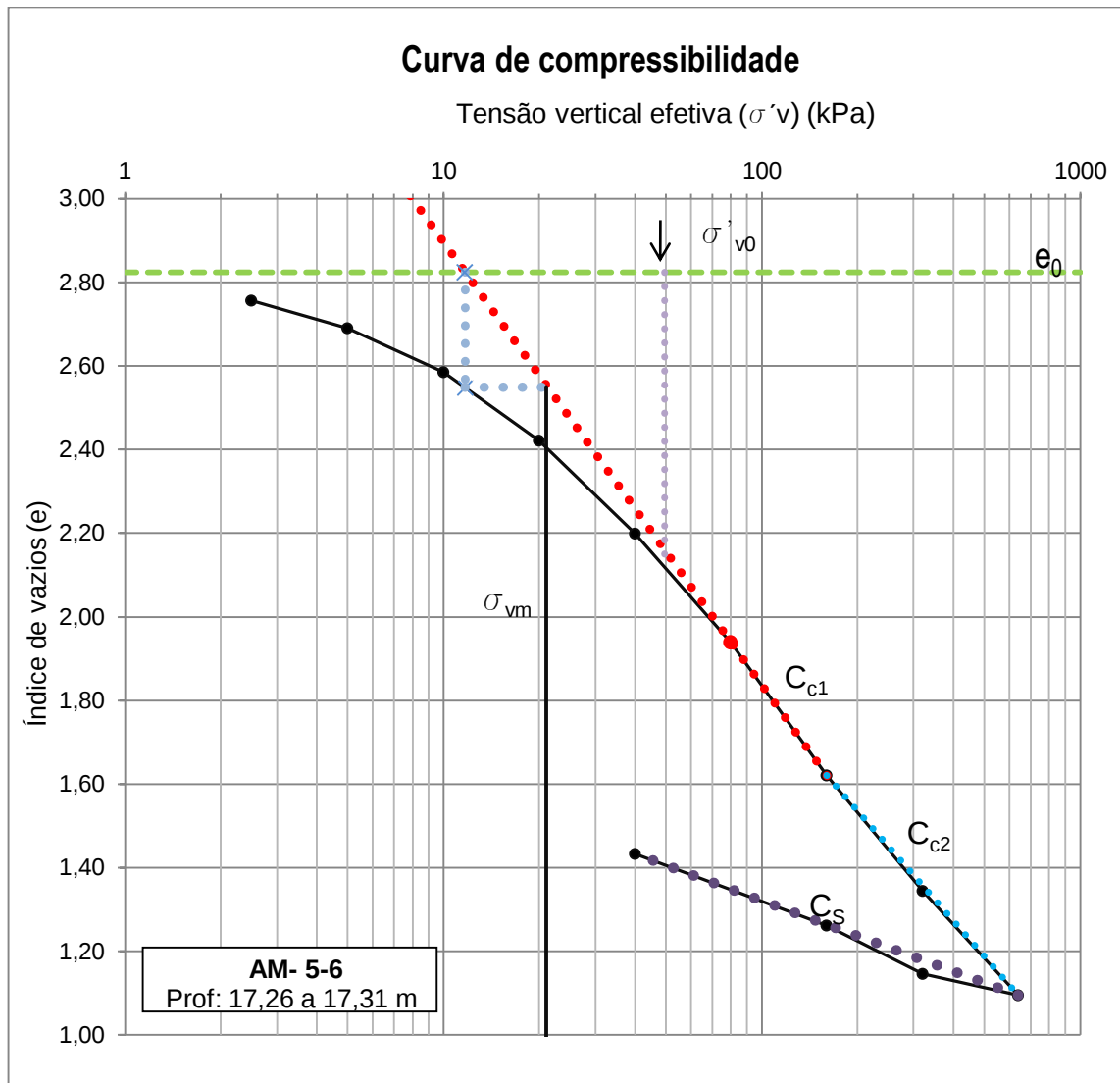
Curva de compressibilidade e determinação dos parâmetros (C_r , C_c , C_s e σ'_{vm}) da amostra AM-5-4. (ILHA 5)



Amostra AM -5-5
Profundidade: 14,37
e_0 : 2,97
$\sigma'v_0$: 38,88
C_{c1} : 1,19
C_{c2} : 1,07
C_r : -
C_s : 0,18
σ'_{vm} : 30,00
OCR: 0,77

Qualidade
$e \sigma'v_0$: 2,50
$\Delta e/e_0$: 0,16
Coutinho: Muito Ruim
Lune: Muito Ruim

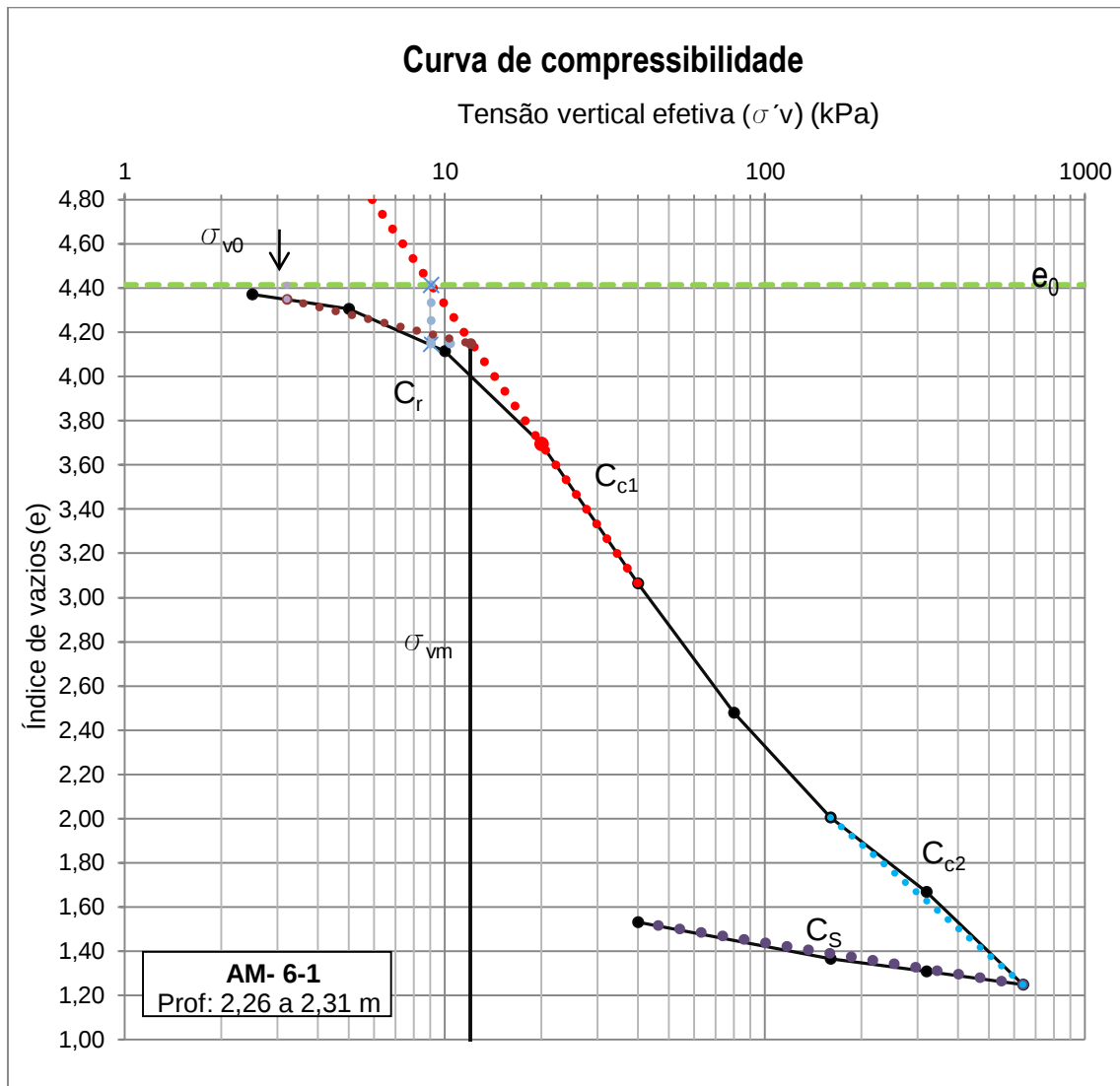
Curva de compressibilidade e determinação dos parâmetros (C_r , C_c , C_s e σ'_{vm}) da amostra AM-5-5. **(ILHA 5)**



Amostra AM -5-6
Profundidade: 17,28
e_0 : 2,82
$\sigma'v_0$: 49,63
CC_1 : 1,06
CC_2 : 0,87
C_r : -
C_s : 0,28
σ'_{vm} : 21,00
OCR: 0,42

Qualidade	
$e \sigma'v_0$:	2,13
$\Delta e/e_0$:	0,25
Coutinho:	Muito Ruim
Lune:	Muito Ruim

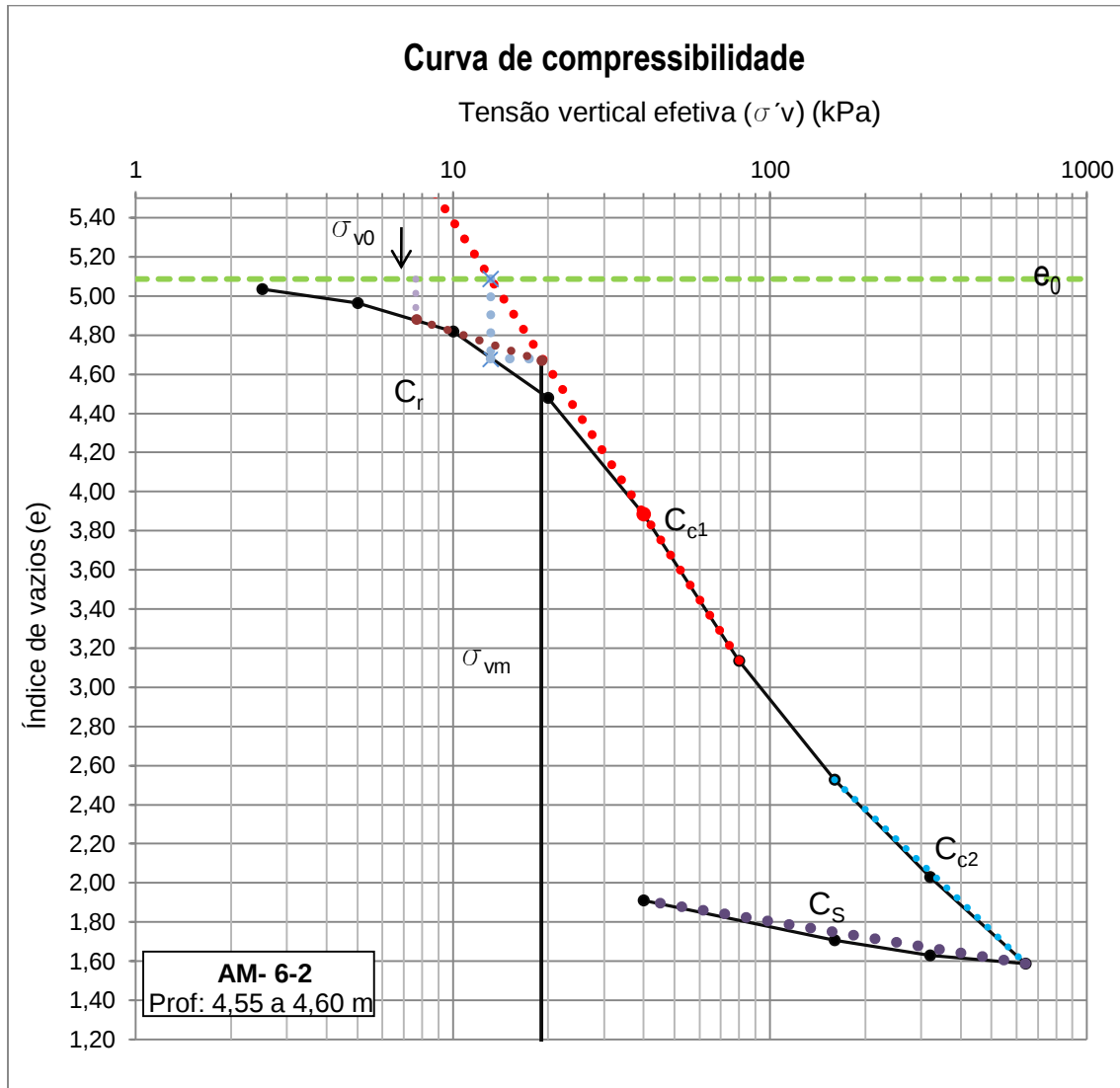
Curva de compressibilidade e determinação dos parâmetros (C_r , C_c , C_s e σ'_{vm}) da amostra AM-5-6.



Amostra AM -6-1
Profundidade: 2,29
e_0 : 4,41
$\sigma'v_0$: 3,21
CC_1 : 2,09
CC_2 : 1,26
C_r : 0,35
C_s : 0,24
σ'_{vm} : 12,00
OCR: 3,74

Qualidade	
$e \sigma'v_0$:	4,35
$\Delta e/e_0$:	0,01
Coutinho:	Muito boa a excelente
Lune:	Muito boa a excelente

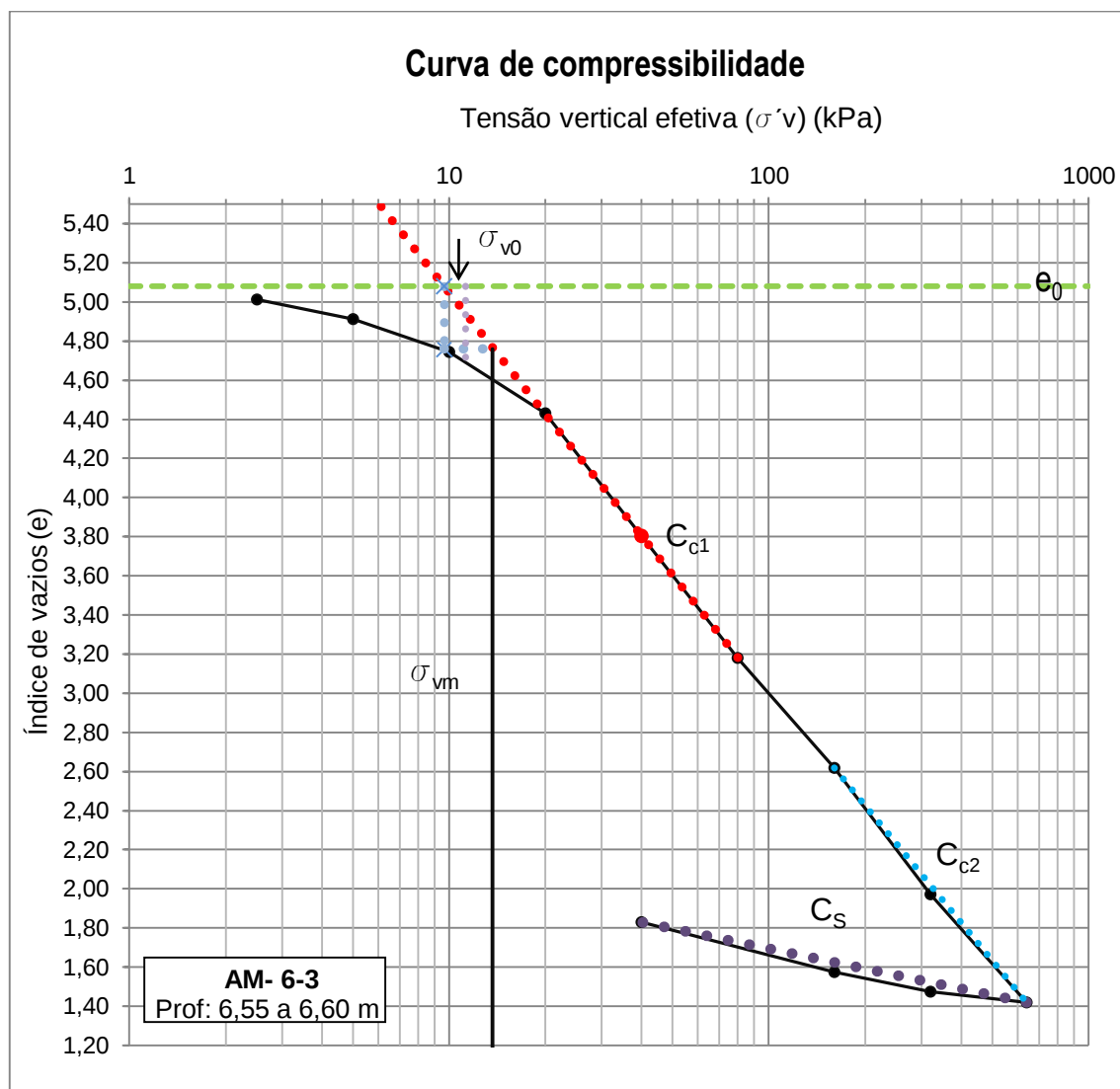
Curva de compressibilidade e determinação dos parâmetros (C_r , C_c , C_s e σ'_{vm}) da amostra AM-6-1.



Amostra AM -6-2
Profundidade: 4,57
e_0 : 5,09
$\sigma'v_0$: 7,65
CC_1 : 2,49
CC_2 : 1,56
C_r : 0,53
C_s : 0,27
σ'_{vm} : 19,00
OCR: 2,48

Qualidade
$e \sigma'v_0$: 4,88
$\Delta e/e_0$: 0,04
Coutinho: Muito boa a excelente
Lune: Boa a regular

Curva de compressibilidade e determinação dos parâmetros (C_r , C_c , C_s e σ'_{vm}) da amostra AM-6-2.



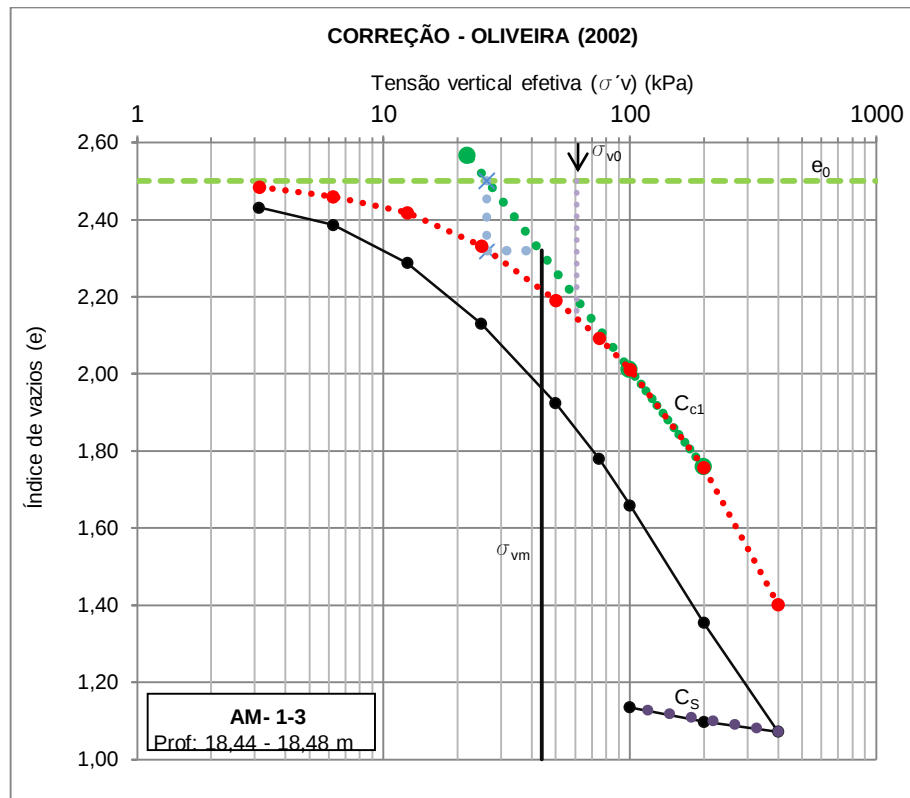
Amostra AM -6-3
Profundidade: 6,57
e_0 : 5,08
$\sigma'v_0$: 11,25
CC_1 : 2,07
CC_2 : 1,99
C_r :
C_s : 0,34
σ'_{vm} : 13,70
OCR: 1,22

Qualidade	
$e \sigma'v_0$:	4,68
$\Delta e/e_0$:	0,08
Coutinho:	Boa a regular
Lune:	Ruim

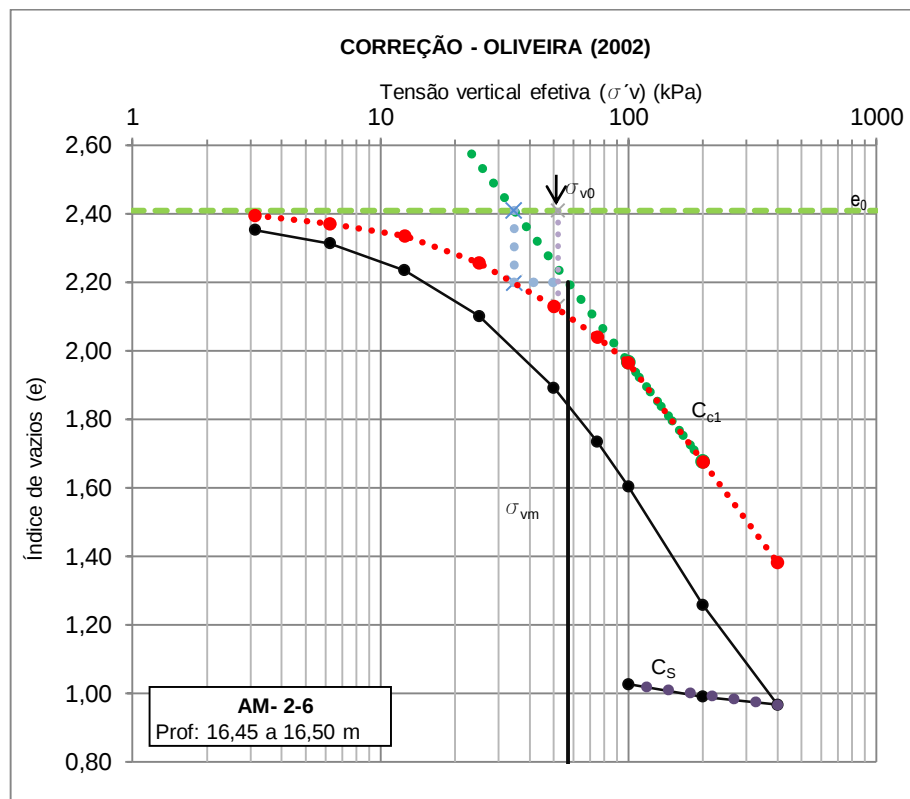
Curva de compressibilidade e determinação dos parâmetros (C_r , C_c , C_s e σ'_{vm}) da amostra AM-6-3.

