

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA**



CARLOS EGIDIO ROSA MEDICI

**COMPORTAMENTO DA TAXA DE POROPRESSÃO ESPECÍFICA DE
SOLOS EM PROCESSO DE RUPTURA – ANÁLISE DE ENSAIOS
TRIAXIAIS NÃO DRENADOS**

Salvador
2004

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA
MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL URBANA**

CARLOS EGIDIO ROSA MEDICI

**COMPORTAMENTO DA TAXA DE POROPRESSÃO ESPECÍFICA DE
SOLOS EM PROCESSO DE RUPTURA – ANÁLISE DE ENSAIOS
TRIAXIAIS NÃO DRENADOS**

Dissertação apresentada ao Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Bastos Guimarães

Salvador
2004

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Bernadete Sinay Neves, Escola Politécnica da
Universidade Federal da Bahia

M489c Medici, Carlos Egidio Rosa
Comportamento da taxa de poropressão específica de solos em processo de
ruptura: análise de ensaios triaxiais não drenados / Carlos Egidio Rosa Medici. –
Salvador, 2004.

158 f. : il.

Orientador: Prof. Roberto Bastos Guimarães, Dr.
Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia
Ambiental Urbana, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, 2004

1. Geotecnia. 2. Mecânica do solo. 3. Solos - Análise. I. Universidade
Federal da Bahia. Escola Politécnica. II. Guimarães, Roberto Bastos. III. Título.

CDD 20.ed. 624.151 36

CARLOS EGIDIO ROSA MEDICI

**COMPORTAMENTO DA TAXA DE POROPRESSÃO ESPECÍFICA DE
SOLOS EM PROCESSO DE RUPTURA – ANÁLISE DE ENSAIOS
TRIAXIAIS NÃO DRENADOS**

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Ambiental Urbana.

Salvador, 02 de fevereiro de 2004.

Roberto Bastos Guimarães _____

Doutor em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) - Instituto Luiz Alberto Coimbra
Universidade Federal da Bahia

Paulo Gustavo Cavalcante Lins _____

Doutor em Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos - USP
Universidade Federal da Bahia

Willy Alvarenga Lacerda _____

Doutor, Universidade de Berkeley, Califórnia, EUA
Universidade Federal do Rio de Janeiro

A

Solange, minha esposa e Carlos Eduardo, meu filho, que me motivam a lutar sempre pela vida.

Capixaba, meu pai, pelo exemplo de amor e simplicidade.

D. Zezé, minha mãe, pelo amor e zelo constantes e por ter me apresentado o caminho da vida.

A Nádia, minha irmã e Mercedes Rosa, minha tia, pelo desprendimento e carinho tão importantes na minha formação.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todos que, de uma forma ou de outra, contribuíram na realização deste trabalho, cabendo citar:

Nosso professor, orientador e amigo Roberto Bastos Guimarães pelas aulas e conselhos constantes, que foram fundamentais para a conclusão desse trabalho e pelo seu entusiasmo contagiante na busca do conhecimento.

Nosso professor, colega e grande amigo Luis Aníbal de Oliveira Santos, responsável maior por termos enfrentado este desafio e por estar sempre ao nosso lado, dando importantes contribuições, ajudando-nos a corrigir rumos, provando que a força da amizade é realmente o leme da vida.

O arquiteto e professor Eduardo Teixeira de Carvalho pela sua amizade e constante incentivo, que nos foram muito valiosos e, com certeza, perdurarão por longos anos.

As amigas Dilma Maria Santos Assunção e Rita Railda Soares Lourenço colegas e companheiras nesta jornada, cujos conselhos e dicas foram de grande utilidade.

A então estagiária de Iniciação Científica, Luciene Moraes, que, com paciência, boa vontade e competência, foi de grande ajuda na iniciação dos trabalhos de laboratório, e ao também então estagiário de iniciação científica, Robson, pela grande ajuda no desenvolvimento dos ensaios.

O Laboratório de Geotecnia e todos os seus profissionais, onde destacamos a prestimosa contribuição de José Pedro Bessa, ao longo do desenvolvimento dos ensaios, do Professor e Coordenador do Laboratório, Luiz Edmundo Campos, sempre pronto a cooperar, facilitando sobremaneira as nossas atividades, bem como do Professor Paulo Burgos, sempre solícito a contribuir.

O professor Paulo Gustavo Cavalcante Lins, pela ajuda despretensiosa e importante, demonstrando o grande caminho que se lhe descortina no campo profissional.

A CONDER – Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia que, na pessoa do seu Diretor Presidente, o Engenheiro Mário de Paula Guimarães Gordilho, nos possibilitou esse empreendimento, e, através dos companheiros, colegas e amigos, contribuiu não só na minha formação profissional e humana, como na decisão de enfrentar este desafio, cabendo destacar: Sílvio Souza de Mattos, Antônio Cezar Ramos dos Santos, Maria de Fátima Cardoso, Maria Rosa Santos Vieira e Maria Luiza dos Santos Cardoso.

As Funcionárias do MEAU, Izabel Pereira e Geilza Bispo (Lio), pela presença constante ao longo do desenvolvimento dos nossos trabalhos, não só através de suas incansáveis atividades profissionais, como também nos momentos de descontração, tão importantes num trabalho desta natureza.

Enfim, agradeço a Deus pela vida e pela vontade de aprender.

Amai-vos, eis o primeiro ensinamento;
instruí-vos, eis o segundo.

E. de Verdade/A. Kardec

RESUMO

O presente trabalho propõe-se a um estudo do comportamento da Taxa de Poropressão Específica nas proximidades da região de plastificação, sob velocidade de deformação constante, em solos pré-adensados e normalmente adensados, ao longo de um processo de cisalhamento em laboratório, com o intuito de melhor conhecer esse novo parâmetro, que poderá dar suporte a novas linhas de pesquisas que venham a contribuir com a teoria de ruptura de solos. Para tanto, coletaram-se amostras de solo argiloso submerso e realizaram-se ensaios triaxiais tipo CIU, com medida de pressão neutra, dos quais se analisaram os resultados de dois ensaios normalmente adensados e três sobreadensados. Os ensaios sobreadensados tiveram os correspondentes corpos de prova rompidos com diferentes valores de OCR, a fim de se analisar, também, a sua influência sobre o comportamento da Taxa de Poropressão Específica. Após as análises dos resultados, observou-se que a Taxa de Poropressão Específica, quando do início do carregamento axial, apresenta um valor diferente de zero e logo em seguida busca um equilíbrio em torno de uma taxa de valor constante, próximo ou igual à zero. A curva de desenvolvimento da Taxa de Poropressão Específica ao longo da deformação axial específica permite definir o ponto de escoamento do mesmo quando esse ponto não pode ser definido pelo comportamento da tensão desviatória ao longo da deformação axial específica. Enfim, foram analisadas duas regiões: a de ruptura e a de plastificação. Na primeira nada se encontrou de relevante, e, na segunda, conseguiu-se determinar, claramente, o ponto de plastificação. O presente trabalho sugere um aprofundamento dessas análises, buscando uma formulação matemática capaz de uma definição precisa dos valores correspondentes à zona de plastificação.