APÊNDICE 2.

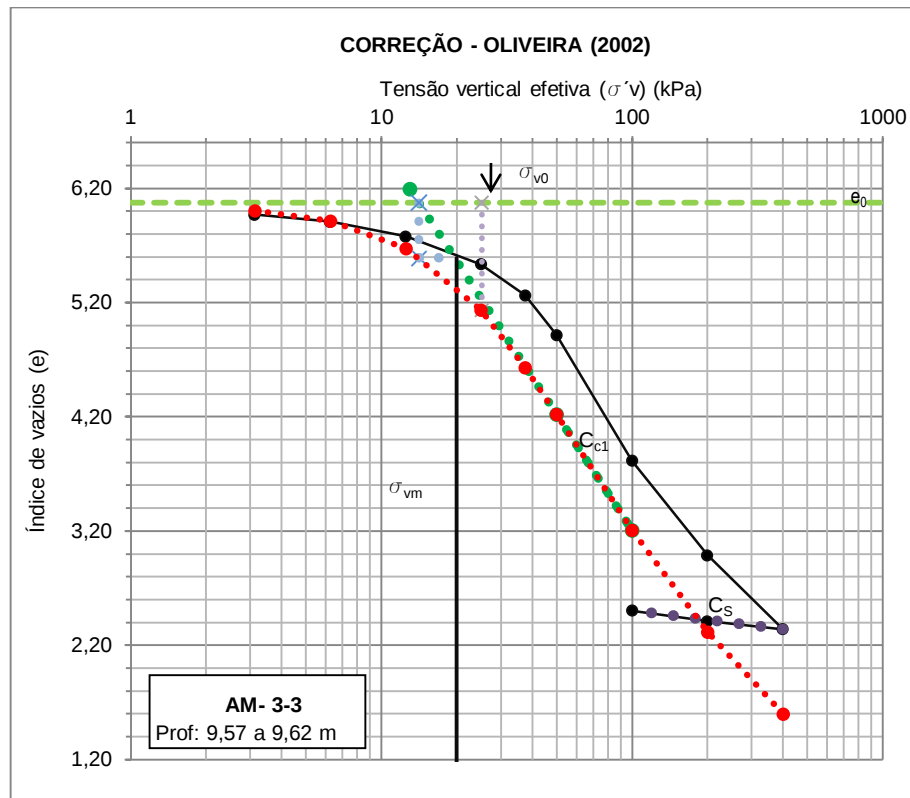
(Correção da curva de compressibilidade pelo método de Oliveira, 2002)



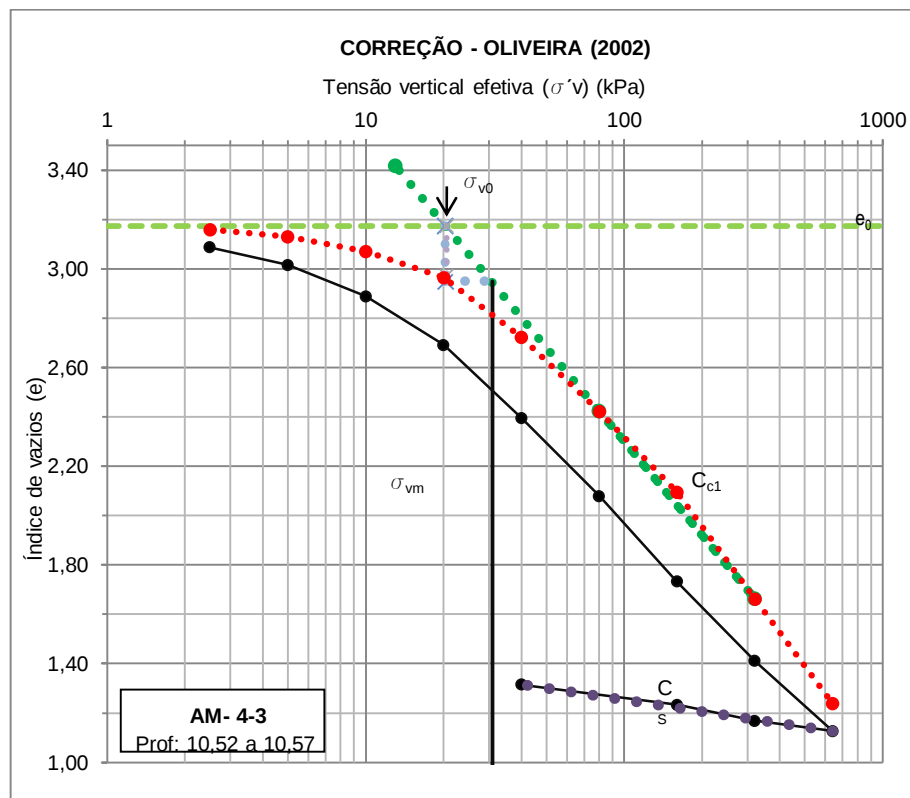
Correção da curva de compressibilidade (Oliveira, 2002), amostra AM-1-3.



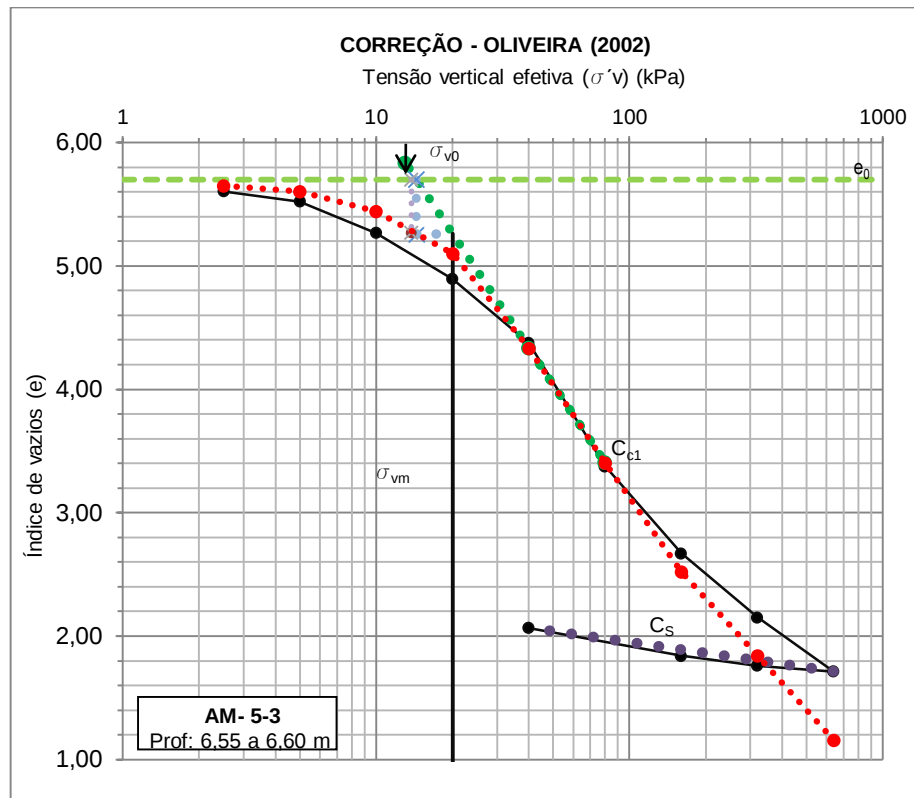
Correção da curva de compressibilidade (Oliveira, 2002), amostra AM-2-6.



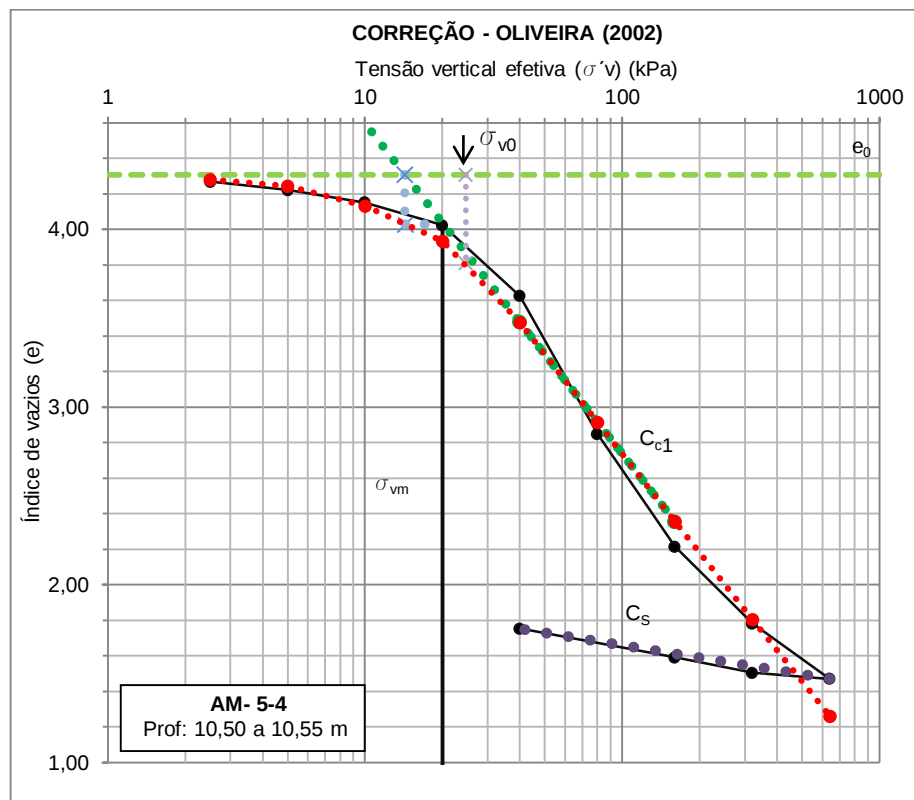
Correção da curva de compressibilidade (Oliveira, 2002), amostra AM-3-3.
(Resultado não aproveitado)



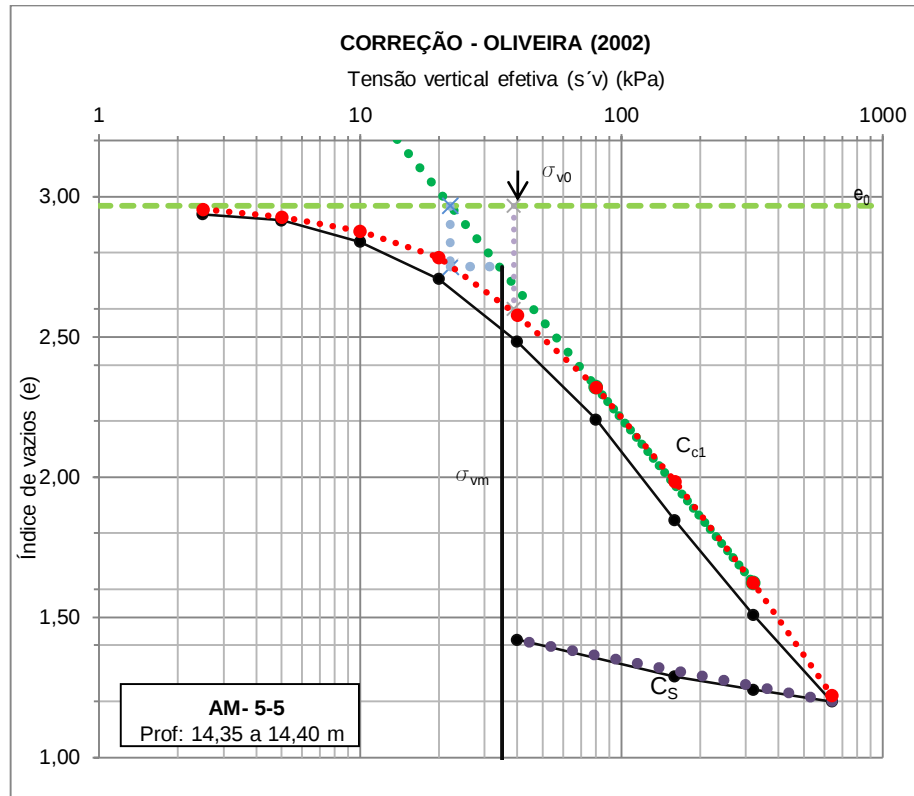
Correção da curva de compressibilidade (Oliveira, 2002), amostra AM-4-3.



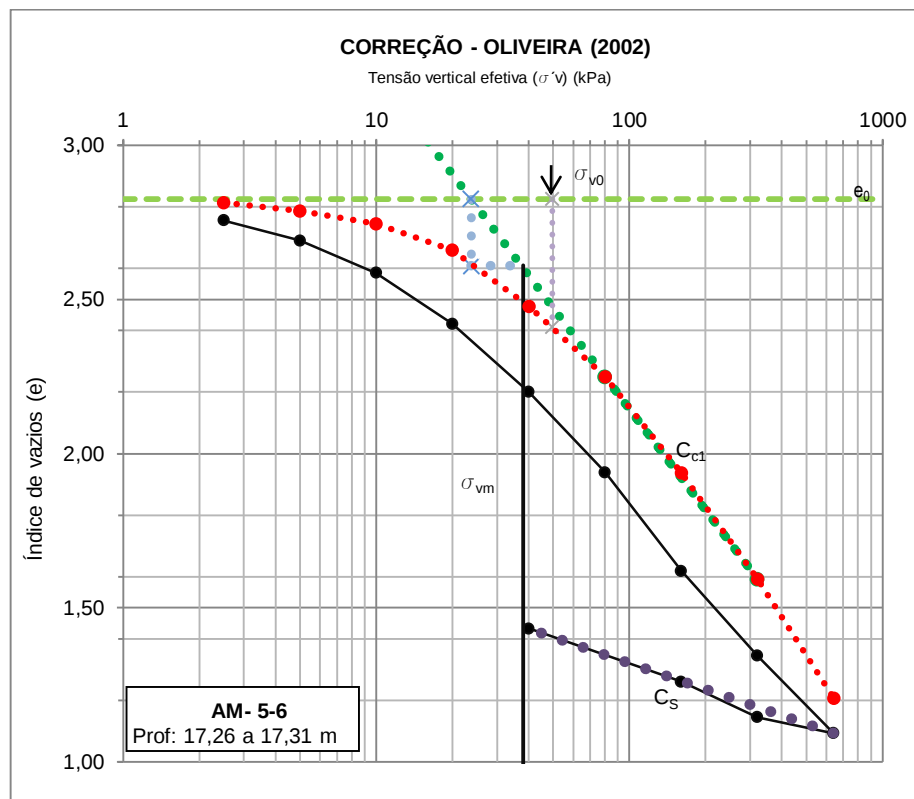
Correção da curva de compressibilidade (Oliveira, 2002), amostra AM-5-3.
(Resultados não aproveitados)



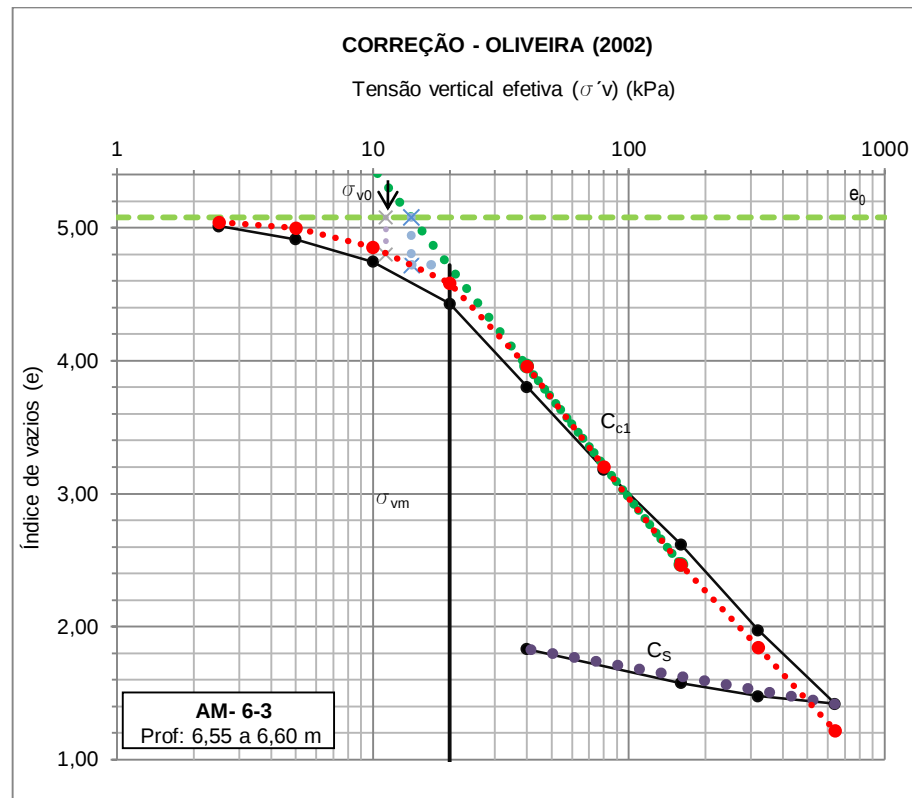
Correção da curva de compressibilidade (Oliveira, 2002), amostra AM-5-4.
(Resultados não aproveitados)



Correção da curva de compressibilidade (Oliveira, 2002), amostra AM-5-5.



Correção da curva de compressibilidade (Oliveira, 2002), amostra AM-5-6.

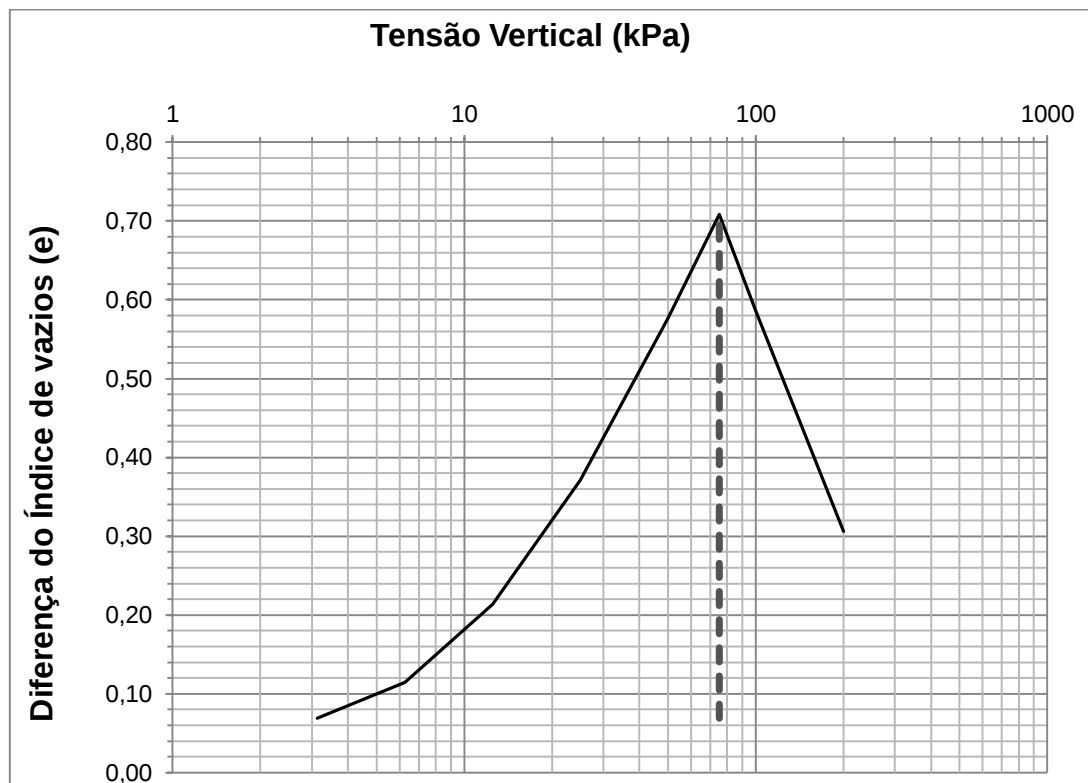
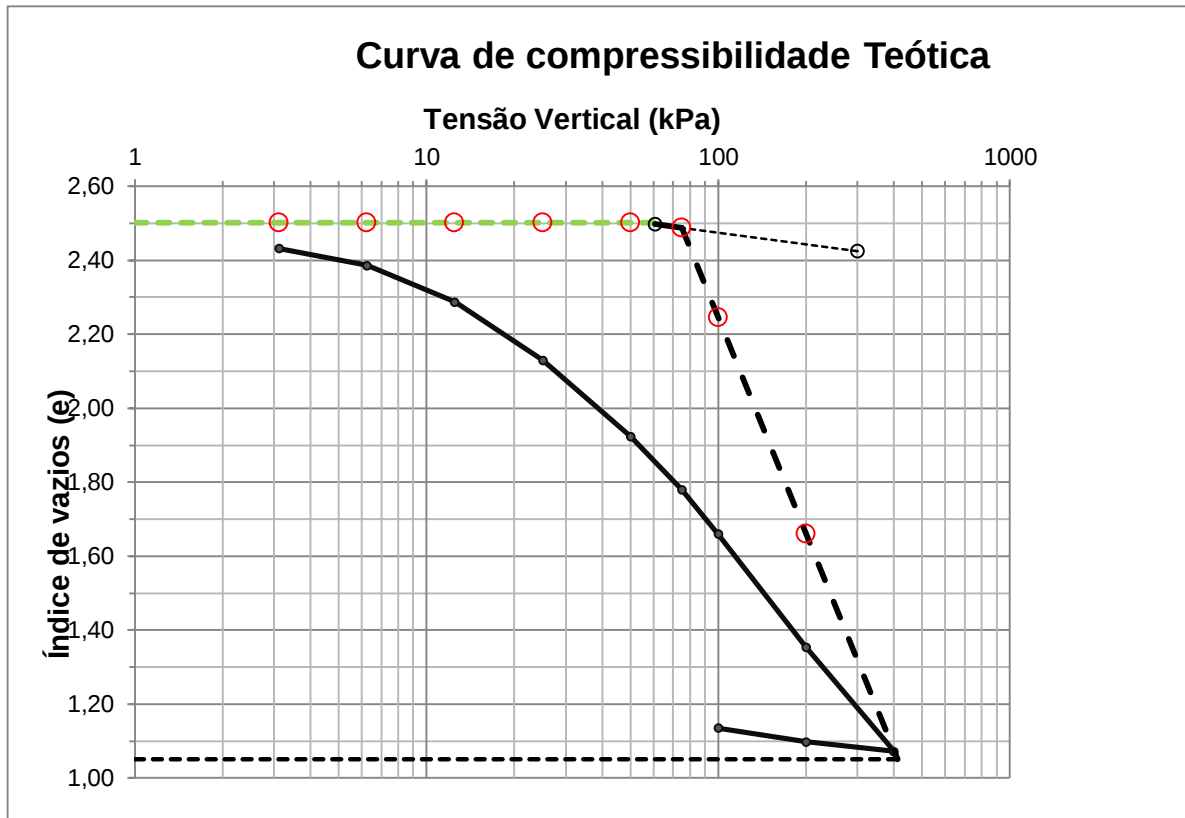


Correção da curva de compressibilidade (Oliveira, 2002), amostra AM-6-3.

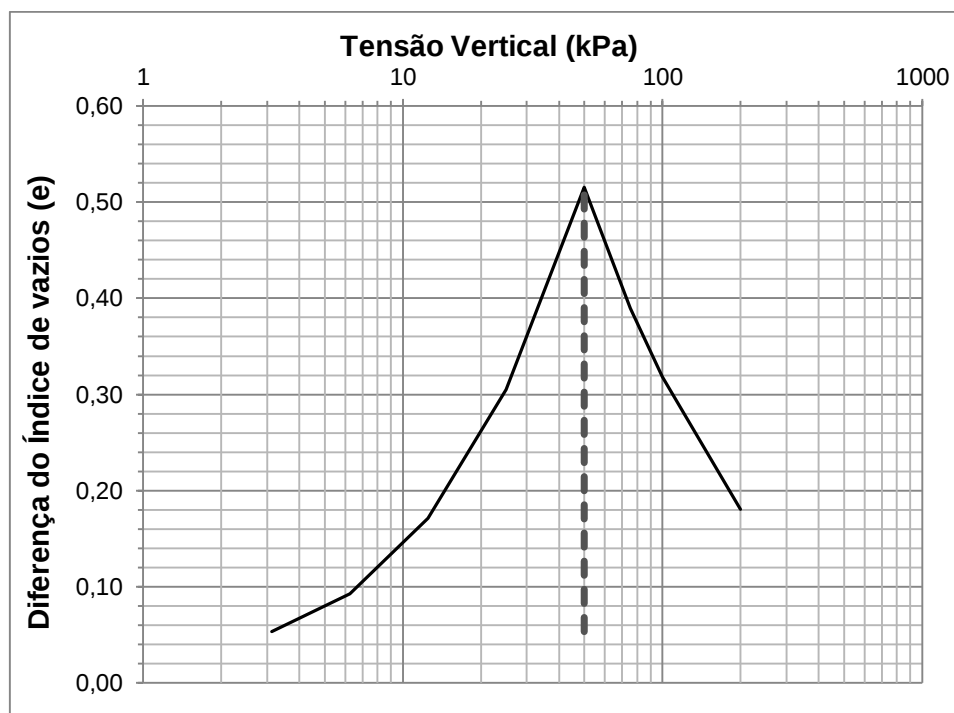
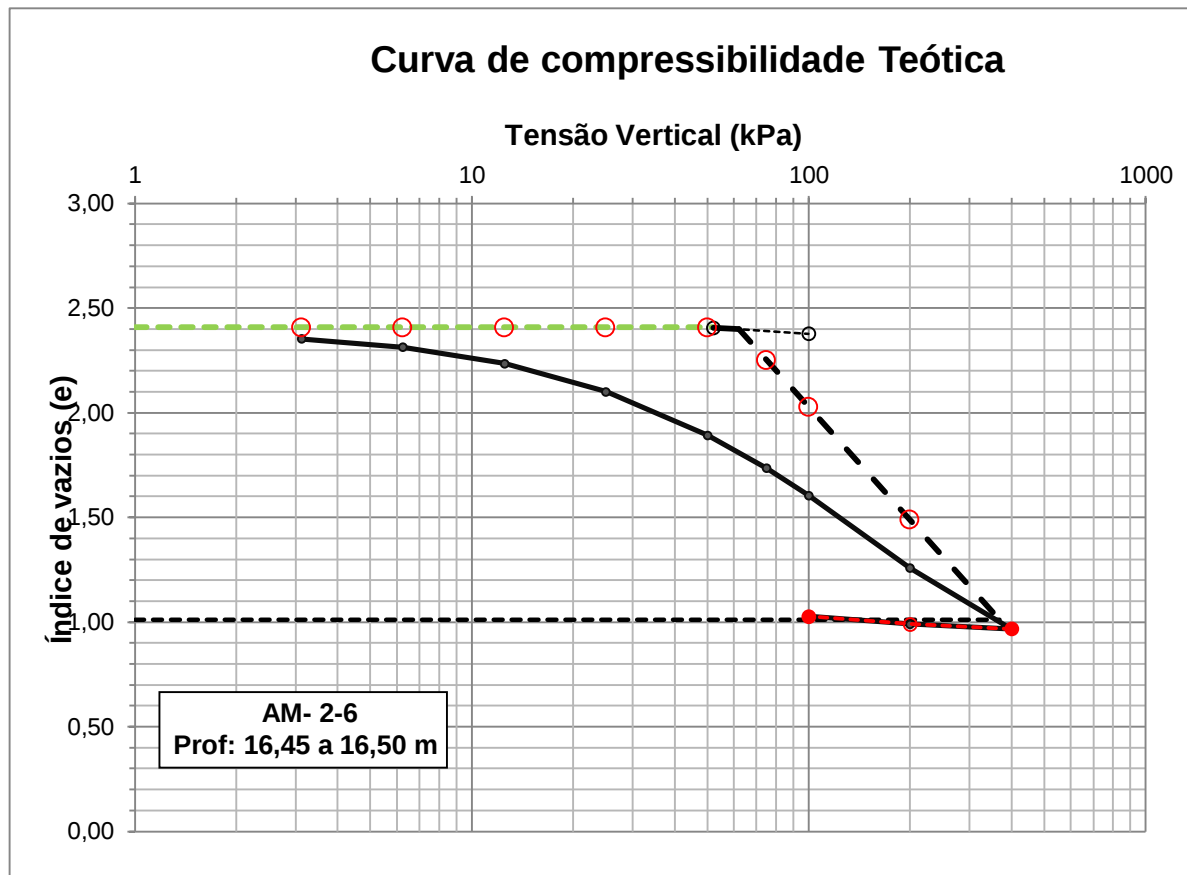
APÊNDICE 3.

(Correção da curva de compressibilidade método de Schmertmann (1955))

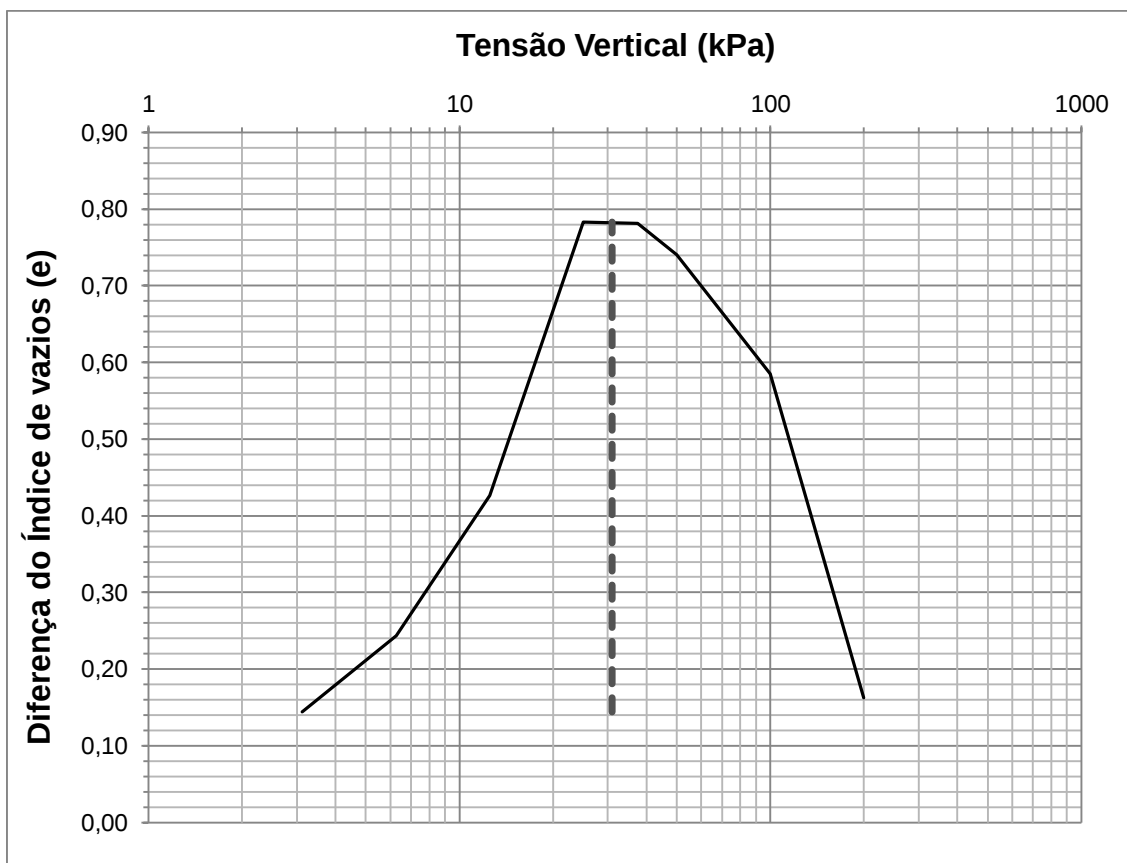
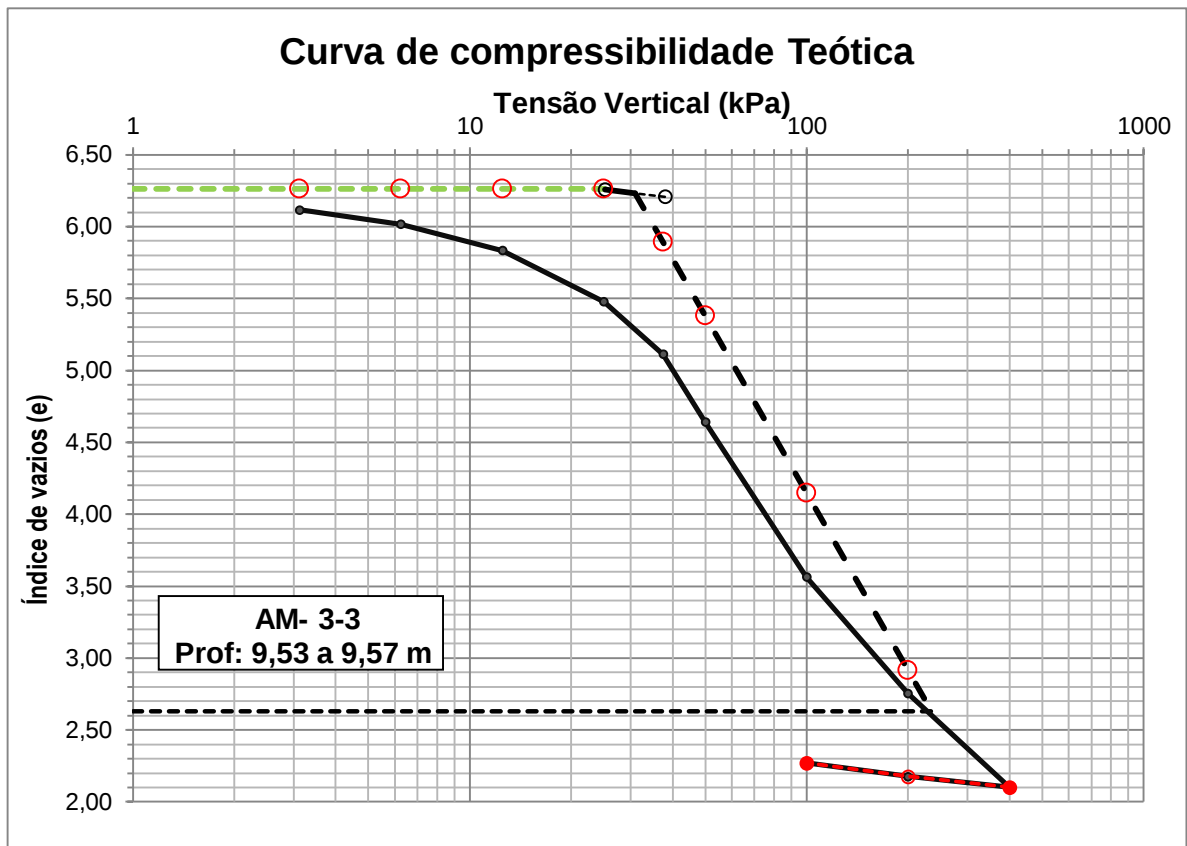
AMOSTRA AM 1- 3