PALAVRAS-CHAVE: Poropressão; Pressão neutra; Ensaio triaxial; Ruptura de solos; Plastificação; Fluência

ABSTRACT

The current work proposes a behavioral study of the Specific Pore Pressure Rate (SPR) in the proximity of the yield region, under controlled strain conditions, in normally consolidated and over consolidated samples of soil in laboratory, aiming at a better understanding of this new parameter, which may provide support to new research patterns to contribute further to the soil rupture theory. To this effect, soil samples from submerged clay were collected and Consolidated Isotropic Undrained (CIU) triaxial test assays were conducted, with measurements of pore water pressure, after which the results of two normally consolidated test assays and three over consolidated assays were analyzed. The over consolidated sample had the respective test controls ruptured with different Over Consolidation Ratio (OCR) values, so as to analyze, also, their influence on the behavior of Specific Pore Pressure Rate. According to the results analysis, the Specific Pore Pressure Rate took on a value different from zero, at the beginning of the axial loading, and immediately after sought a constant rate equilibrium, near or equal to zero. The evolution curve of the Specific Pore Pressure Rate along the specific axial distortion allows the definition of the yielding point when this point cannot be defined by the behavior of deviator stress along the specific axial distortion. Lastly, two regions were analyzed, the rupture region and the yield region. In the former, nothing relevant was found, and in the latter, one was able to determine, clearly, the yield point. The current study strongly urges a deeper investigation into these analyses, seeking to formulate a mathematical model able to accurately define precise values corresponding to the yield surface.

Key Words: Pore Pressure; Neutral pressure; Triaxial test; Soil rupture; Yield; Creep

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Fluência: tempo de ruptura x deformação.	23
Figura 1.2	Representação gráfica da variação instantânea da pressão neutra cuja razão em relação à pressão neutra do momento nos dá a taxa de poropressão específica no tempo correspondente.	33
Figura 1.3	Tensão desviatória ao longo das deformações específicas em ensaios tipo carga controlada onde A, B, C, D e E são diferentes patamares de carregamentos - Fonte: Guimarães (2000).	34
Figura 1.4	Comportamento das taxas de deformação axial e poropressão específicas. D, E e F são diferentes patamares de carregamento - Fonte: Guimarães (2000).	34
Figura 1.5	Apresenta o paralelismo entre a taxa da poropressão específica e a taxa da deformação específica quando confrontadas com a deformação específica - Fonte: Guimarães 2000	35
Figura 1.6	Resultados gráficos dos comportamentos padrões das taxas de poropressão específica (b') e (e') obtidos das figuras (b) e (e) utilizando-se a equação proposta por Guimarães (2000).	37
Figura 2.1	Ilustração da célula de ensaios triaxiais e detalhe do funcionamento do transdutor de leitura da pressão neutra.	43
Figura 2.2	Desenho esquemático apresentando a composição do “free end”	45
Figura 4.1	Resultados dos ensaios edométricos CPE-01 e CPE-02 com a determinação da tensão de pré-adensamento virtual pelo método de Pacheco Silva (1970)	50
Figura 4.2	Ilustração da correção do trecho de acomodação, pela correção da deformação axial, sendo (a) dados originais, (b) tratamento para a correção de dados e (c) correção efetuada.	52
Figura 4.3	Resultados gráficos correspondentes aos ensaios normalmente adensados LM-02 e CP-03 e sobreadensados CP-02 e CPB-03 com destaque para o trecho inicial dos mesmos onde se observa o trecho de acomodação.	54
Figura 4.4	Resultado gráfico correspondente ao ensaio complementar CP-04 com destaque para o trecho inicial do mesmo onde se observa a inexistência do trecho de acomodação	55
Figura 4.5	Resultados das tensões desviatória e trajetórias de tensões dos ensaios realizados	57

Figura 4.6	Exemplo dos comportamentos dos ensaios normalmente adensados (representado pelo LM-02) e sobreadensados (representado pelo CP-02) durante o estágio de cisalhamento.	58
Figura 4.7	Resultado gráfico da TPE correspondente ao ensaio triaxial com o LM-02 onde se observa uma tendência em buscar um equilíbrio do seu desenvolvimento, em torno de uma taxa fixa, próxima de zero.	60
Figura 4.8	Resultado gráfico da TPE correspondente ao ensaio triaxial com o CP-03, onde se observa a tendência em buscar um equilíbrio do seu desenvolvimento, em torno de uma taxa fixa, próxima de zero.	60
Figura 4.9	Resultado gráfico da TPE referente ao ensaio triaxial com o LM-02, mostrando que a oscilação da TPE, após o primeiro ponto de leitura, alcança o equilíbrio em torno da taxa fixa após 9,5481% de deformação axial.	61
Figura 4.10	Resultado gráfico correspondente ao ensaio triaxial com o CP_03, mostrando que a oscilação da TPE, após o primeiro ponto de leitura, alcança o equilíbrio em torno da taxa fixa, após 5,6646% de deformação axial.	62
Figura 4.11	Resultado gráfico, correspondente ao ensaio triaxial com o LM 02, onde se observa a tendência da TPE em “ Δu ” em buscar um equilíbrio do seu desenvolvimento, em torno de uma taxa fixa, próxima de zero.	63
Figura 4.12	Resultado gráfico, correspondente ao ensaio triaxial com o CP- 03, onde se observa a tendência da TPE em “ Δu ” em buscar um equilíbrio do seu desenvolvimento, em torno de uma taxa fixa, próxima de zero.	63
Figura 4.13	Resultado gráfico da TPE em “ Δu ” correspondente ao ensaio triaxial com o LM-02, mostrando que, após o primeiro ponto de leitura, a sua oscilação alcança o equilíbrio, em torno de uma taxa fixa, aproximadamente após 8,6946% de deformação axial.	64
Figura 4.14	Resultado gráfico da TPE em “ Δu ” correspondente ao ensaio triaxial com o CP-03, mostrando que, após o primeiro ponto de leitura, a sua oscilação alcança o equilíbrio, em torno de uma taxa fixa, aproximadamente após 5,1698% de deformação axial.	64
Figura 4.15	Resultado gráfico da TPE correspondente ao ensaio triaxial com o CP-02 onde se observa sua tendência em buscar um equilíbrio do seu desenvolvimento, em torno de uma taxa fixa, próxima de zero.	65
Figura 4.16	Resultado gráfico da TPE correspondente ao ensaio triaxial CPB-03 onde se observa sua tendência por buscar um equilíbrio do seu desenvolvimento, em torno de uma taxa fixa, próxima de zero.	66

- Figura 4.17 Resultado gráfico da TPE correspondente ao ensaio triaxial com o CP-04 onde se observa sua tendência por buscar um equilíbrio do seu desenvolvimento, em torno de uma taxa fixa, próxima de zero. 66
- Figura 4.18 Resultado gráfico da TPE correspondente ao ensaio triaxial com o CP-02, mostrando que, após o primeiro ponto de leitura, a sua oscilação alcança o equilíbrio em torno de uma taxa fixa aproximadamente após 1,6068% de deformação axial. 67
- Figura 4.19 Resultado gráfico da TPE, correspondente ao ensaio triaxial com o CPB_03, mostrando que, após o primeiro ponto de leitura, a sua oscilação alcança o equilíbrio, em torno de uma taxa fixa, aproximadamente após 1,1756% de deformação axial. 67
- Figura 4.20 Resultado gráfico da TPE, correspondente ao ensaio triaxial com o CP-04, mostrando que, após o primeiro ponto de leitura, a sua oscilação alcança o equilíbrio, em torno de uma taxa fixa, aproximadamente após 1,2552% de deformação axial. 68
- Figura 4.21 Resultado gráfico da TPE correspondente ao ensaio triaxial com o CP-02, onde se observa que após o primeiro ponto de leitura, seu desenvolvimento apresenta uma busca do equilíbrio em torno de uma taxa fixa até acontecer nova alteração. 69
- Figura 4.22 Resultado gráfico da TPE em “ Δu ” correspondente ao ensaio triaxial com o CPB-03, onde se observa alterações, no seu desenvolvimento, nos sentidos positivo e negativo do gráfico logo após o início do carregamento e, em seguida, busca o equilíbrio em torno de uma taxa fixa até acontecer nova alteração. 69
- Figura 4.23 Resultado gráfico da TPE em “ Δu ” correspondente ao ensaio triaxial com o CP-04, que, imediatamente após o primeiro ponto de leitura o seu desenvolvimento busca um equilíbrio em torno de uma taxa fixa próxima de zero. 70
- Figura 4.24 Resultados gráficos das TPE’s em “ Δu ” correspondentes aos ensaios triaxiais com o CP-02, CPB_03 e CP-04, mostrando que após o ponto de inicial, alcança o equilíbrio em torno de uma taxa fixa aproximadamente após 1,0712%, 0,9623% e 1,4477% de deformação axial respectivamente. 71