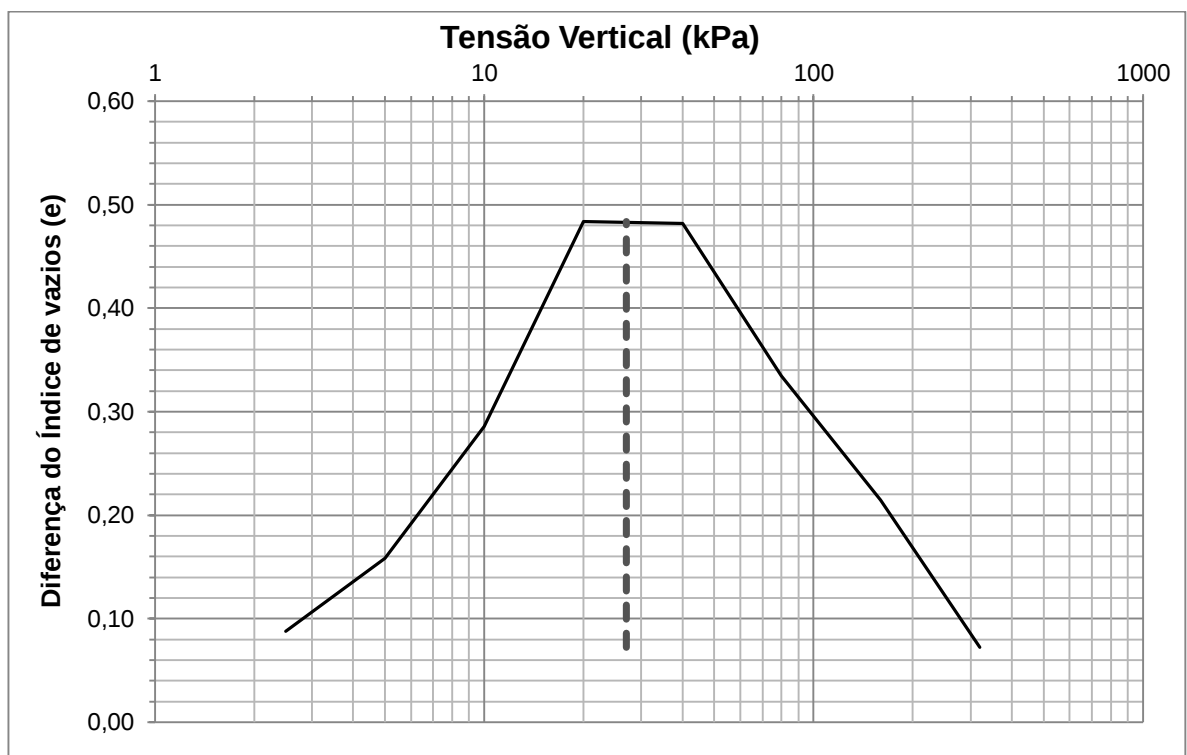
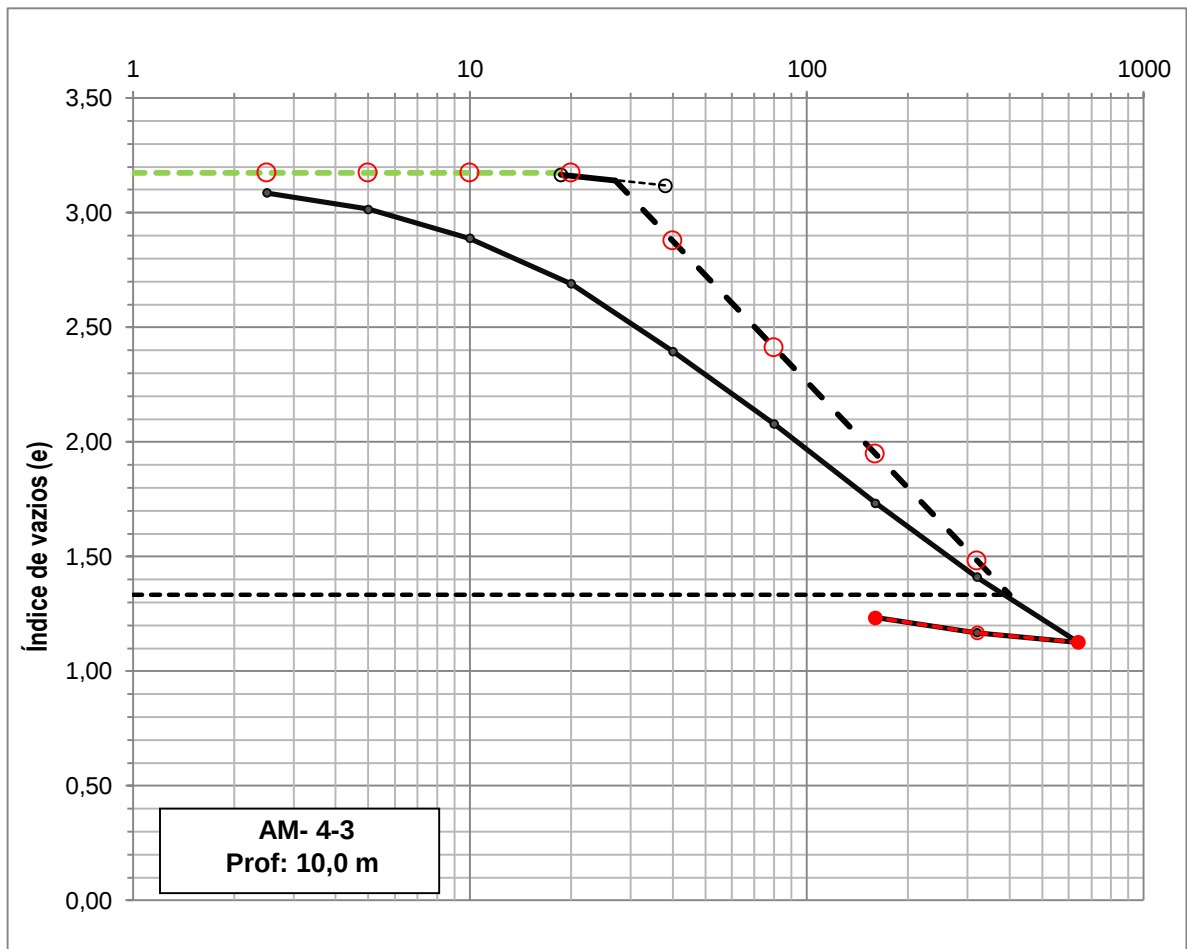
AMOSTRA AM 2- 6



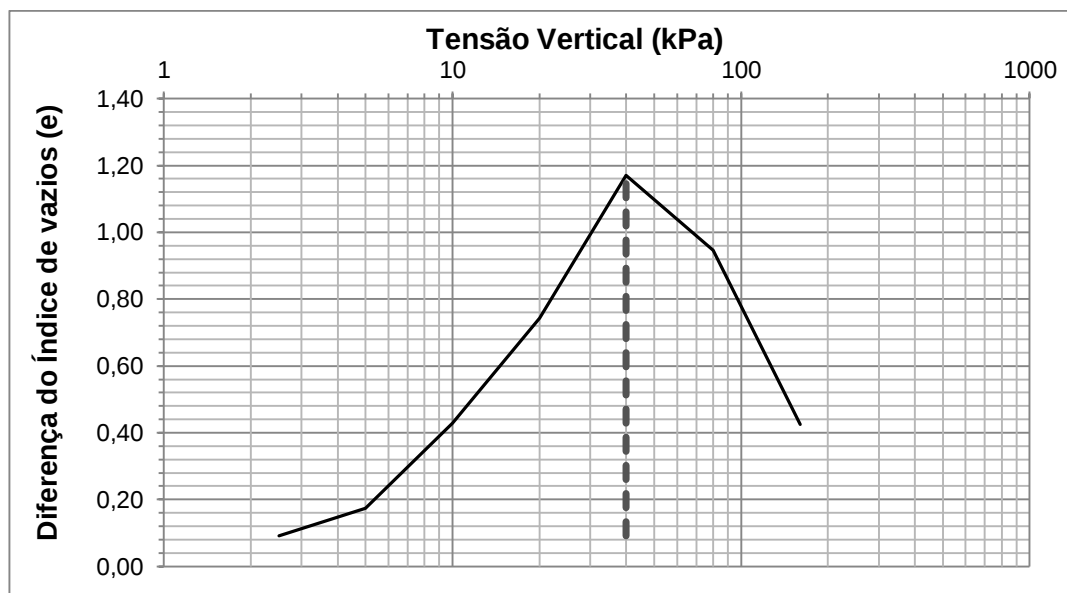
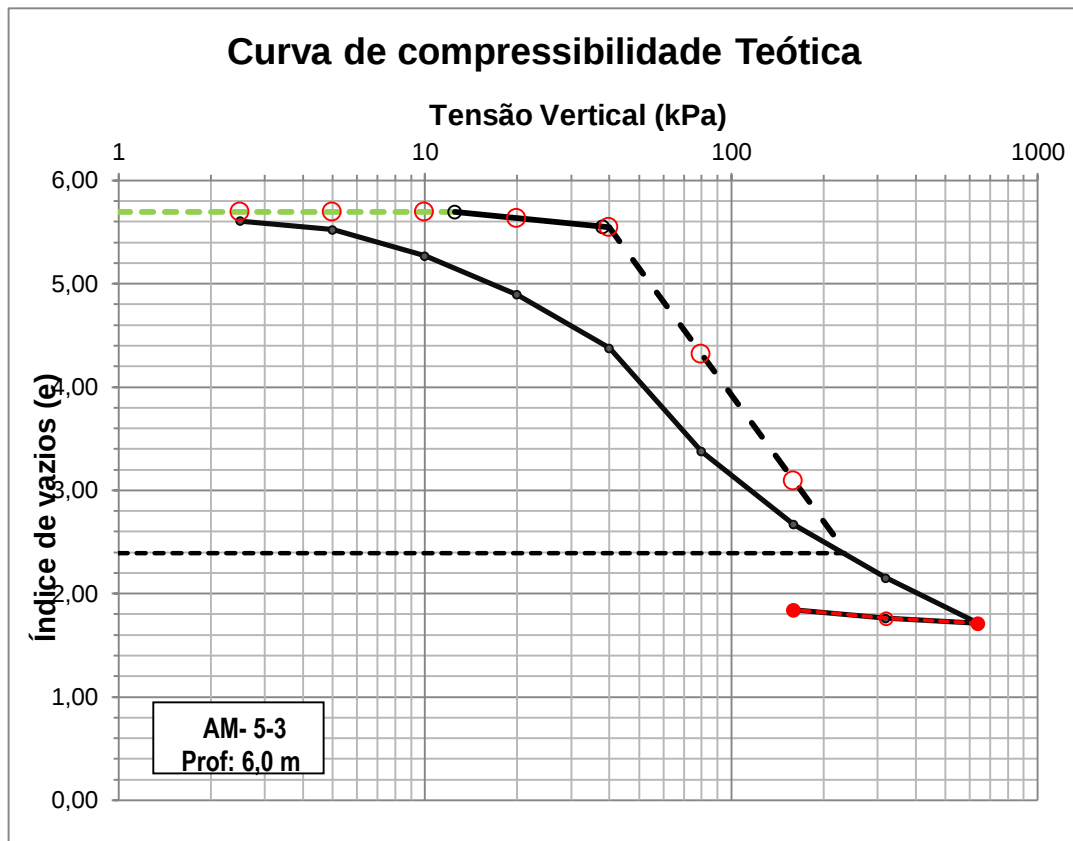
AMOSTRA AM 3- 3



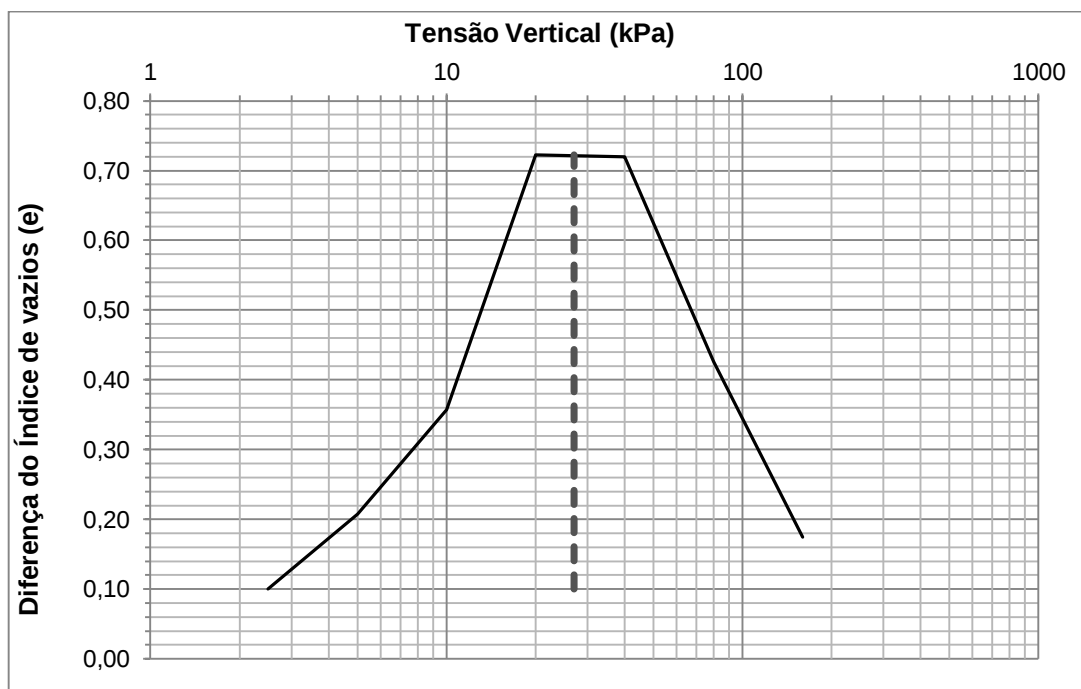
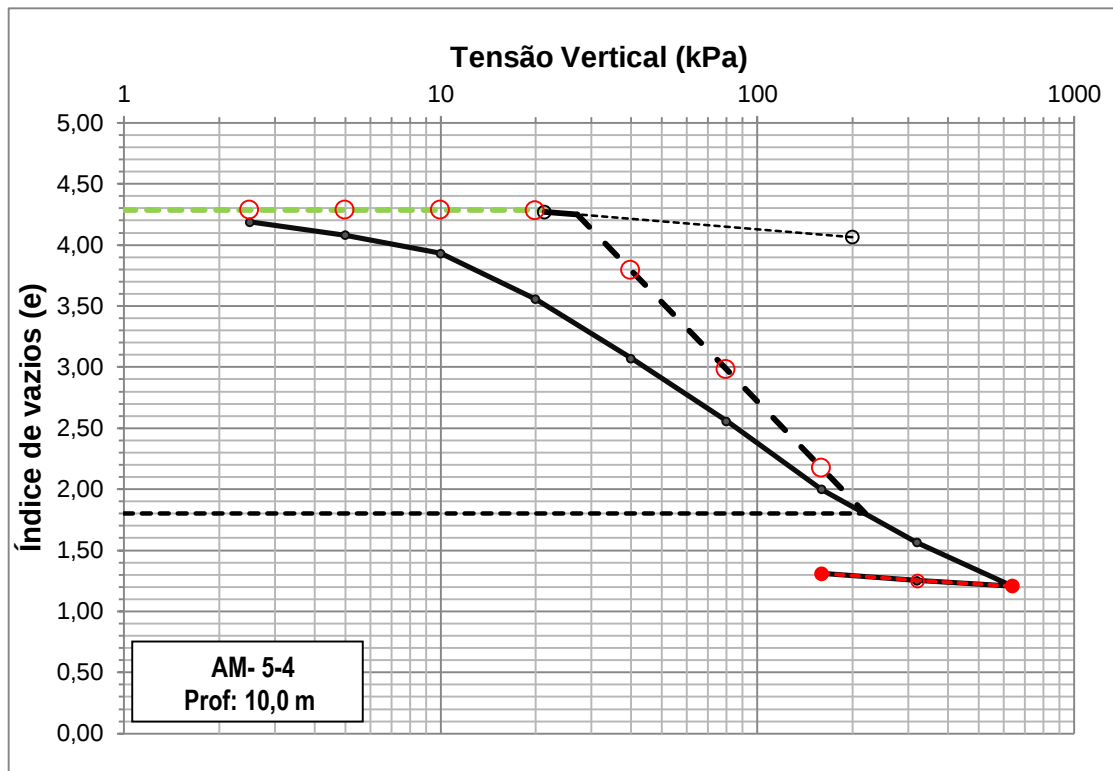
AMOSTRA AM 4- 3



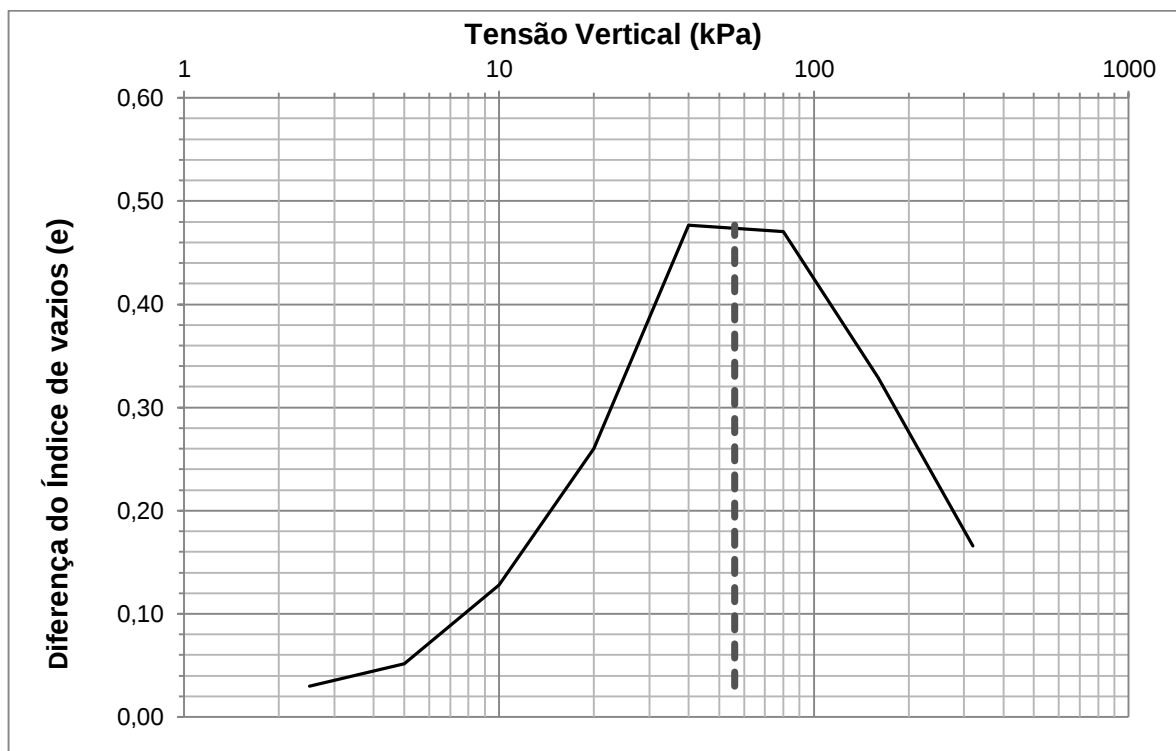
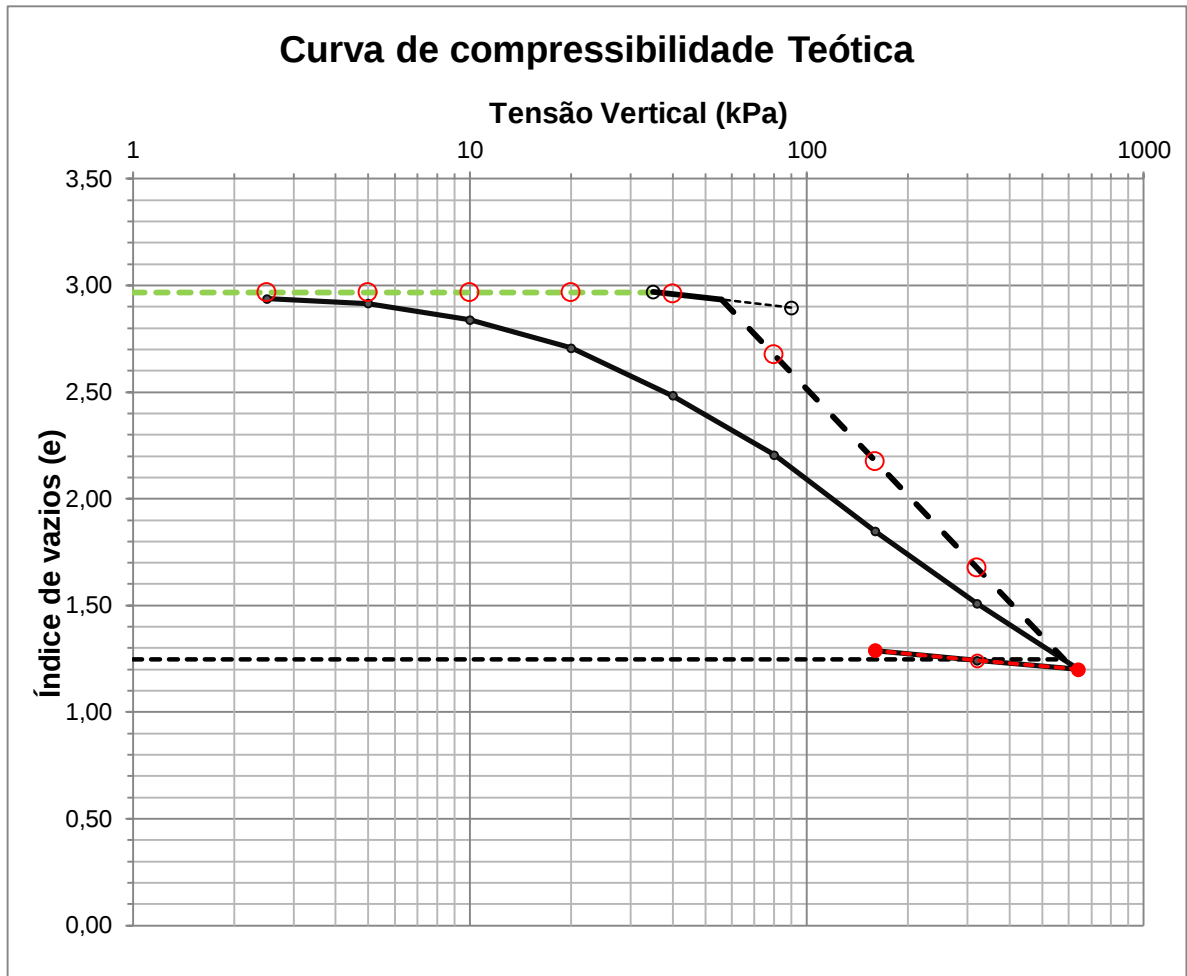
AMOSTRA AM 5- 3



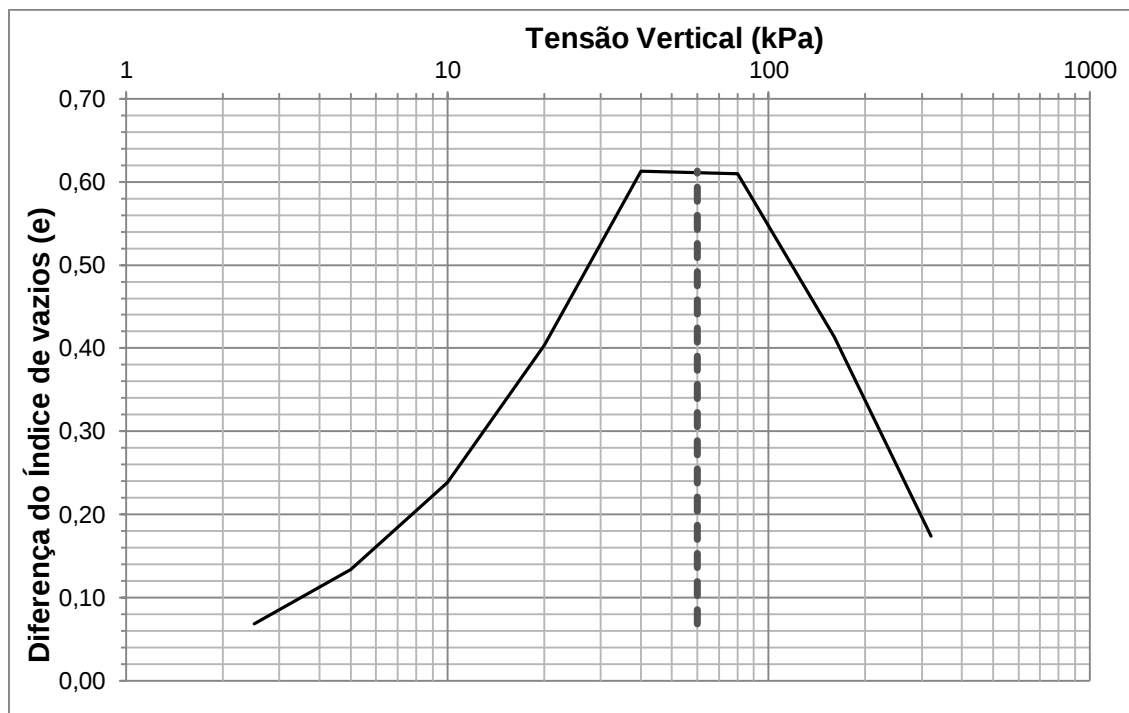
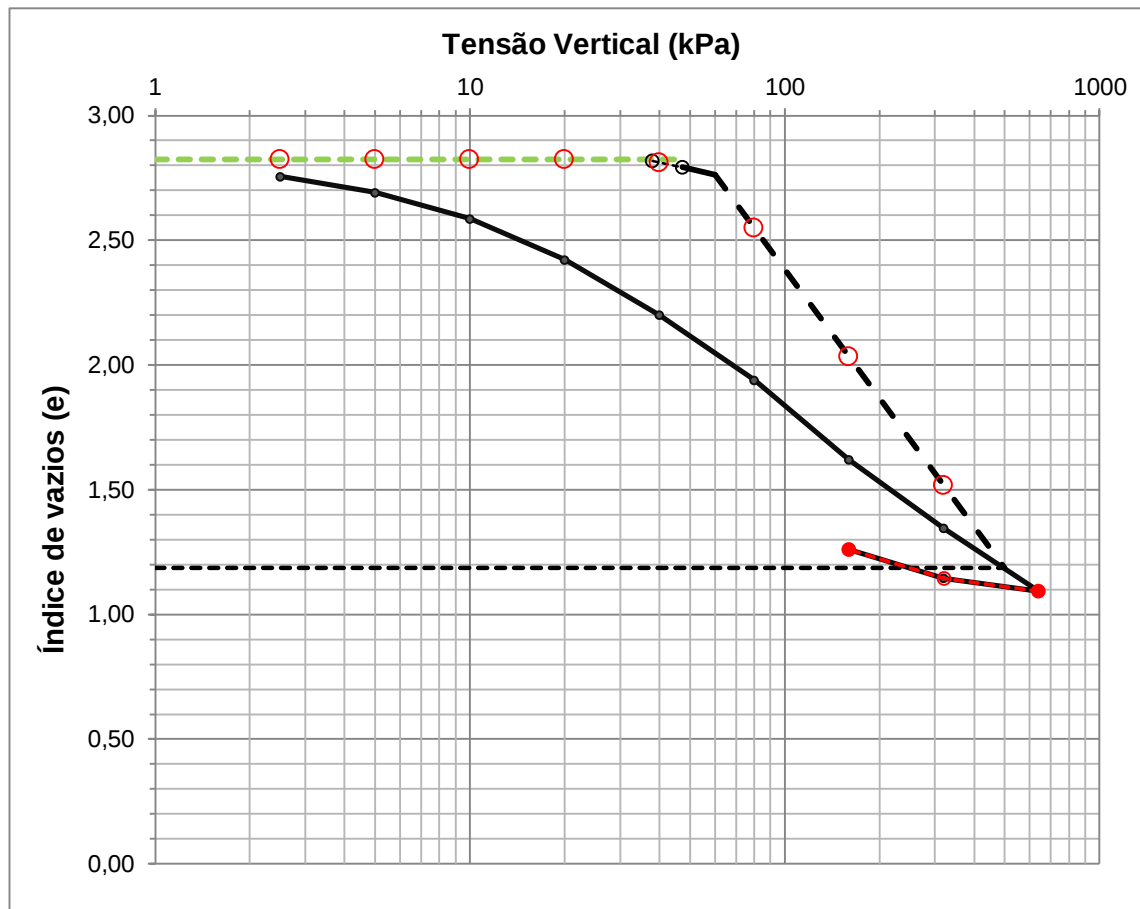
AMOSTRA AM 5- 4



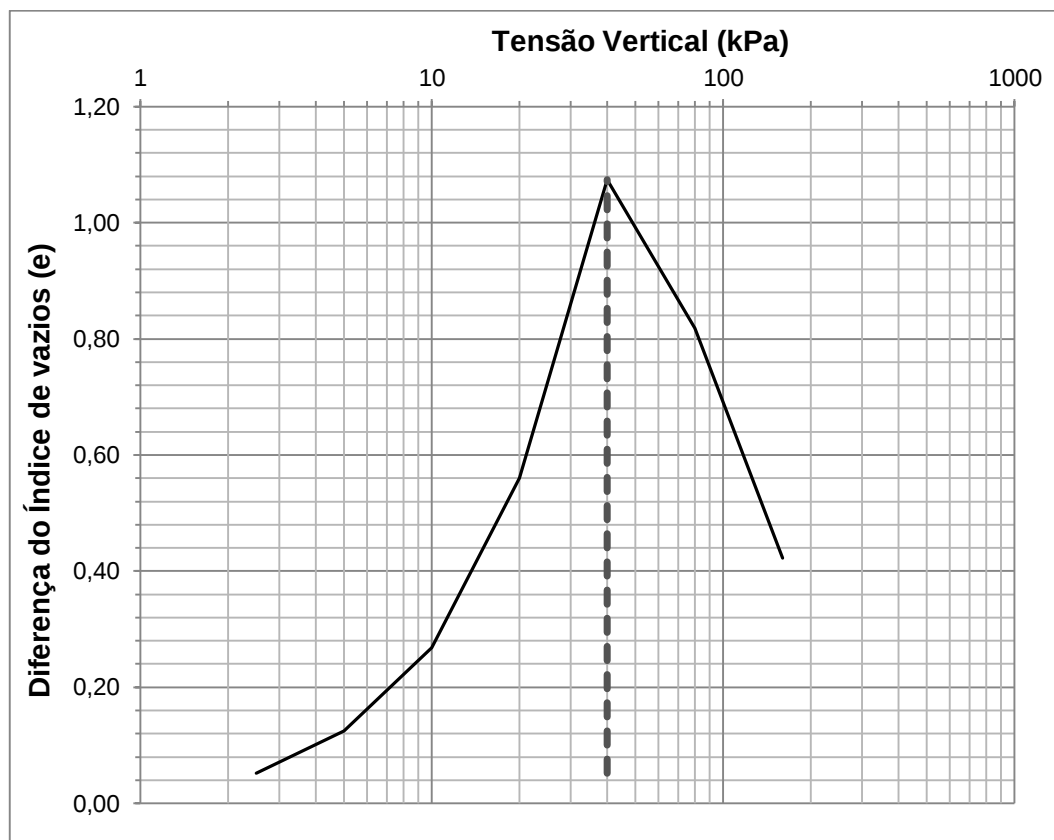
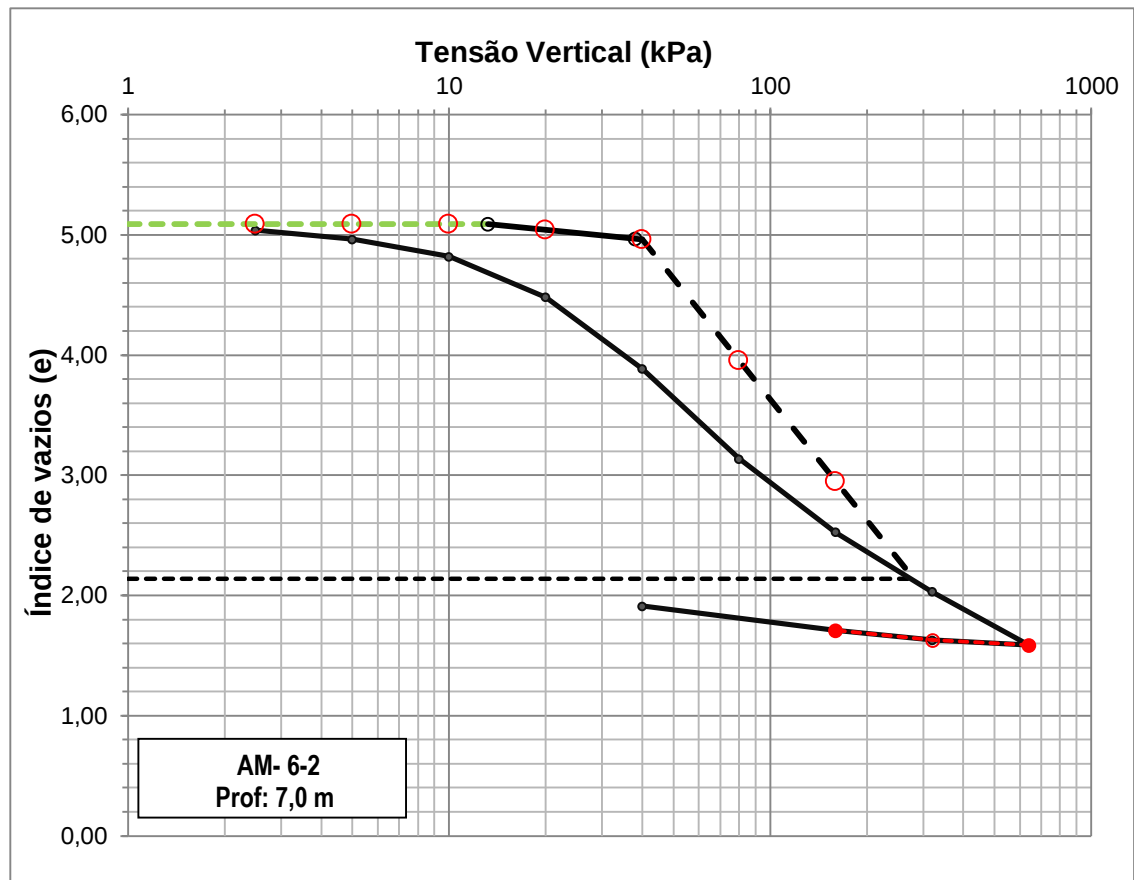
AMOSTRA AM 5- 5



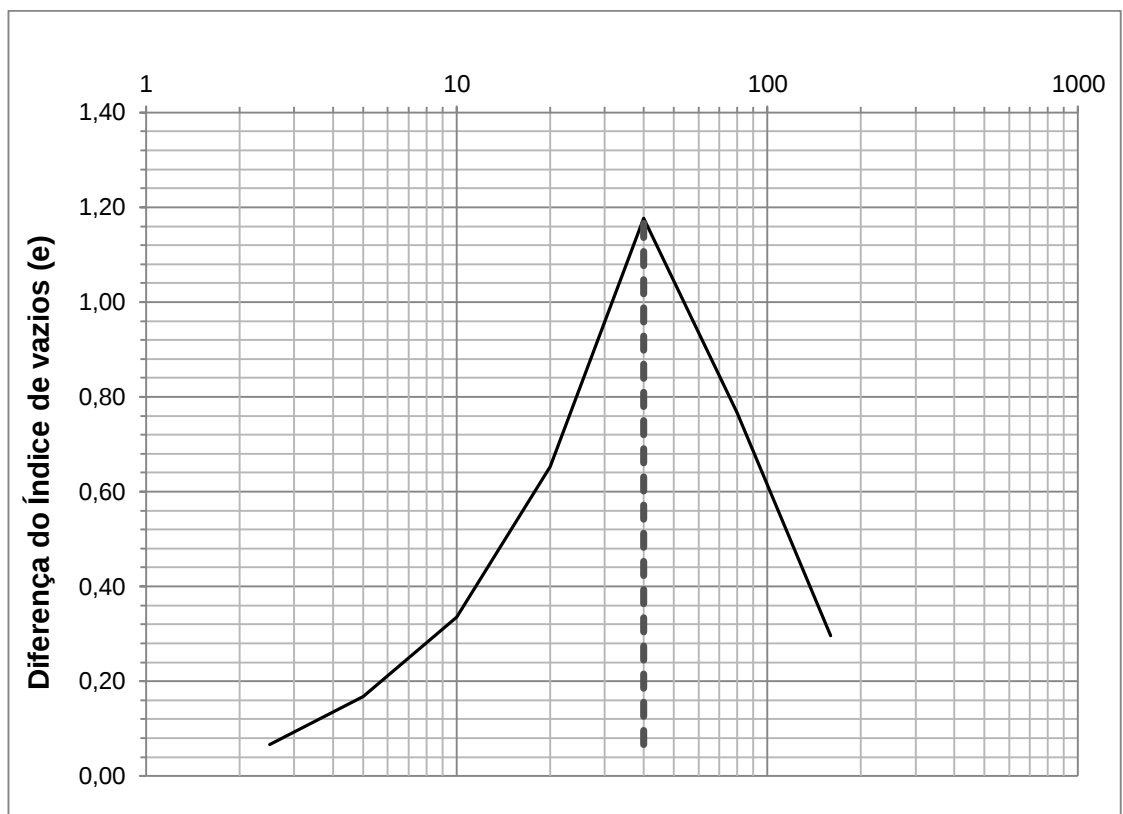
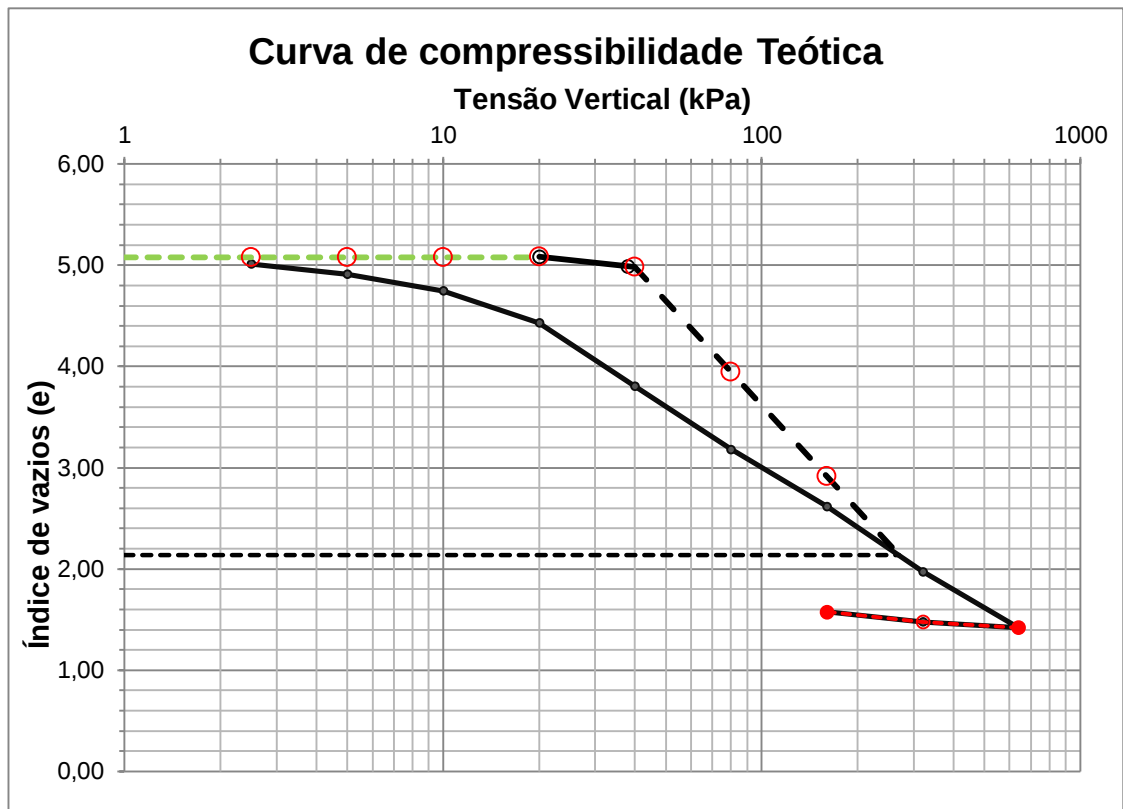
AMOSTRA AM 5-6