Figura 4.25	Resultados gráficos das pressões neutras correspondentes aos ensaios triaxiais com o LM-02, CP-03, CP-02, CPB-03 e CP-04 onde se observa na ampliação do CPB-03 o início do desenvolvimento de “ Δu ” negativo e, portanto, diferenciado dos demais.	72
Figura 4.26	Resultados gráficos correspondentes ao ensaio triaxial com o CP-02 comparando os desenvolvimentos da TPE em “ Δu ” e do excesso de pressão neutra.	74
Figura 4.27	Resultados gráficos correspondentes ao ensaio triaxial com o CPB-03, comparando os desenvolvimentos da TPE em “ Δu ” e do excesso de pressão neutra.	74
Figura 4.28	Resultados gráficos correspondentes ao ensaio triaxial com o LM-02 apresentando, de forma comparativa, os desenvolvimentos da tensão desviatória, da TPE e da TPE em “ Δu ”.	76
Figura 4.29	Resultados gráficos correspondentes ao ensaio triaxial com o LM-02 apresentando, de forma comparativa, os desenvolvimentos de σ'_1/σ'_3 , da TPE e da TPE em “ Δu ”.	77
Figura 4.30	Resultados gráficos correspondentes ao ensaio triaxial com o CP-03 apresentando, de forma comparativa, os desenvolvimentos da tensão desviatória, de σ'_1/σ'_3 , da TPE e da TPE em “ Δu ”.	78
Figura 4.31	Resultados gráficos correspondentes ao ensaio triaxial com o CP-02 apresentando, de forma comparativa, os desenvolvimentos da tensão desviatória, da TPE e da TPE em “ Δu ”.	79
Figura 4.32	Resultados gráficos correspondentes ao ensaio triaxial com o CP-02, apresentando, de forma comparativa, os desenvolvimentos de σ'_1/σ'_3 , da TPE e da TPE em “ Δu ”.	80
Figura 4.33	Resultados gráficos correspondentes ao ensaio triaxial com o CPB-03, apresentando, de forma comparativa, os desenvolvimentos da tensão desviatória, da TPE e da TPE em “ Δu ”.	81
Figura 4.34	Resultados gráficos correspondentes ao ensaio triaxial com o CPB-03 apresentando, de forma comparativa, os desenvolvimentos de do σ'_1/σ'_3 , da TPE e da TPE em “ Δu ”.	82

Figura 4.35	Resultados gráficos correspondentes ao ensaio triaxial com o CP-04 apresentando, de forma comparativa, os desenvolvimentos de σ'_1/σ'_3 , da TPE e da TPE em “ Δu ”.	83
Figura 4.36	Gráficos defasados, com a linha que liga os pontos, correspondentes aos ensaios triaxiais com o LM-02, e com o CP-02, onde podemos confirmar, nas ampliações constantes das Figuras (b) e (d) a busca por um taxa de equilíbrio.	86
Figura 4.37	Gráfico da “TPE x Tempo” referente ao ensaio triaxial com o LM-02, onde se dividiu o seu desenvolvimento em três trechos (T-1, T-2 e T-3).	89
Figura 4.38	Gráficos defasados correspondentes aos três trechos (T-1, T-2 e T-3) selecionados no gráfico “TPE x ϵ_1 ” do ensaio triaxial com o LM-2.	89
Figura 4.39	Ampliação do gráfico da Fig. 4.38 (c) mostrando pontos sobrepostos evidenciando uma equidistância tridimensional por flutuação do sistema.	90
Figura 4.40	Representação gráfica dos desenvolvimentos da TPE e da tensão desviatória, em relação à deformação axial, onde se destacam as regiões, de ambos, com curva de concavidade mais acentuada.	91
Figura 4.41	Gráfico σ_d x ϵ_1 comparativo entre os ensaios LM-02 (normalmente adensado) e CP-02 (sobreadensado)	95
Figura 4.42	Gráficos TPE x Tempo referentes aos ensaios LM-02 (normalmente adensado) e CP-02 (sobreadensado), mostrando a tendência de cada um na busca do equilíbrio em torno de uma taxa fixa.	95
Figura 4.43	Representações gráficas correspondentes aos ensaios triaxiais com o LM-02 e com o CP-02 apresentando os desenvolvimentos das pressões neutras que lhes correspondem. Para melhor visualização dos trechos com taxa de desenvolvimento constante utilizaram-se paralelas tracejadas.	96
Figura 4.44	Gráficos TPE x Tempo, onde se observam padrões de comportamento repetidos em que a oscilação da TPE é nula.	97
Figura 4.45	Determinação do ponto de escoamento pelo método da Taxa de Poropressão Específica.	98
Figura 4.46	Localização do ponto de escoamento no desenvolvimento da tensão desviatória versus deformação axial.	99

Figura 4.47	Processo usual de determinação do ponto de escoamento, utilizando-se o ensaio com o CP-04.	99
Figura 4.48	Determinação do ponto de escoamento pelo método da Taxa de Poropressão Específica utilizando-se o ensaio com o CP-04.	100
Figura 4.49	Resultados gráficos obtidos de Head (1983) (vide “Revisão Bibliográfica” subitem 1.2.4 (c)) onde se destaca a região que contém o ponto de escoamento e, observa-se, que esta se localiza em trecho inicial do desenvolvimento da tensão desviatória, inferior, portanto, a 1/3 do mesmo.	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1	Relação dos ensaios triaxiais e suas características principais	53
Tabela 4.2	Ensaio triaxiais e os pontos iniciais das TPE's e TPE's em " Δu " que lhes correspondem.	59
Tabela 4.3	Resumo das deformações que ocorrem desde o início do carregamento axial e o momento em que os ensaios atingem o equilíbrio em torno da taxa zero.	94

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1	Resumo dos resultados dos ensaios triaxiais	49
------------	---	----

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

	INTRODUÇÃO	18
1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
1.1	ABORDAGENS INICIAIS	21
1.2	PARÂMETROS PROPOSTOS E UTILIZADOS NOS MODELOS DE DETERMINAÇÃO DA ESTABILIDADE DE MACIÇOS DE TERRA	22
1.2.1	<i>Deformação de taludes</i>	22
1.2.2	<i>Modelo reológico como parâmetro</i>	27
1.2.3	<i>Introduzindo considerações sobre estruturas caóticas em deslizamento de taludes</i>	28
1.2.4	<i>Poropressão específica como proposta de novo parâmetro para previsão de ruptura</i>	30
	<i>a) Poropressão e estado de tensões</i>	30
	<i>b) Proposta de um novo parâmetro de poropressão</i>	32
	<i>c) Comportamento padrão da taxa de poropressão específica</i>	35
1.3	SÍNTESE DO EMBASAMENTO TEÓRICO	38
2	MATERIAIS E MÉTODOS	40
2.1	INTRODUÇÃO	40
2.2	SOLO UTILIZADO	41
2.3	AMOSTRAS	42
2.3.1	<i>Coleta das amostras</i>	42
2.3.2	<i>Primeiro grupo de amostras</i>	42
2.3.3	<i>Segundo grupo de amostras</i>	42
2.4	PLANO DE ENSAIOS	42
2.5	CUIDADOS ESPECIAIS	44
2.6	EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NOS ENSAIOS	46

3	REALIZAÇÕES DOS ENSAIOS	47
3.1	PROCEDIMENTOS GERAIS	47
3.2	PRIMEIRO GRUPO DE AMOSTRAS	47
3.2.1	<i>Ensaio triaxiais</i>	47
3.3	SEGUNDO GRUPO DE AMOSTRAS	48
3.3.1	<i>Ensaio edométricos</i>	48
3.3.2	<i>Ensaio triaxiais CIU com medida da poropressão</i>	48
4	RESULTADOS E ANÁLISES	50
4.1	INFORMAÇÕES GERAIS	50
4.2	RESULTADOS GRÁFICOS DOS ENSAIOS EDOMÉTRICOS	50
4.3	RESULTADOS DOS ENSAIOS TRIAXIAIS CIU COM MEDIDA DE PRESSÃO NEUTRA	51
4.3.1	<i>Correção nas planilhas de dados</i>	51
4.3.2	<i>Análise dos resultados</i>	53
	a) <i>Introdução</i>	53
	b) <i>Observações preliminares quanto aos resultados obtidos dos ensaios realizados</i>	53
	c) <i>Gráficos representativos dos resultados obtidos nos ensaios normalmente adensados e sobreadensados</i>	56
	d) <i>Padrão de Comportamento da Taxa de Poropressão Específica</i>	59
	e) <i>Incorporando a variação do excesso da pressão neutra na análise da TPE em “Δu”</i>	72
	f) <i>Buscando novas possíveis relações</i>	75
	g) <i>Desenvolvimento da TPE e TPE em “Δu”</i>	84
4.3.3	<i>Relação da TPE com a região de plastificação do material</i>	85
4.4	ANÁLISES	92
4.4.1	<i>Considerações gerais</i>	92
4.4.2	<i>Alterações no padrão do comportamento da Taxa de Poropressão Específica</i>	92
4.4.3	<i>Alterações no padrão do comportamento da Taxa de Poropressão Específica em “Δu” relacionadas com os momentos em que o excesso de pressão neutra (Δu) é nulo</i>	93

4.4.4	<i>Influência do OCR no padrão de comportamento da Taxa de Poropressão Específica</i>	94
4.4.5	<i>Relação entre a Taxa de Poropressão Específica e os valores máximos de σ_d e σ_1/σ_3 e outras possíveis relações</i>	96
4.4.6	<i>Relação da TPE com a região de plastificação do material</i>	97
5	CONCLUSÃO FINAL E RECOMENDAÇÕES	103
	REFERÊNCIAS	105
	APÊNDICE A – Procedimentos Gerais Adotados na Coleta de Amostras	108
	APÊNDICE B – Procedimentos Adotados na Realização dos Ensaios	111
	APÊNDICE C – Resultados do Ensaio Edométrico CPE 01	125
	APÊNDICE D - Resultados do Ensaio Edométrico CPE 02	140
	APÊNDICE E – Gráficos defasados e Atratores	154

INTRODUÇÃO

Em diversos serviços de engenharia como obras de terraplenagem, aterro sanitário, obras submersas, obras de contenção, obras em ocupações irregulares em encostas, obras de aterro sobre solo mole e outras que envolvem riscos de ruptura de solo, é de fundamental importância o conhecimento acerca da estabilidade do maciço de terra e, principalmente no que tange à possibilidade de ruptura, a determinação de quando esta vai ocorrer.

Dentre os estudos que foram realizados neste sentido, destacam-se os, avanços feitos por Saito e seus associados no Japão buscando uma descrição matemática das relações “tempo – deformação” para explicar a aceleração da fluência. Merecem destaque os trabalhos de Saito e Uesawa (1961), Saito (1965, 1969, 1970), Saito e Yamada (1973), Saito 1980 e ainda Kawamura (1985), Fukuzono (1985, 1989, 1990, 1996), Hayashi et al. (1988), sendo que em todos estes estudos, foram utilizados como elemento básico, a velocidade de deformação do maciço para a previsão do tempo de ocorrência de ruptura de taludes e se limitam a previsões em estágios próximos à ruptura.

Mais recentemente Guimarães (2000) assinala um novo parâmetro, a “poropressão específica”, o qual certamente deverá contribuir no desenvolvimento de métodos de previsão de escorregamentos de maciços de terra. Guimarães (2000) constatou um paralelismo entre as curvas representativas da taxa da deformação específica axial e a da taxa da poropressão específica em todos os ensaios realizados, induzindo a conclusão de que os métodos de previsão de escorregamentos poderão ser empregados com as poropressões específicas em lugar dos deslocamentos ou das velocidades de deslocamentos. Constatou ainda peculiaridades no padrão de comportamento da poropressão específica que permitem prever o comportamento do solo próximo à ruptura.

Assim, este estudo se propôs a analisar o comportamento da poropressão específica nos estágios iniciais de carregamento e conhecer de forma exploratória o comportamento dessa poropressão específica ao longo de um carregamento não drenado com

velocidade constante. O objetivo deste estudo é gerar conhecimentos sobre padrões de comportamento de poropressão específica contribuindo para o desenvolvimento de uma teoria que permita avaliar a proximidade da ruptura e colapso.

Para atender a este objetivo, elaborou-se uma investigação em amostras de argilas submersas residuais de folhelho (massapê), selecionadas na condição “normalmente adensada” e “pré adensada”, submetidas a ensaios edométricos e triaxiais tipo CIU com medida de pressão neutra.

De posse das respostas obtidas nos ensaios citados acima, realizou-se investigação sobre o comportamento da Taxa de Poropressão Específica sob diversas óticas, elaborando-se gráficos, utilizando-se aumento de escalas para focar pontos específicos podendo-se observar, desta forma, possíveis alterações no seu padrão. Incorporou-se às análises a utilização de gráficos defasados¹ permitindo, assim, ampliar as condições de observação.

Cabe ressaltar que, durante as investigações, não se detectou nenhum comportamento diferenciado da Taxa de Poropressão Específica que guarde relação com a ação da tensão de cisalhamento máxima. Entretanto, observou-se que a Taxa de Poropressão Específica mantém, ao longo de todo o ensaio, um comportamento oscilatório, e inicia-se, de um modo geral, com um valor elevado e desenvolve-se com valores decrescentes até apresentar um aparente equilíbrio em torno de uma taxa fixa.

Observou-se, também, que a busca da Taxa de Poropressão Específica por um equilíbrio em torno de uma taxa fixa sofre influência se o solo é normalmente adensado ou sobreadensado, sendo muito mais rápido no segundo caso, e ainda, que esse comportamento tem relação direta com o desenvolvimento da curva “tensão desviatória x tempo ou deformação específica”. Em consequência, o presente trabalho culmina por apresentar um método gráfico de determinação do ponto de plastificação do material estudado.

¹ Gráfico defasado é uma útil ferramenta para análise de movimentos periódicos. A cada tempo correspondente aos dados originais da Taxa de Poropressão Específica (TPE), um ponto é plotado no gráfico defasado usando-se dois valores sendo, $TPE_{(i)}$ (TPE num tempo i lançado num eixo) e $TPE_{(i-1)}$ (TPE no tempo i menos 1 segundo lançado noutra eixo normal ao primeiro) com i variando do primeiro ao último momento do ensaio.