AMOSTRA AM 6-2

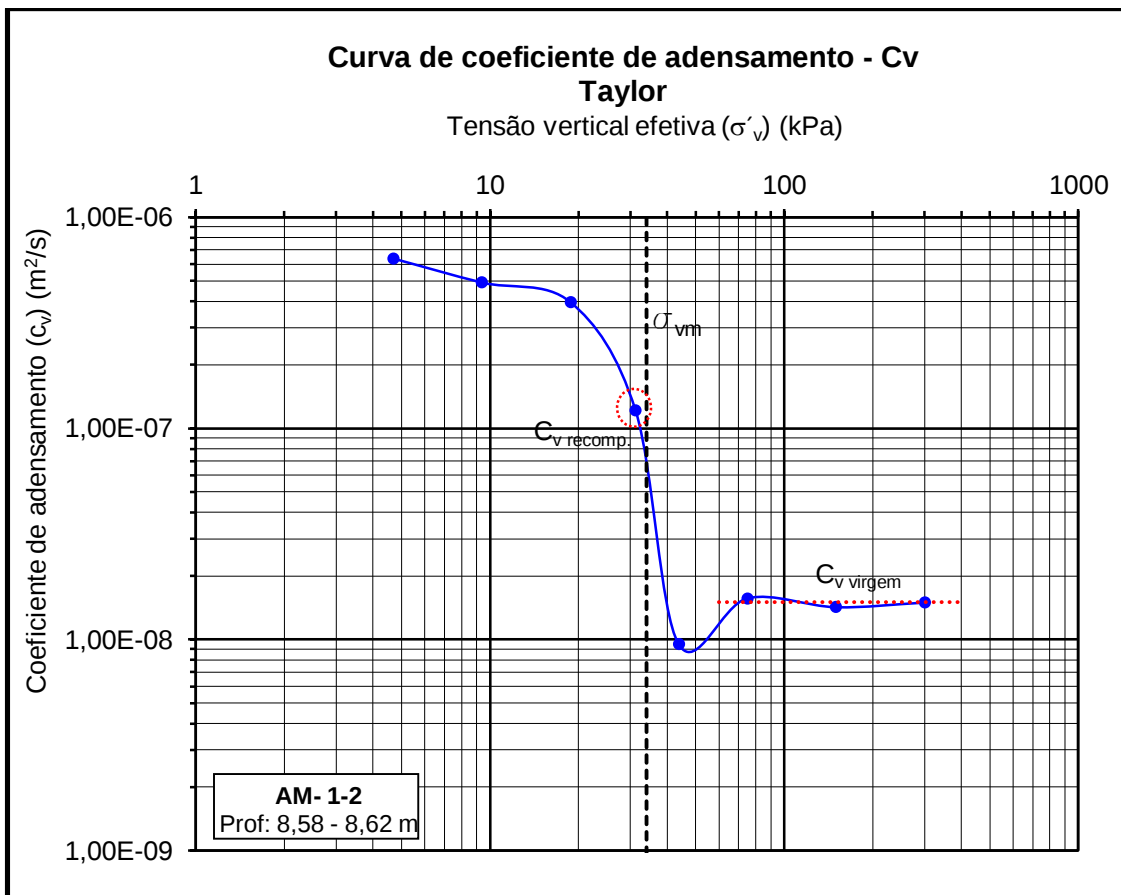
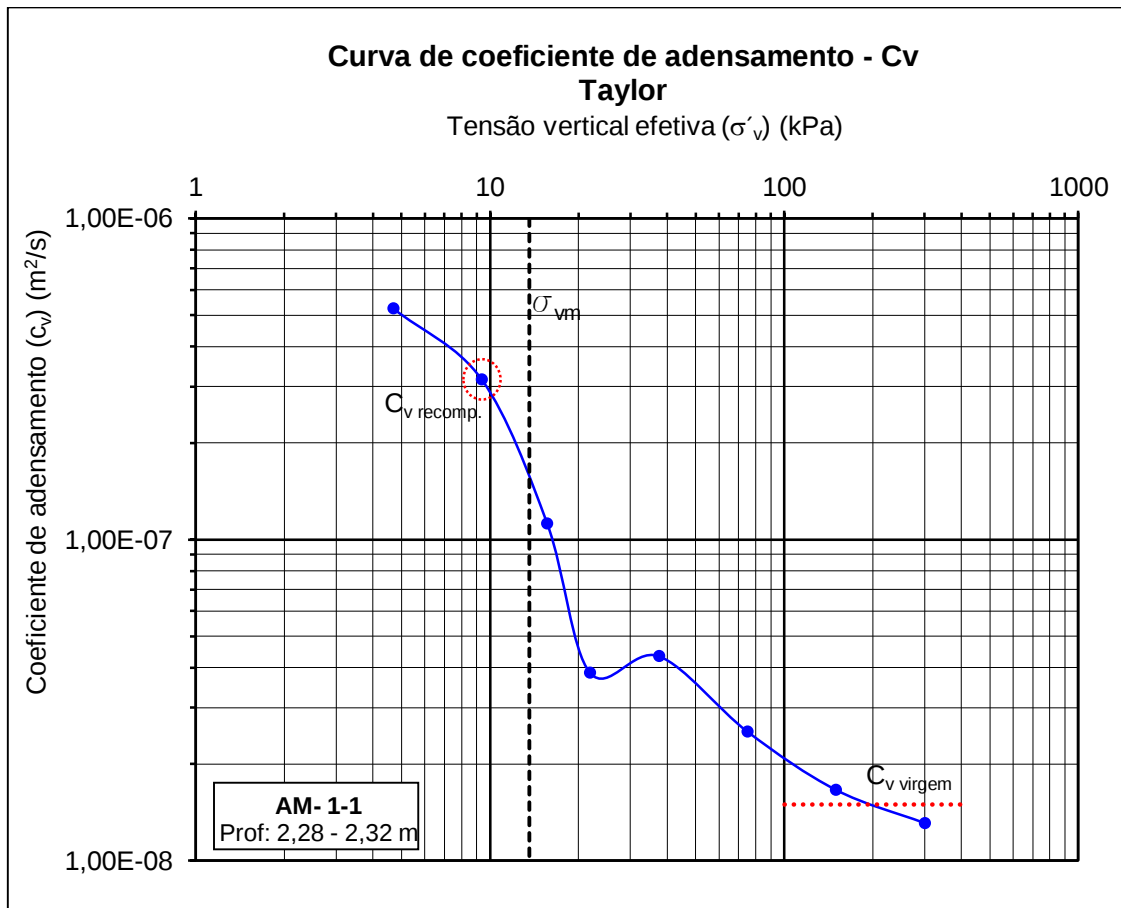


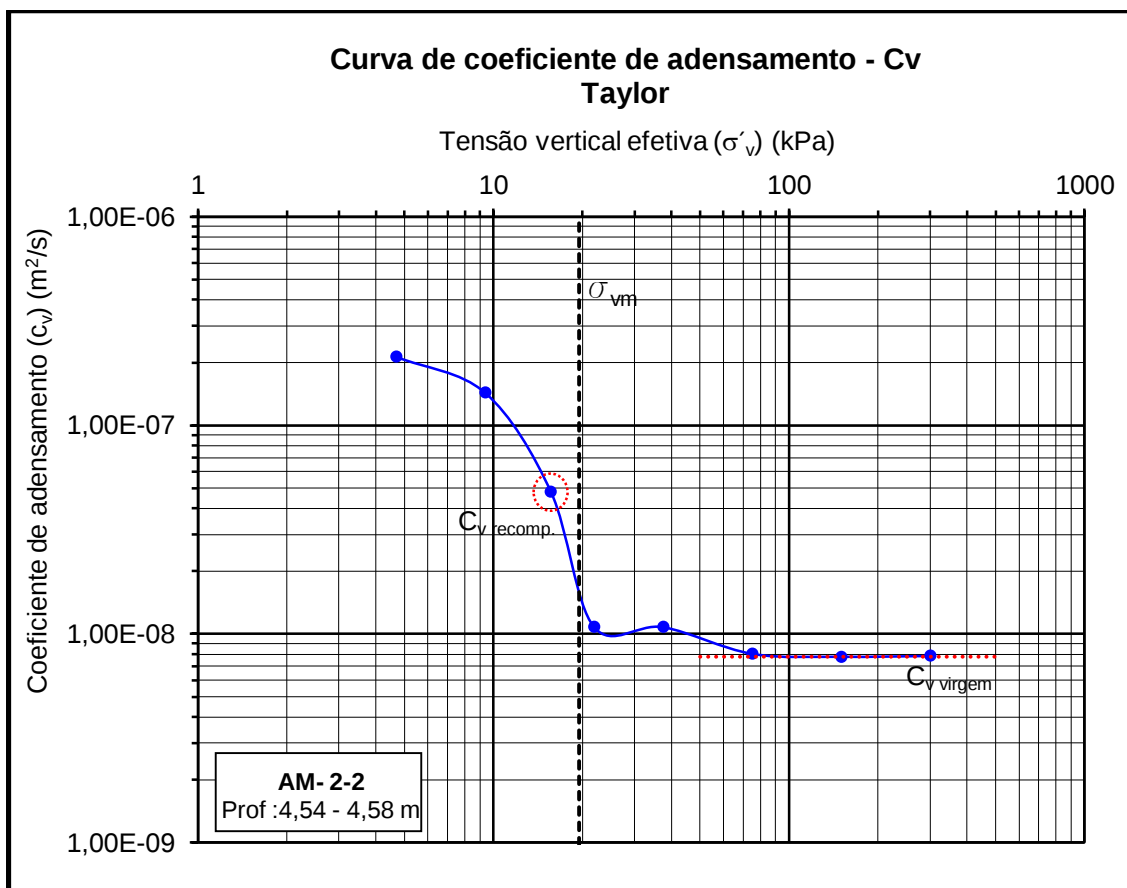
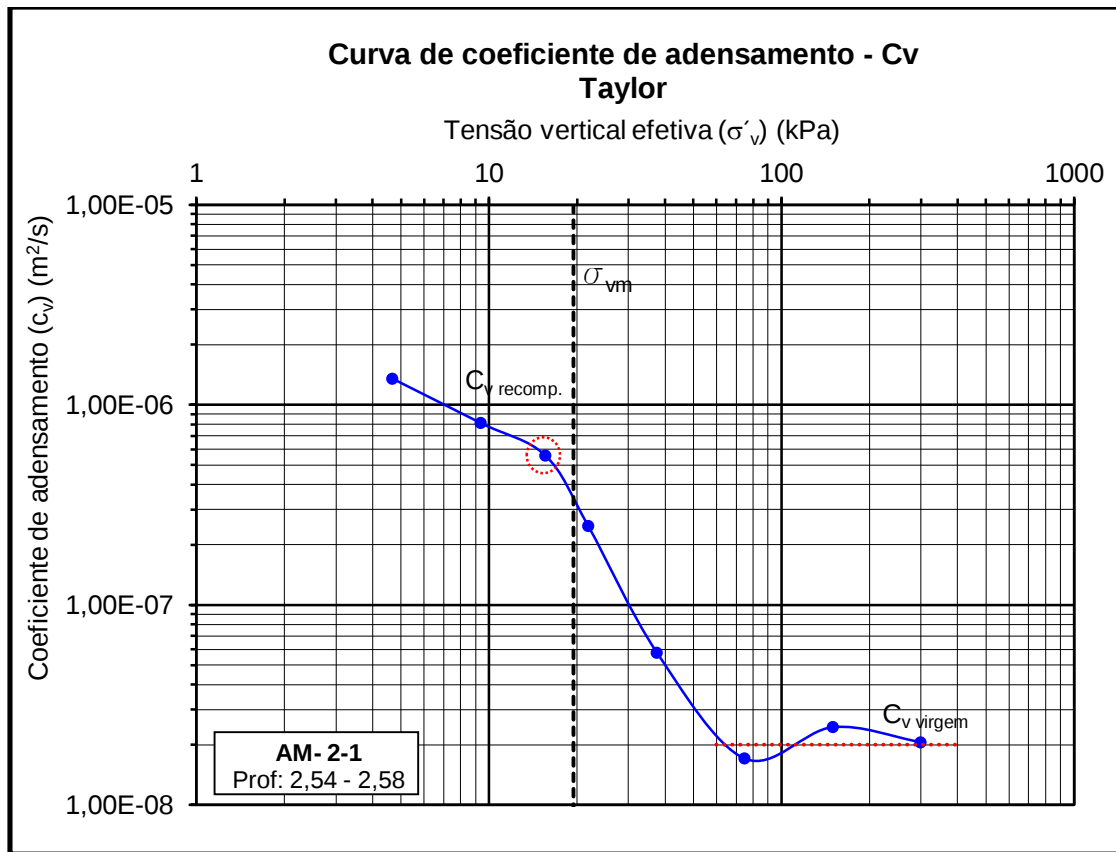
AMOSTRA AM 6-3

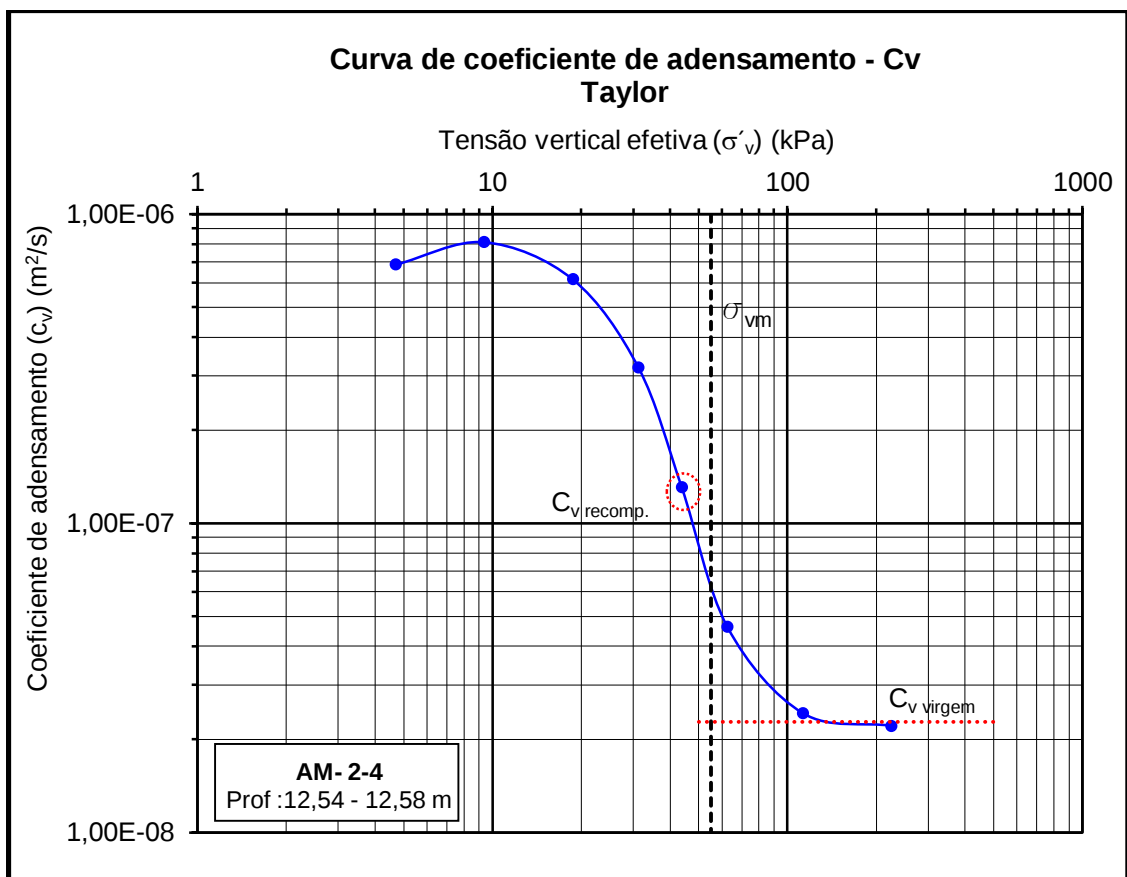
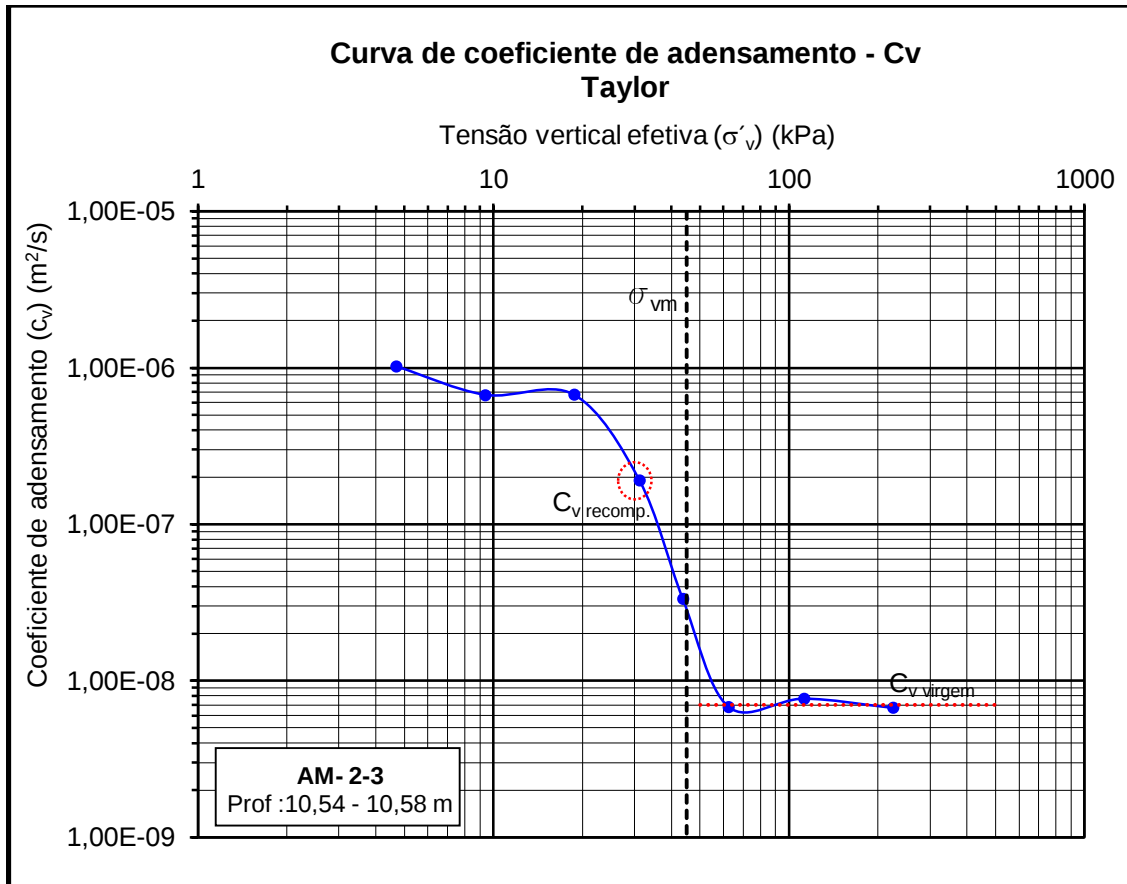


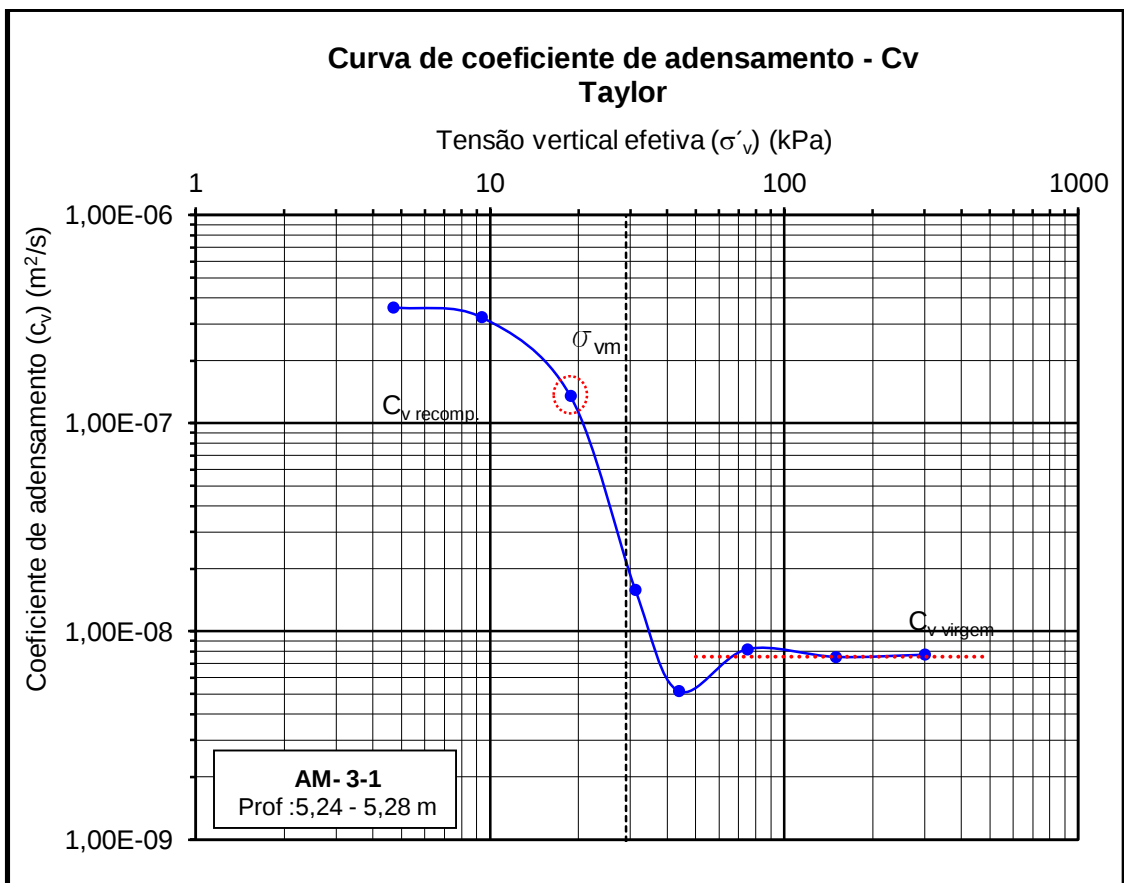
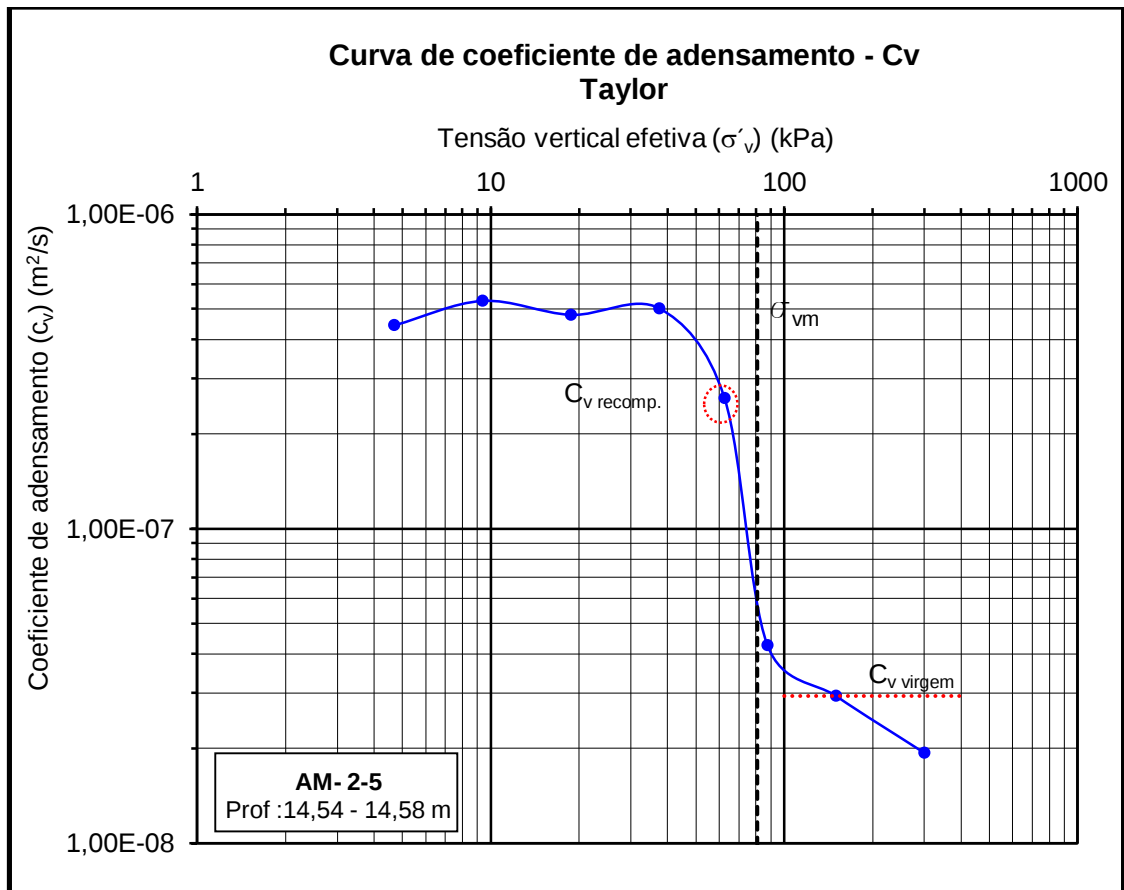
APÊNDICE 4.