Espera-se que, com os resultados obtidos, conforme descrito anteriormente, tenha-se um parâmetro que contribua com futuras análises na consolidação de um método matemático na determinação precisa de valores que correspondam à zona de plastificação dos solos e, assim, possa contribuir em futuras pesquisas que tenham como objetivo a avaliação da proximidade da ruptura e colapso dos mesmos.

Cinco capítulos estruturam o presente trabalho:

No primeiro capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica correspondente a trabalhos de campo e laboratoriais, onde se observa uma ênfase na busca de parâmetros e formulações matemáticas que contribuam na antecipação do escorregamento de encostas. No segundo capítulo busca-se caracterizar o solo utilizado, os cuidados adotados nas coletas das amostras, bem como são descritos os planos de ensaios e equipamentos utilizados na realização dos mesmos. No terceiro capítulo, são abordados os procedimentos adotados na realização dos ensaios, descrevendo-se as características dos mesmos, correspondentes aos ensaios edométricos e triaxiais e a cada grupo de amostras utilizado. O quarto capítulo é dedicado à análise dos resultados obtidos nos ensaios edométricos e triaxiais buscando-se, inclusive, possível relação da Taxa de Poropressão Específica com a região de plastificação do material. No quinto e último capítulo, são apresentadas as conclusões e recomendações oriundas das análises realizadas. Destaca-se, aqui, a proposta de utilização da Taxa de Poropressão Específica como parâmetro de determinação do ponto de escoamento de solos.

1 – REVISÃO BIBLIOGRAFICA

1.1 Abordagens iniciais

A experiência adquirida em diversas obras como terraplenagens, encostas, escavações, aterros sanitários, prospecções de petróleo (exploração marinha), onde se pode citar também obras com características singulares como aquelas desenvolvidas e em desenvolvimento em Alagados, no Subúrbio Ferroviário de Salvador na Bahia, que envolvem grandes volumes de aterros em área de maré, sobre solo mole com existência de palafitas habitadas, demonstra a importância de estudos e pesquisas que envolvem a determinação do tempo para ocorrência de ruptura em maciços de terra.

Em tais casos, a antecipação da previsão da ocorrência de ruptura permite a possibilidade de se tomar medidas estabilizadoras e/ou preventivas necessárias à preservação da integridade física dos possíveis habitantes das áreas correspondentes e também a se evitar prejuízos financeiros.

Alguns estudos nesta direção já foram realizados a partir de meados do século passado. Casagrande e Wilson (1951), quando da apresentação dos resultados dos seus ensaios com objetivo de estudar os efeitos da velocidade do carregamento na resistência das argilas e folhelhos em condição não drenada, fazem referência ao aumento da velocidade da deformação axial do corpo de prova até à ruptura quando do surgimento de fissuras no mesmo, ou seja, apresenta um relacionamento entre o surgimento de fissuras decorrentes de deformações e o aumento da velocidade da deformação axial.

Já nos anos 60 começam a surgir algumas linhas de pesquisas buscando cálculos do tempo de ruptura de encostas a partir da medição dos seus deslocamentos. Os principais estudos neste sentido surgem no Japão, provocados pela “*Railway Technical Research Institute, Japanese National Railways*”., com o objetivo de preservar o transporte ferroviário contra acidentes provocados por deslizamento de encostas muito comuns naquele país tendo em vista suas características topográficas.

Até então, pouco se pesquisou em busca de novos parâmetros, além de “deslocamento”, que venham viabilizar a elaboração de métodos alternativos na determinação prévia de deslizamento de maciços de terra.

1.2 Parâmetros propostos e utilizados nos modelos de determinação da estabilidade de maciços de terra

1.2.1 Deformação de taludes

Saito e Uesawa (1961) afirmaram que, pela medida da velocidade de deformação do talude, tomada em sua superfície, é possível se prever o seu colapso e apresentaram um relacionamento entre velocidade de deformação e ruptura devido ao movimento, o que foi estabelecido com a ajuda de ensaios de compressão simples e ensaios de compressão triaxial em amostras em laboratório. Assim, se propuseram a estudar o comportamento movimento-ruptura do solo que compõe o talude e fazer a conexão dos resultados da observação do movimento com o tempo entre o movimento inicial até o momento da ruptura do talude.

A partir de uma série de medidas de deslocamentos de um determinado talude, ao longo do tempo de sua movimentação, foram obtidas as deformações específicas correspondentes, e através de formulação matemática, chegou-se ao tempo que a movimentação do talude levará até a sua ruptura. A velocidade de deformação foi determinada no segundo estágio de fluência onde a curva é uma linha reta e tem uma velocidade de deformação mínima constante.

Os autores, de posse dos resultados dos seus ensaios, utilizando também resultado de outros pesquisadores como Murayama e Shibata (1956) (citado por SAITO and UESAWA, 1961), Casa Grande e Wilson (1951) e Goldstein e Ter-Stepanian (1957) (citado por SAITO and UESAWA, 1961), plotaram os valores do tempo de fluência desde o início do ensaio até a ruptura contra a velocidade de deformação axial do corpo de prova no estágio secundário de fluência, ambos em escala logarítmica (ver Figura 1.1) e, em seguida ajustaram uma reta que é representada por uma equação do seguinte tipo:

$$\text{Log}_{10}t_r = c - m \log_{10}\dot{\epsilon}, \quad (1.1)$$

onde:

t_r – tempo de ruptura;
 $\dot{\epsilon}$ - taxa de deformação específica.
 c e m – constantes

Saito e Uesawa (1961), usando os resultados supra referidos, calcularam as constantes correspondentes, e finalmente apresentaram a equação da seguinte forma:

$$\log_{10} t_r = 2,33 - 0,916 \cdot \log_{10} \dot{\epsilon} \pm 0,59 \text{ ciclos} \quad (1.2)$$

onde t_r e $\dot{\epsilon}$ são expressos em minutos e 10^{-4} por minuto respectivamente. Segundo os autores, essa fórmula é independente do tipo de solo ou método de ensaios e é válida para resultados referentes a várias outras localidades.

A área de erro que contém 95% (noventa e cinco por cento) dos pontos é apresentada como $\pm 0,59$ ciclos na escala log. Os autores afirmam que essa faixa de erro de $\pm 0,59$ ciclos se apresenta satisfatória para materiais como solos, comparada com os metais que F. C. Monkman e N. J. Grant tem mostrado ser $\pm 0,55$ ciclos ao menos para alguns metais.

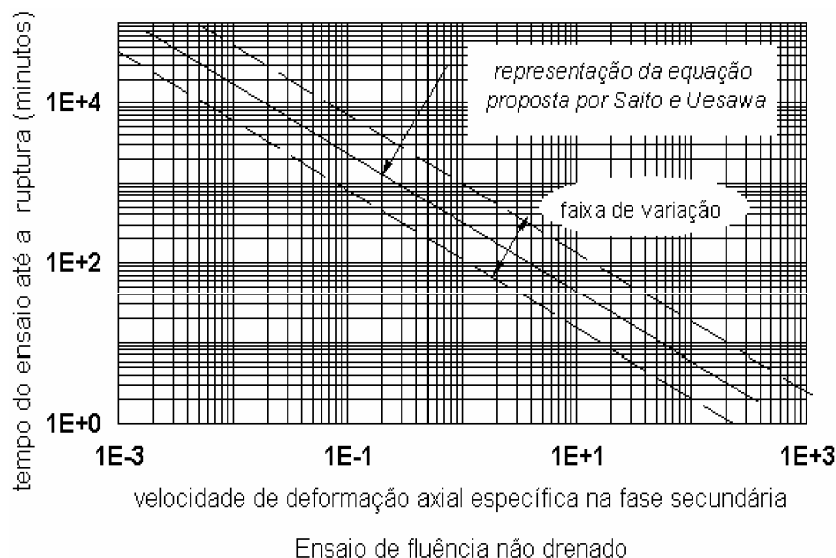


Figura 1.1 – Fluência: tempo de ruptura x deformação.