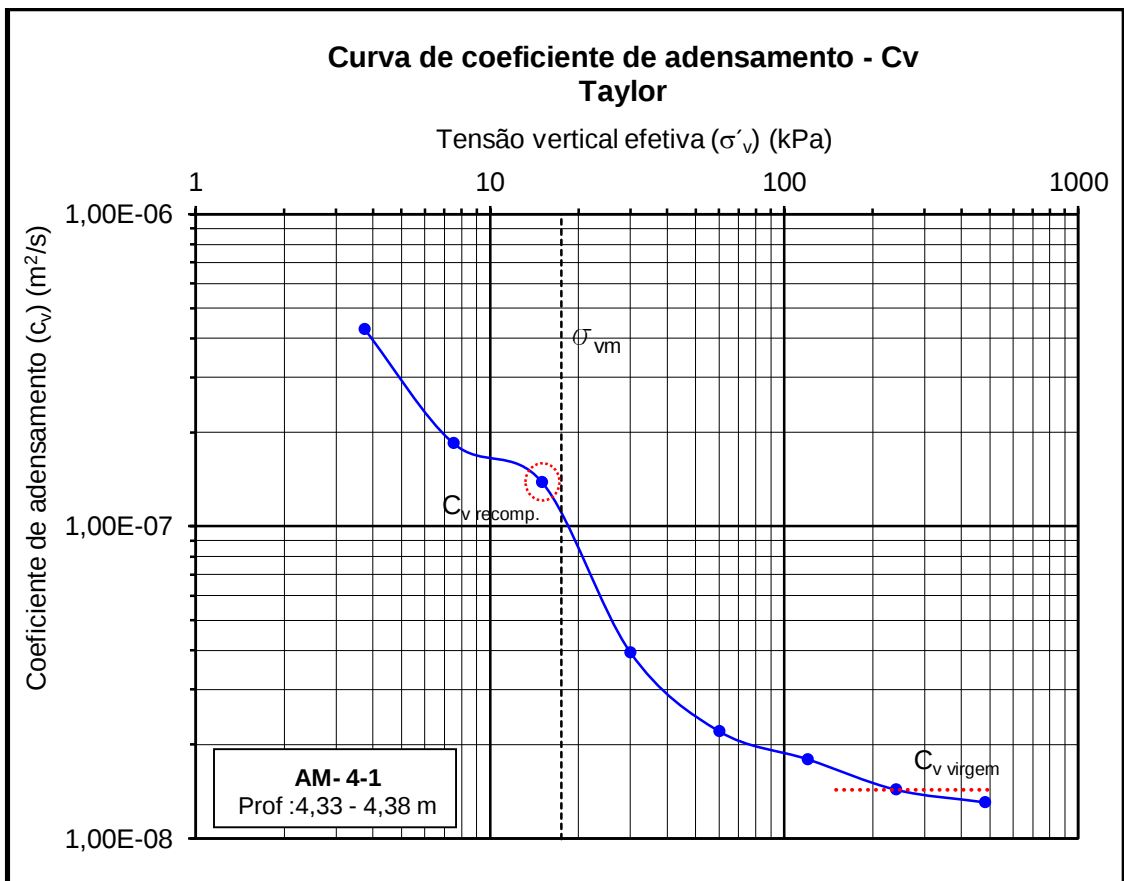
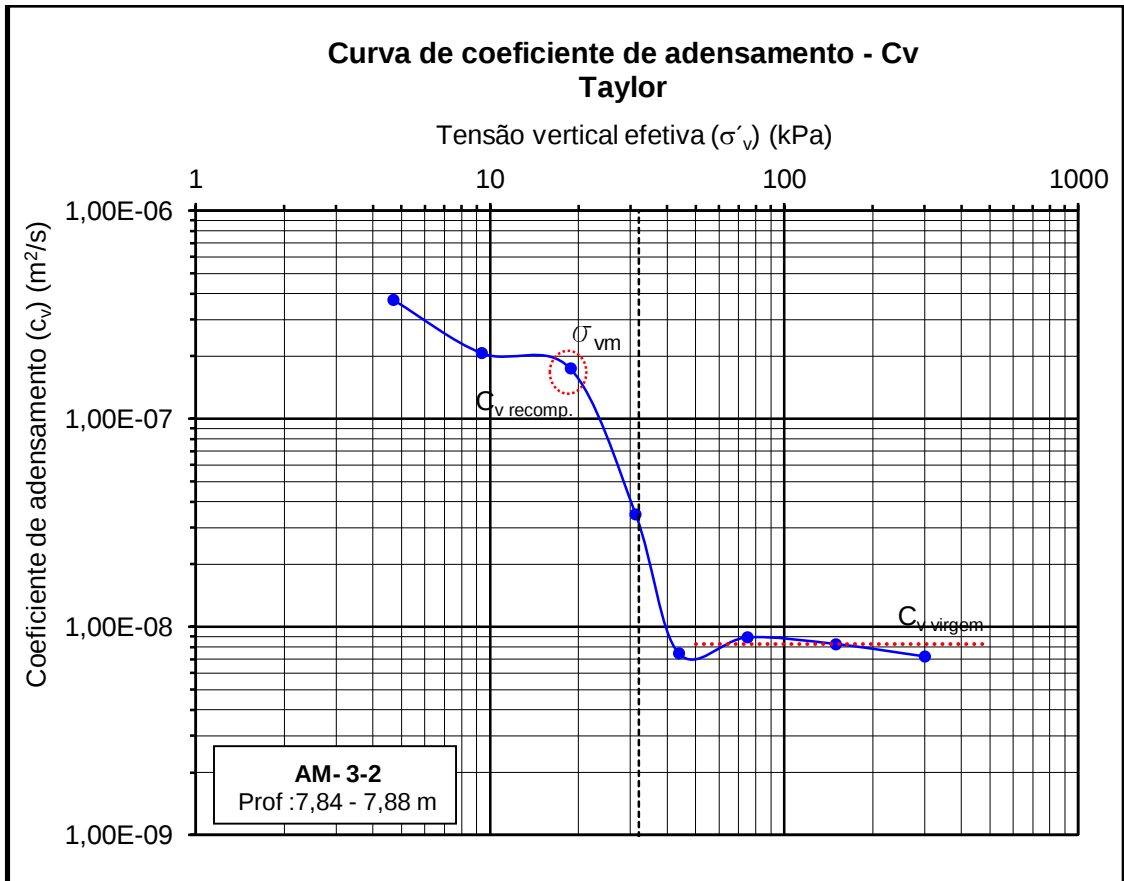
(Obtenção do coeficiente de adensamento por drenagem vertical)

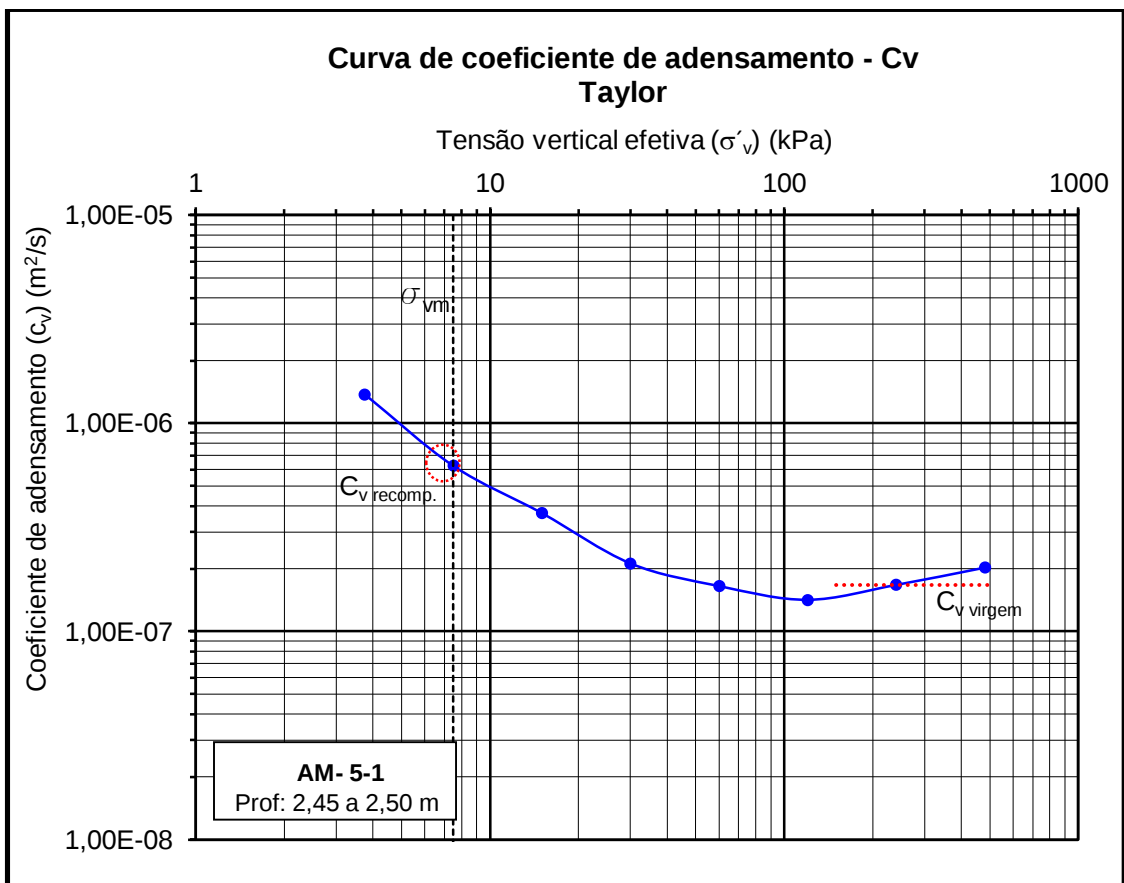
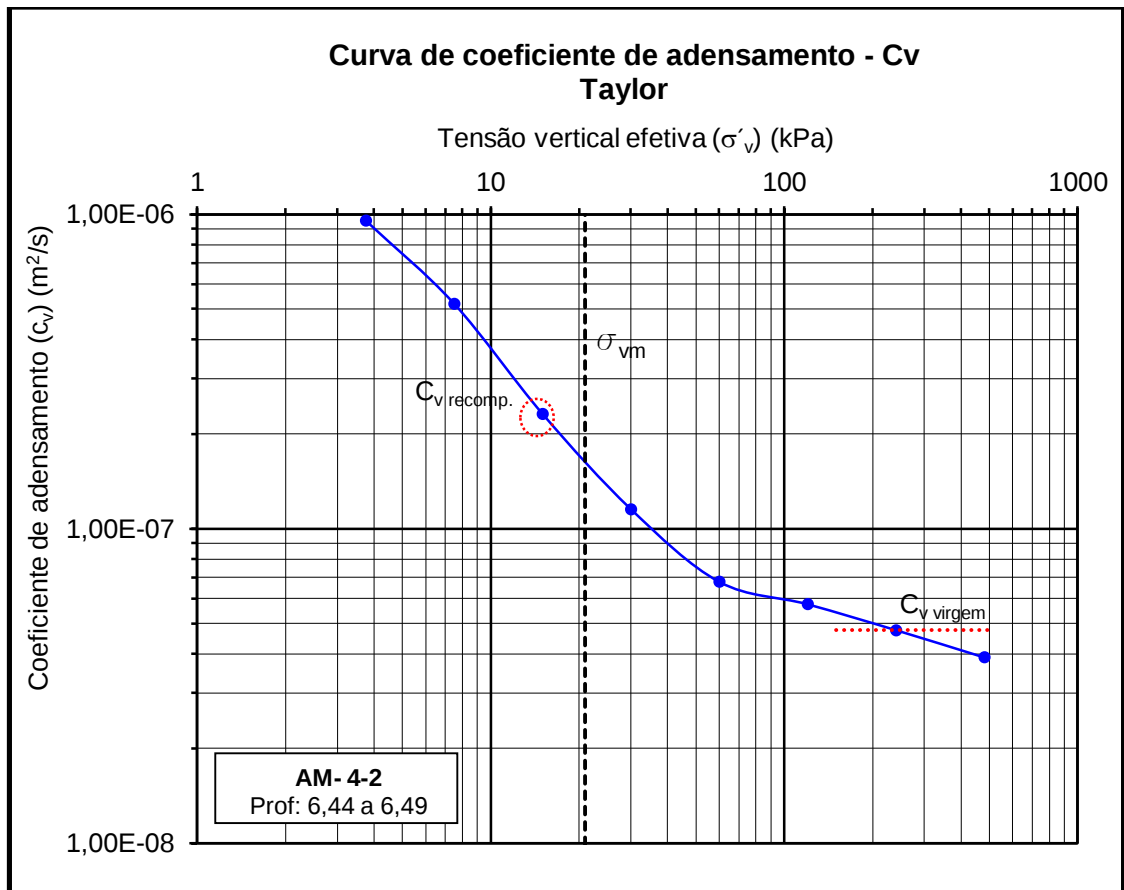


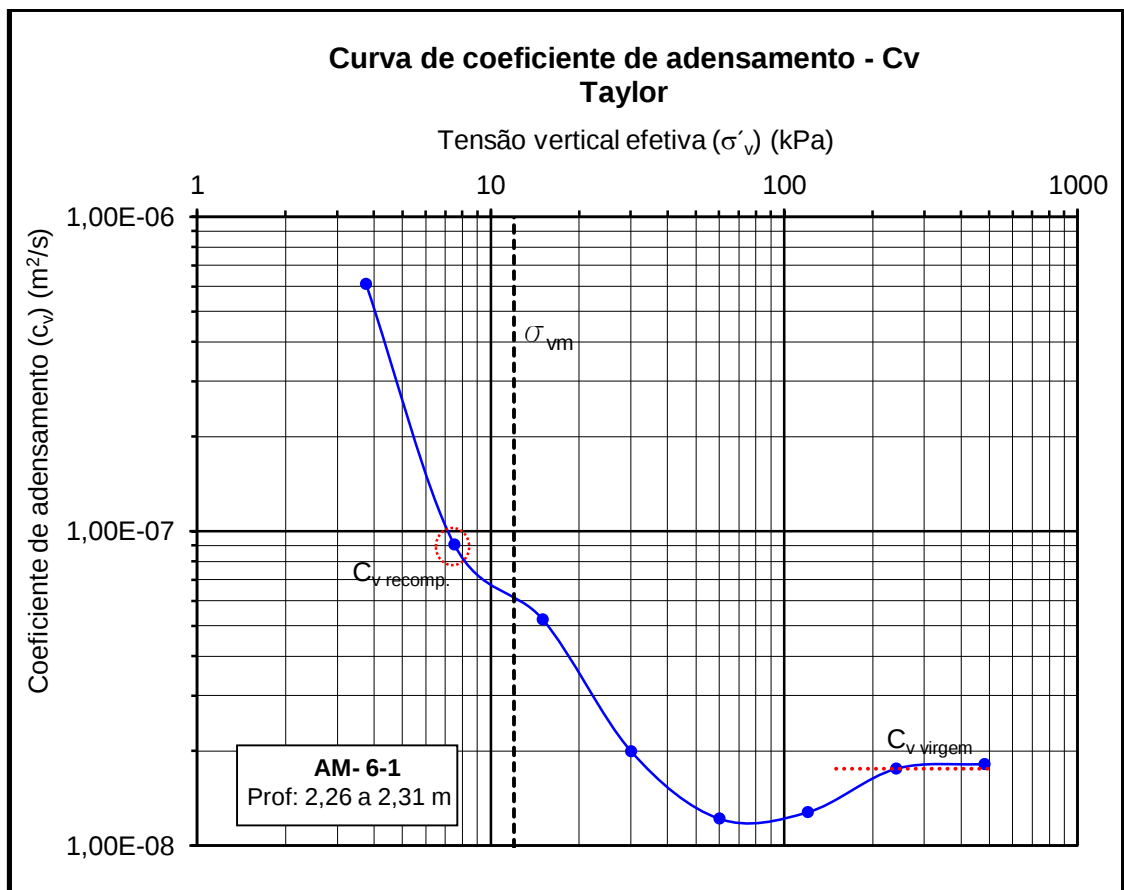
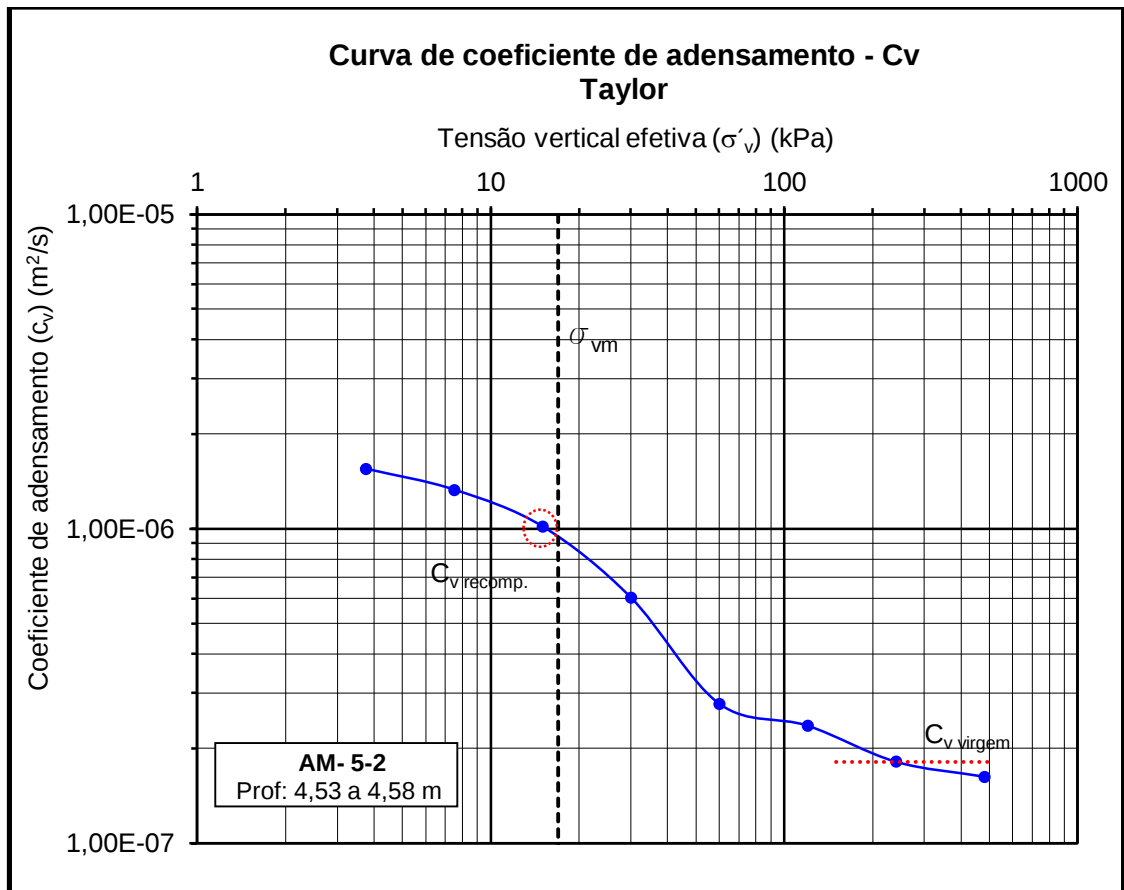