Saito, ainda neste trabalho, coloca que a deformação e/ou inclinação pode ser adotado como fator de previsão. Entretanto, deformação é considerada um fator superior à

inclinação, porque a mudança de inclinação é gradual enquanto que deformação é muito nítida e, também, porque as deformações características do solo podem ser investigadas com amostras em laboratório.

Em aprofundamento ao trabalho que havia sido apresentado em 1961, Saito (1965) afirma ainda que a deformação por si mesma é, naturalmente, um fator de previsão importante. Porém o registro contínuo de deformação em pontos convenientes se torna muito difícil quando a área instável é bastante grande. Assim o tempo de ruptura do solo deverá ser estudado no laboratório, e o relacionamento entre velocidade de deformação e tempo de ruptura devido à fluência será encontrado experimentalmente. Afirma ainda que esse relacionamento parece ser independente do tipo de solo e do método de ensaio adotado e, segundo ele, se mostrou válido para resultados de ensaios elaborados por outros pesquisadores, inclusive de cidades distintas.

Saito (1969) observa que o método de previsão do tempo de ruptura de taludes por meio de estudo da velocidade de deformação, até então proposto, não é aplicável ao estágio terciário da fluência, em virtude do aumento muito acentuado da velocidade de deformação do solo. Assim, provavelmente, por se defrontar com problemas de movimentação de encostas em estágio já avançado, ele entende que é necessário se encontrar algum outro método de previsão que seja aplicável ao estágio terciário de fluência e, neste sentido, apresenta um no qual se propõe uma expressão com o objetivo de determinar o tempo de ruptura sem usar deformações específicas. Desta forma, ele propõe que t_r e $\dot{\epsilon}$, da fórmula $t_r = 2,33 - 0,916 \cdot \log_{10} \dot{\epsilon} \pm 0,59$, sejam substituídos pelo tempo entre a ocorrência de uma determinada velocidade transiente $\dot{\epsilon}$ no estágio terciário de fluência e a ruptura e pela velocidade de deformação transiente no tempo opcional t , respectivamente.

Saito (1980), partindo do princípio de que esse método de deslocamento e tempo remanescente de ruptura forma uma linha reta em gráfico semi-logarítmico, apresenta um novo método de aproximação sucessiva com representação semi-logarítmica que considera muito útil no estágio terciário de fluência

Assim, este novo método apresentado por Saito se propõe a fazer previsão de tempo de ruptura pela substituição da curva de fluência por uma curva logarítmica, por conveniência, através da utilização da equação:

$$\Delta l = a \log [(t_r - t_0) / (t_r - t)] \quad (1.3)$$

Saito apresenta esta proposta como sendo o seu terceiro método para estimativa do tempo de ruptura de taludes, método que considera muito útil porque pode utilizar todas as leituras no terceiro estágio de fluência. Poucos números de dados são suficientes para tentativa de previsão e, além disso, aqueles dados muito próximos do rompimento exercerão maior influência na estimativa do t_r , especialmente nos casos de ruptura muito próxima.

Hayashi, S. et. al (1988) (citado por FUKOZONO, 1990) – introduz o conceito de dividir a fluência terciária em dois estágios e apresenta método para prever tempo de ruptura no primeiro estágio da fluência terciária.

Varnes (1982) apresenta um trabalho iniciado em 1972, onde busca desenvolver modelos fenomenológicos que seriam simples e ainda simularia, mais de perto do que aqueles em uso corrente até então, a curva de fluência completa de deformação inicial em desaceleração, através de um estado de fluxo contínuo, deformação acelerada e, por fim, a ruptura. Buscando esses modelos conceituais contra dados reais ele realiza um exame das curvas tempo x deformação de muitos materiais. Faz referência aos avanços feitos por Saito e seus associados no Japão voltados para a descrição matemática das relações tempo-deformação na aceleração da fluência e os considera da maior importância. Através de seus estudos Varnes confirma que o trabalho de Saito se aplica a uma grande variedade de materiais.

Varnes considera que Saito (1969) ampliou o alcance da equação desenvolvida por Monkman e Grant (1956) (citado por VARNES, 1982), para atingir, não apenas a relação entre a velocidade mínima de fluência e o tempo de ruptura, mas também, a velocidade de fluência durante todo o período terciário, apresentando uma forma generalizada.

Varnes (1982) ainda observa que as relações de Saito têm sido usadas em várias formas por investigadores de processos de ruptura em diferentes países e apresenta, de forma sumária, quatro desses estudos conforme descrito a seguir: Shumm e Chorley (1964) (citado por VARNES, 1982), em análise de movimentos de terra observados em uma secção de arenito nas rochas de Chaco Canyon National Monument, no Novo México, determinaram formulação equivalente à forma generalizada de Saito; Dobes e Milicka (1976) (citado por VARNES, 1982), analisando dados experimentais de um certo número de metais e ligas apresentaram, também, uma generalização do método de Saito; Iken (1977) (citado por VARNES, 1982) na Suíça, analisa o movimento de uma grande massa de gelo deslocando-se em um lago, e rompendo, e apresenta uma formulação que, segundo Varnes, é uma generalização da equação de Saito; Sandstrom e Kondyr (1980) (citado por VARNES, 1982) com base em dados analisados na fluência terciária para Mo e aço CrMo, submetidos a carga constante a 500° – 600°C, entendem que, após a eliminação da velocidade instantânea e da deformação devida à fluência primária, a fluência terciária apresenta uma relação que, conforme observa Varnes, é, também, equivalente a Saito puro.

Assim, neste trabalho, Varnes mostra a abrangência dos estudos efetuados por Saito e demonstra modelos generalizados a que deram frutos.

Fukozono (1990) apresenta um método de cálculo do tempo de ruptura a partir de observações de ruptura de solos em campo e de escorregamentos em verdadeira grandeza, com simulador de chuva. Nesse estudo, chuva artificial foi aplicada continuamente num modelo de talude com 5m de altura e 4m de largura, até a ruptura ocorrer, e a superfície de deslocamento foi medida desde um estado estável até o final da ruptura. Assim Fukozono (1985, 1989) propôs um método simples de previsão de tempo de ruptura, usando o inverso da velocidade média da superfície de deslocamento contra o tempo correspondente.

Fukozono (1996) observa que quase todos os métodos de previsão de tempo de ruptura propostos, incluindo o método de Saito, são aplicáveis apenas no período imediatamente anterior à ruptura, período este chamado de estágio terciário de fluência. E que, para se minimizar os desastres com deslizamentos de terra, é necessário se desenvolver um método de previsão de tempo com aplicabilidade nos primeiros estágios. Assim, após ensaios consolidados, apresenta equação oriunda da generalização das observações dos ensaios realizados no estágio primário da fluência. Analisando os estágios terciários dos

ensaios realizados, ele chega à nova equação generalizada. A vantagem dessa modelagem é a possibilidade de se antecipar à época de ruptura desde as medições em que ocorrem pequenos aumentos nas velocidades dos deslocamentos.

1.2.2 Modelo reológico como parâmetro

Yang et al (1993) buscam descrever uma equação fundamental que determine o tempo correspondente ao comportamento da deformação de argilas em deslizamento.