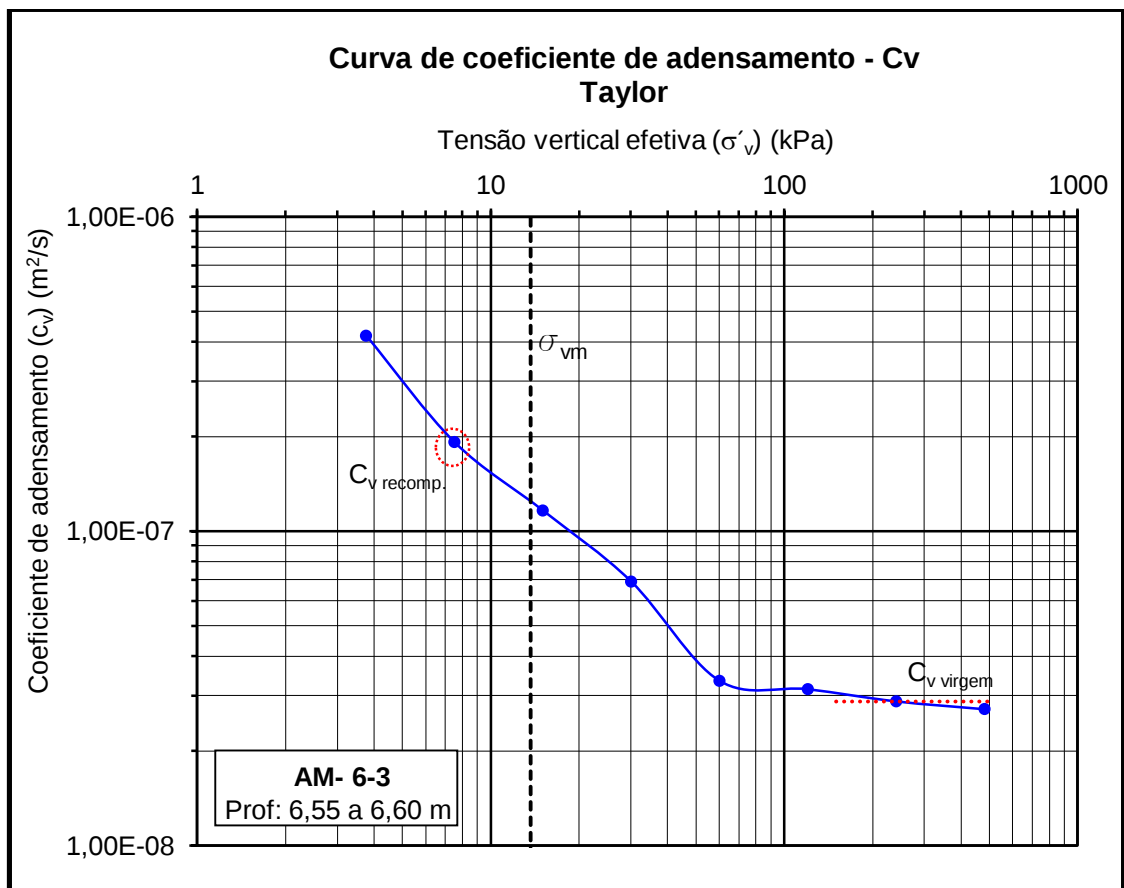
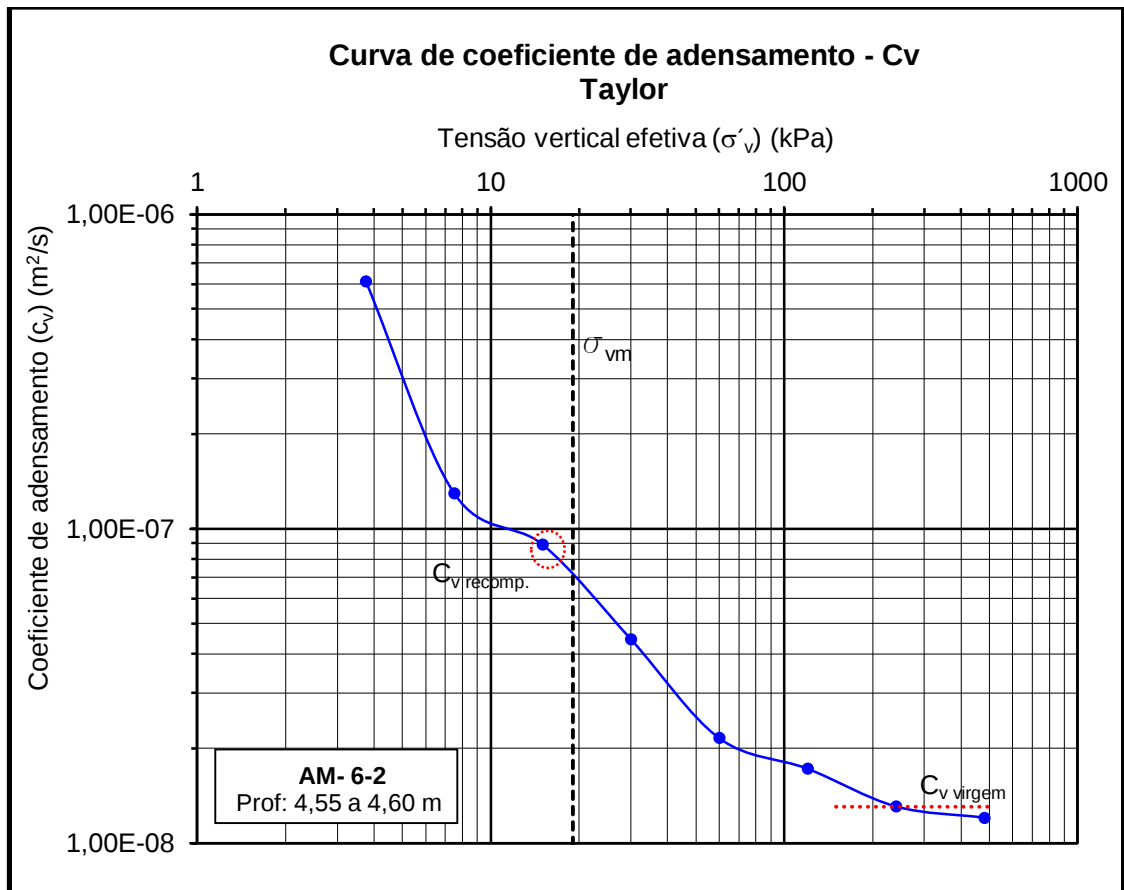












REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR 10905/1989 – “Solo – Ensaio de palheta em situ”;

ABNT NBR 12007/1990 – “Solo – Ensaio de adensamento unidimensional”;

ABNT NBR 13600/1996 – “Solo – Determinação do teor de matéria orgânica por queima a 440°C – Método de ensaio”;

ABNT NBR 6457/1986 – “Amostras de Solo – Preparação para ensaios decompactação e ensaios de caracterização – Método de ensaio”;

ABNT NBR 6459/1984 - “Solo – Determinação do Limite de Liquidez – Método de Ensaio”;

ABNT NBR 6508/1984 – “Grãos de solos que passam na peneira de 4,8mm – Determinação da massa específica”;

ABNT NBR 7180/1984 - “Solo – Determinação do Limite de Plasticidade – Método de Ensaio”;

ABNT NBR 7181/1984 – “Solo – Análise Granulométrica – Método de ensaio”.

ABNT-NBR 6484/2001 – “Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio”.

ABNT-NBR 9820/1997 – “Coleta de amostras indeformadas de solos de baixa consistência em furos de sondagem – Procedimento”

AGUIAR, V.N., 2008. “Características de adensamento da argila do canal do porto de Santos na região da ilha Barnabé.” Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

ALMEIDA, M. S. S. & MARQUES, M. E. S., 2010. Aterros Sobre Solos Moles: Projeto e Desempenho. Coleção Huesker: Engenharia com Geossintéticos. Oficina de Textos. São Paulo.

ANDRADE, M. E.S, 2009; “Contribuição ao estudo das argilas moles da cidade de Santos”. Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

BARONI, M., 2010. "Investigação Geotécnica em Argilas Orgânicas Muito Compressíveis em Depósitos da Barra da Tijuca". Dissertação de M.Sc, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

BELLO, M. I. M. C., 2004. "Estudo de Ruptura em Aterros Sobre Solos Moles - Aterro do Galpão localizado na BR-101-PE". Dissertação de M.Sc.,UFPE, Recife, PE, Brasil.

BELLO, M. I. M. C., 2011. "Parâmetros geotécnicos e banco de dados de argilas moles: O caso de SUAPE/PE". Tese de D.Sc.,UFPE, Recife, PE, Brasil.

BJERRUM, L. & SIMONS, N.E. (1960) Comparison of shear strength characteristics of normally consolidated clays. ASCE, Conference on Shear Strength of Cohesive Soils, Boulder, Colorado, p. 711-726.

BJERRUM, L. (1973) Problems of soil mechanics and construction of soft clays and structurally unstable soils. Proceedings of the 8th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Moscow, v. 2, p. 111-159.

CASAGRANDE, A (1936), The Determination of the pre-Consolidation Load and its Practical Significance, 1st International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Cambridge, Vol.3, pp. 60-64

CONSÓRCIO PROJETEC/PLANAVE/EICOMNOR, 2012. "Análise do acervo de dados geotécnicos disponíveis referentes à área de Suape", Relatório Técnico – RL-SUA-GEO-PPE-001.

CONSÓRCIO PROJETEC/PLANAVE/EICOMNOR, 2013. "Relatório de análise das investigações geotécnicas executadas na área do Cluster Naval – Vol. 01 e 02", Relatório Técnico – RL-SUA-GEO-PPE-003-2013.

COUTINHO, R. Q ; BELLO, M. I. M. C., 2008. "Caracterização Geotécnica do solo mole do acesso à Ilha de Tatuoca - Porto de Suape / PE". In: XIV Congresso Brasileiro de Mecânica de Solos e Engenharia Geotécnica, COBRAMSEG'2008, Búzios, RJ, Brasil, ABMS, 2008. v. 02. p. 265-269.

COUTINHO, R. Q, 2006, "Prospecção Geotécnica - Acesso à Ilha de Tatuoca - Suape - Ipojuca/PE. Relatório técnico.

COUTINHO, R. Q. & Bello, M. I. M. C. V. (2005). Geotecnia do Nordeste. Capítulo: Aterros sobre solos Moles, Livro ABMS – Núcleo Nordeste. Ed. Universitária – UFPE, cap. 3, pp. 111 - 153.

COUTINHO, R. Q. (2008). Investigação Geotécnica de Campo e Avanços para a Prática. In: XIV Congresso Brasileiro de Mecânica de Solos e Engenharia Geotécnica, Búzios. COBRAMSEG'2008, ABMS, v. 01. p. 201-230.

COUTINHO, R.Q., 1976. “Características de Adensamento com Drenagem Radial de uma Argila Mole da Baixada Fluminense”. Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

COUTINHO, R.Q., 1986. “Aterro experimental instrumentado levado à ruptura sobre solos orgânicos – Argilas moles da Barragem de Juturnaíba”. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

COUTINHO, R.Q., 2007. “Characterization and Engineering Properties of Recife Soft Clays – Brazil”. Tan, Phoon, Hight and Leroueil (eds) The Second International Workshop on Characterization e Engineering Properties of Natural Soils”, Singapore, p. 2049-2100.

COUTINHO, R.Q., BELLO, M. I. M. C. Geotechnical Characterization of Suape Soft Clays, Brazil – Solos & Rochas, Vol. 37, No. 3, September-December 2014: 257-276.

COUTINHO, R. Q.; OLIVEIRA, J. T. R. & OLIVEIRA, A. T. J. (1998a). "Estudo Quantitativo da Qualidade de Amostras de Argilas Moles Brasileiras - Recife e Rio de Janeiro". In: XI COBRAMSEG - Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, ABMS. Brasília, v. 02. p.927-936.

DB CAVALCANTI, 2010. Estudo Fitossociológico da Área do Estuário do Rio Tatuoca. Complexo Industrial Portuário Gov. Eraldo Gueiros – Suape. 71 p.

FERREIRA, S. R. M. & COUTINHO, R. Q. (1988). Quantificação do Efeito do Amolgamento nas Características de Compressibilidade de Argila Mole - Rio de Janeiro e Recife. In: Simp. Depósitos Quaternários das Baixadas Litorâneas Brasileiras - SIDEQUA, v. 01. p. 3.55-3.69.

FERREIRA. S. R. M., 1982. “Característica de Compressibilidade de uma argila orgânica mole do Recife”. Dissertação de M.Sc, COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

FUNDAÇÃO COPPETEC – PEC 16036, (2012), “Ensaio de solos em laboratório das amostras retiradas no local do cluster naval de Suape – Pernambuco”; Relatório Técnico.

FUNDAÇÃO COPPETEC - PEC-16287. (2012), “Realização de ensaios de palheta no complexo industrial de Suape”. Relatório Técnico.

GEGEP-UFPE (2012) – Relatório Técnico – “Cluster Naval do Porto de Suape – Resultados de ensaios de laboratório”;

Ladd, C. C., 1973, “Estimating Settlements of Structures Supported on Cohesive Soils”, Massachusetts, ASCE, Foundations and Soils Mechanics

LAMBE; WHITMAN, Soil Mechanics, Massachusetts Institute of Technology, 1969.

LOUISE. R, B, 2015. “Estimativa da curva de compressão de argilas moles a partir de amostras deformadas e ensaios de caracterização”. Dissertação de M.Sc, COPPE/UFRJ – DEC-UFPE, Recife, PE, Brasil.

LUNNE, T., BERRE, T. & STRANDVIK, S., 1997, “Sample Disturbance Effects in Soft Low Plastic Norwegian Clay”, Recent Developments in Soil and Pavement Mechanics, Almeida (ed), Balkema, Rotterdam

MARTINS, I. S. M., SANTA MARIA, P. E. L. & SANTA MARIA, F. C. M., 2006, Discussion: “Investigações de Campo e de Laboratório na Argila de Sarapuí”, Solos e Rochas, v. 29, n. 1, pp. 121-126.

MARTINS, I. S. M. E Lacera, W. A. (1994) Sobre a Relação Índices de Vazios – Tensão vertical efetiva na compressão unidimensional, Solos e Rochas, ABMS/ ABGE, Vol. 17 (3), p. 157 – 166.

MECASOLOS ENGENHARIA E CONSULTORIA (2010), Relatório técnico - “Cluster Naval – Documento 7 - Especificações técnicas para execução das sondagens a percussão ϕ 2 ½” com SPT a cada metro até o impenetrável à lavagem”

MECASOLOS ENGENHARIA E CONSULTORIA (2010), Relatório técnico - "Cluster Naval – Documento 8 - Especificações técnicas para execução dos ensaios de palheta"

MECASOLOS ENGENHARIA E CONSULTORIA (2010), "Cluster Naval – Documento 9 – Especificações técnicas para retirada de amostras indeformadas Φ 4" “.

MECASOLOS ENGENHARIA E CONSULTORIA (2010), Relatório técnico - "Cluster Naval – Documento 11 - Especificações técnicas para execução dos ensaios de laboratório”.

OLIVEIRA J, T. R., 2002. "Influência da Qualidade da Amostragem no Comportamento Tensão- Deformação-Tempo das Argilas Moles". Tese de D.Sc, COPPE/UFRJ – DEC-UFPE, Recife, PE, Brasil.

OLIVEIRA J, T. R., 2006, "Parâmetros Geotécnicos da Argila Mole do Porto de Suape-PE", In: XIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2006, COBRAMSEG'2006, Curitiba/PR, Brasil.

OLIVEIRA, J. T. R. Caracterização Geotécnica da Argila Mole do Porto de Suape-PE. Revista Fundações e Obras Geotécnicas, v. 12, p. 66-71, 2011

PACHECO Silva, F., 1970, "Uma Nova Construção Gráfica para Determinação da Pressão de Pré-Adensamento de uma Amostra de Solo", In: IV Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, v. 2, pp. 219-223, Guanabara.

PFALTZGRAFF, P. A. S,(1998). "Carta geotécnica e de suscetibilidade a processos geológicos do Município de Ipojuca/Pernambuco". Recife: CPRM/FIDEM, 1998.

PINTO C. S., 2002. Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas. Oficina de Textos, SP, Brasil. 2ª Edição.

SCHMERTMANN, J.H (1955) – The Undisturbed Consolidation Behaviour of Clay – Transactions ASCE – Vol.120: 1201 – 1227.

SCHNAID. F., & ODEBRECHT.E, 2012. Ensaios de Campo e suas aplicações à Engenharia de Fundações. Oficina de Textos, SP, Brasil. 2ª Edição.

SILVA. D, M, 2013. “Estimativa do índice de compressão de argilas moles da costa brasileira a partir de ensaio de caracterização”. Dissertação de M.Sc, COPPE/UFRJ – DEC-UFPE, Recife, PE, Brasil.

SILVA,D.M; MARTINS,I.S.M.,2014, “Discussão sobre os critérios de classificação da qualidade das amostras de algumas argilas moles brasileiras através de ensaios de adensamento edométrico”, XVII Congresso Brasileiro de Mecânica de Solos e Engenharia Geotécnica, COBRAMSEG'2014, Goiânia/GO, Brasil.

TAYLOR, D. W., 1948, Fundamentals of Soil Mechanics, Ed. John Wiley and Sons, 1ª edição, New York, USA.

TERZAGHI, K., 1936, “The Shearing Resistance of Saturated Soils and The Angle between the Planes of Shear”, In: Proceedings of 1st ICSMFE, Cambridge;

TERZAGHI, K. & PECK, R.B. (1962), “Mecânica dos Solos na Prática da Engenharia”, Ao Livro Técnico S.A., Rio de Janeiro, 1962

VICTOR, D. F., 2013. “Investigação geotécnica para avaliação da variabilidade do subsolo da área do Cluster Naval do porto de Suape /PE”. Dissertação de M.Sc., UFPE, Recife, PE, Brasil.

VICTOR, D. F.; COUTINHO,R.Q.C; FREIRE, F.C., 2015. “Investigação Geotécnica para avaliação da variabilidade do Subsolo da área do Cluster Naval do Porto de Suape/PE” In: XV Congreso Panamericano de mecânica de suelos e ingeniería geotécnica. Buenos Aires, Argentina.

VICTOR, D. F.; FREIRE, F.C; CADETE, A.N; COUTINHO,R.Q.C, 2015, “Investigação Geotécnica do Subsolo do Cluster Naval do Porto de Suape/PE. In: 15º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. Bento Gonçalves, RS, Brasil