Com o objetivo de simplificar a análise, eles consideram um talude representado por um modelo bidimensional em que a camada de argila em deslizamento é considerada um corpo com comportamento viscoelástico. Desta forma, consideram que as propriedades mecânicas podem ser determinadas por parâmetros de um modelo reológico. São considerados os deslizamentos cuja causa de ocorrência é chuva intensa, variação do nível do lençol freático ou causas similares. Assim eles adaptaram os ensaios de laboratório com o objetivo de controlar a poropressão correspondente à mudança do nível do lençol freático em um deslizamento de talude.

Considerando que o deslizamento por fluência é um fenômeno geralmente lento para uma camada de solo e, portanto, pode ser considerado como um fluxo viscoelástico, eles entendem, como já descrito acima, que suas propriedades mecânicas podem ser determinadas por parâmetros de modelo reológico.

Os autores examinam um exemplo utilizando o deslizamento ocorrido em Monden, área localizada em Mondencho, cidade de Ihara na parte leste de Okayama, sudoeste do Japão. As características geométricas do deslizamento de terra são: comprimento de 400m, profundidade de 6m e ângulo do talude de 10 graus.

Os resultados obtidos, considerando-se os deslocamentos previstos com base no método proposto e aqueles conseguidos através dos resultados reais baseados em medidas com inclinômetro e, como observam os autores, a velocidade do deslocamento, dependem da condição de poropressão.

Assim, pode-se observar que o método proposto é interessante, porém tem aplicação prática limitada não só no que diz respeito à situações de variação do lençol freático em consequência de fortes chuvas, mas também pelo fato de que os resultados obtidos referem-se apenas àquele material específico com suas características reológicas particulares não permitindo, portanto, uma generalização em termos de aplicabilidade.

1.2.3 Introduzindo considerações sobre estruturas caóticas em deslizamento de taludes

Quin e Wang (2001) desenvolvem o estudo de dois casos para avaliar a existência de uma estrutura caótica na evolução de deslizamentos de talude em que uma escala de previsão de tempo deve ser considerada.

Segundo os autores, conceitos específicos de técnicas matemáticas associadas à teoria de sistemas dinâmicos não-lineares (NDS) têm sido largamente aplicados em muitas disciplinas científicas, incluindo caos, geometria fractal e teoria de catástrofe. Assim a teoria NDS é também um caminho para atrair as pessoas para o estudo do processo de evolução de deslizamento de terra.

Os autores consideram que os métodos de previsão estatística para estudo de previsão de deslizamento de terra, que são estritamente determinísticos, negligenciam pequenas flutuações (tectônicas, climáticas, humanas etc.). Assim, as características caóticas do sistema de evolução do deslizamento de terra não podem ser refletidas e, em consequência, a previsão em longo prazo não pode ser feita com a utilização desses métodos. Por outro lado, a previsão do tempo de escala pode ser considerada em outras previsões acuradas de deslizamentos.

Neste estudo, os autores se propõem a uma tripla proposta. Primeiro, uma medida do caos e um método para cálculo estimado de previsão de escala de tempo, que pode ser facilmente obtido de uma série temporal, são introduzidos no estudo de deslizamento de encostas. Segundo, discute-se se há fenômeno caótico na observação de séries temporais de algum deslizamento de terra. Se existe caos, a previsão da escala de tempo pode ser determinada. Finalmente, a possibilidade de previsão em longo prazo, previsão em médio prazo e previsão crítica é considerada.

Conforme esclarecem os autores, a medida de previsibilidade considera o processo de evolução do deslizamento de encostas como um sistema dinâmico não linear (NDS). Os deslizamentos de encostas NDS incluem n componentes de interação x_i ; $i = 1, 2, \dots, n$. Esses x_i podem incluir, para um sistema específico, um número de fatores que descrevem variáveis tectônicas, litológicas e hidrológicas etc. O comportamento do tempo de algum componente é caracterizado por uma equação diferencial descrevendo isso como uma função de outros componentes. Assim:

$$dx_i/dt = f_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1.4)$$

Os autores definem que previsão de longo prazo é a previsão do tempo de ocorrência de deslizamento desde o início de um estágio linear (fluência primária) da sua evolução. Afirmam, ainda, que de acordo com a teoria NDS, quando um deslizamento está relativamente estável, o sistema talvez já esteja em um estado desordenado e este caos tem uma grande influência na evolução futura do deslizamento. Assim, em outras palavras, eles entendem que o comportamento de longo prazo em tal sistema não pode ser previsto acuradamente. Definem que os meios de previsão de médio prazo, durante o tempo de ocorrência de um deslizamento de terra, são tomados do início de um estágio não linear (fluência secundária) da sua evolução. Eles observam que, durante esse período, a influência do caos claramente começa a crescer. A previsão determinística pode ser feita em uma escala de previsão de tempo determinada pelo método por eles proposto. Observam ainda que, claramente, se o deslizamento de terra ocorre nessa escala de tempo, o erro de previsão pode ser considerado bom, mas em geral a previsão em médio prazo é muito incerta. E, finalmente, definem que o meio de previsão crítica do tempo de ocorrência de um deslizamento de terra é se dá quando o talude está em um estado extremamente instável. Os autores colocam que, neste período, fatores randômicos e aleatórios (condições internas conduzindo ao deslizamento e fatores desencadeadores – “triggering factors”) que existem em um estágio inicial da evolução do deslizamento podem ser observados. Afirmam que esses fatores podem ser considerados como parte da condição inicial com o objetivo de prever o deslizamento iminente. Assim, concluem que a influência do caos pode ser ignorada devido ao pequeno tempo de previsão o que torna a previsão crítica relativamente acurada. Citam, como exemplo, o sucesso de previsão no deslizamento de Xitan que foi baseado em rompimentos precursores antes do deslizamento crítico. Como bem observam os autores, o modelo de Saito é apenas conveniente para o estágio terciário de fluência e a possibilidade de acerto da

previsão é alta. Sugerem então que uma combinação de previsão determinística e indeterminada é uma nova característica de determinação de tempo de deslizamento de encosta. Eles concluem que a teoria NDS tem sido introduzida no estudo de deslizamentos de encostas com o objetivo de detectar o comportamento caótico da sua evolução e, ainda, com base inclusive no estudo de dois casos (deslizamento de Longxi e deslizamento de Xintan), concluem que a previsão de longo prazo não pode ser acuradamente feita e que médio prazo é muito incerta, mas as previsões críticas podem ser feitas relativamente acuradas.

1.2.4 Poropressão Específica como proposta de novo parâmetro para previsão de ruptura

a) Poropressão e Estado de Tensões :

Sabe-se que a aplicação de tensão total, $\Delta\sigma_1$, $\Delta\sigma_2$ e $\Delta\sigma_3$, em um elemento de solo saturado, em condição não drenada, leva a um acréscimo da poropressão Δu no seu interior. Assim, muitos estudos já foram realizados com o objetivo de correlacionar a variação da poropressão com o incremento de tensões totais através de equações matemáticas, dentre as quais, destacam-se as do método elástico, da hipótese de Terzaghi, do método de Skempton e do método de Henkel.

O Método Elástico pressupõe que, durante todo o processo de carregamento em circunstância não drenada, a pressão efetiva octaédrica permanece constante. Desta forma considerando-se o solo como perfeitamente elástico e o fluido intersticial incompressível, conclui-se, por consequência, que não ocorre variação volumétrica. Como a tensão octaédrica é a média das tensões principais, temos

$$\Delta u = \Delta\sigma_{\text{oct}} (\Delta\sigma_1 + \Delta\sigma_2 + \Delta\sigma_3) / 3 = \Delta p \quad (1.5)$$

Leroueil et al. (1978 e 1985) consideraram esta equação de difícil aplicabilidade prática, em função da dissipação de pressão neutra que ocorre desde o início de uma construção. Por outro lado, Höeg et al. (1969) verificaram a validade desta equação na previsão da variação da pressão neutra in situ no início do carregamento, em construções de

aterro sobre argila mole, considerando que no momento inicial do carregamento o comportamento do solo se aproxima de uma condição elástica.

Terzaghi simplifica o processo apresentando sua hipótese que considera $\Delta u = \Delta \sigma_1$. Höeg et al (1969) e Leroueil et al (1978 e 1985) questionam a validade dessa hipótese no início do carregamento, quando o solo encontra-se ainda no estado elástico. Entretanto, a sua aplicabilidade no domínio plástico é admitida.

Buscando correlacionar a variação da poropressão com a modificação das tensões principais $\Delta \sigma_1$ e $\Delta \sigma_3$, Skempton (1954), trabalhando os resultados de vários ensaios, propõe a seguinte equação

$$\Delta u = B[\Delta \sigma_3 - A(\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3)] \quad (1.6)$$

onde A e B são coeficientes ou parâmetros de poropressão. Esses parâmetros são medidos experimentalmente em ensaios triaxiais não drenados, e os valores de $\Delta \sigma_1$ e $\Delta \sigma_3$ são, em geral, escolhidos para representar as variações que ocorrem nas tensões principais referentes ao problema prático em consideração. Como num ensaio desta natureza as tensões são aplicadas em dois estágios, teremos: no primeiro estágio, se aplica um acréscimo da tensão isotrópica na célula ($\Delta \sigma_3$) provocando, por conseqüência, um acréscimo da poropressão representada por Δu_i ; no segundo estágio se aplica um acréscimo na tensão axial (tensão desviatória) correspondente a $\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3$, que causa um conseqüente aumento poropressão representada por Δu_d . O resultado total da alteração da poropressão é, portanto, $\Delta u = \Delta u_i + \Delta u_d$. Assim, B é o parâmetro correspondente à alteração da poropressão (Δu_i) em função da alteração da tensão isotrópica, enquanto que a alteração da componente da alteração da poropressão Δu_d devido ao aumento da tensão desviatória depende não só do parâmetro B mas também do parâmetro A como expresso na fórmula acima.

Conforme Lo (1961), a pressão neutra não pode ser expressa apenas em termos de tensões, haja vista as deformações permanentes nas amostras quando carregadas, sendo isso um efeito de deformação. Assim, para se calcular a alteração da pressão neutra, tanto na natureza como no laboratório, é necessário se considerar a relação tensão-deformação.

Peric (2002) considera que a equação (1.6), definida por Skempton (1954), é válida apenas para um estado de tensões cilíndrico e que ele não apresentou desenvolvimento teórico relativo ao parâmetro A. Comenta que a primeira ligação entre a poropressão e tensão total em termos de propriedades elasto-plástica foi proposta por Pande e Pietruszczak (1990) obtendo uma expressão geral para A, e que Wood (1990) apresenta uma nova forma para a equação de poropressão, ou seja: $\Delta u = b(\Delta p + a \Delta q)$, onde Δp e Δq representam as alterações das tensões médias e desviadora respectivamente, e os parâmetros a e b podem ser facilmente relacionados com os parâmetros A e B de Skempton. Peric (2002) propõe uma formulação com a inclusão do parâmetro c , que descreve a relação entre a tensão efetiva média e o ângulo de Lode, ou seja: $\Delta u = b_s(\Delta p + a_s \Delta q + c_s \Delta \theta)$ onde b_s , a_s , e c_s são os valores das secantes dos parâmetros de poropressão.

b) Proposta de um novo Parâmetro de Poropressão:

Guimarães (2000) propõe um novo parâmetro: “poropressão específica” (sendo a razão do incremento instantâneo da pressão neutra pela própria pressão neutra do momento).

Ao estabelecer este novo parâmetro o autor trabalhou no sentido de que a sua determinação fosse objeto de medidas em campo, no momento de leitura dos outros dados e, assim, prescindisse de medições anteriores. Desta forma, entende que afastaria as dificuldades de conhecimento de uma pressão inicial, nos poros.

Guimarães, ao acrescentar o incremento de poropressão específica como instrumento de controle análogo à deformação específica, define como:

$$dv = du / u \quad (1.7)$$

onde v = incremento de poropressão específica; du = variação instantânea da poropressão na etapa de análise u é a poropressão no instante considerado.

Assim, como a taxa da poropressão específica em relação ao tempo é: $dv/dt = 1/u \times du/dt$ então, tem-se que:

$$dv/dt = \{(u_f - u_i) / [(u_f + u_i)/2]\} / (t_f - t_i) \quad (1.8)$$

sendo os subíndices *i* indicadores instante genérico *i* e *f* no instante seguinte; *t* é o tempo da medição (Ver ilustração constante do gráfico da Figura 1.2 abaixo).

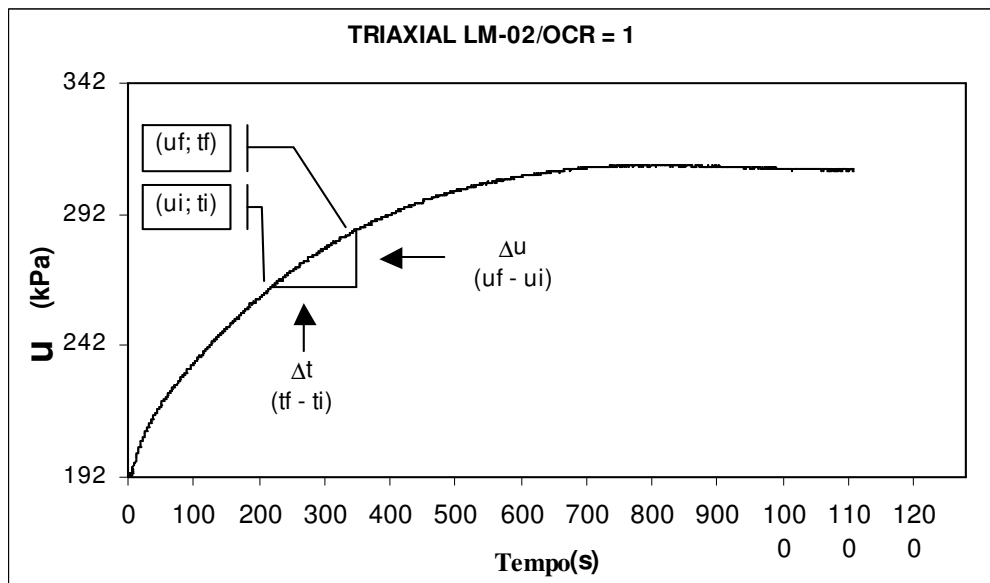


Figura 1.2 - Representação gráfica da variação instantânea da pressão neutra cuja razão em relação à pressão neutra do momento nos dá a taxa de poropressão específica no tempo correspondente.

A proposta desse novo parâmetro foi baseada nas análises dos resultados dos ensaios triaxiais, tipo carga controlada, consolidados não-drenados em corpos de prova adensados hidrosticamente sob 300 kPa de pressão efetiva.

Entre outras observações, Guimarães (2000) constata que as taxas das poropressões apresentam picos e vales, alternando-se entre um e outro com a imposição de carregamentos, ou seja, a taxa da poropressão específica sobe rapidamente logo após a imposição do carregamento, caindo logo em seguida para valores que podem ser até negativos, e, mantido este carregamento, a taxa da poropressão específica tende a retornar a um novo patamar compatível com a nova tensão desviatória. Tal comportamento pode ser observado nas Figuras 1.3 e 1.4 abaixo.

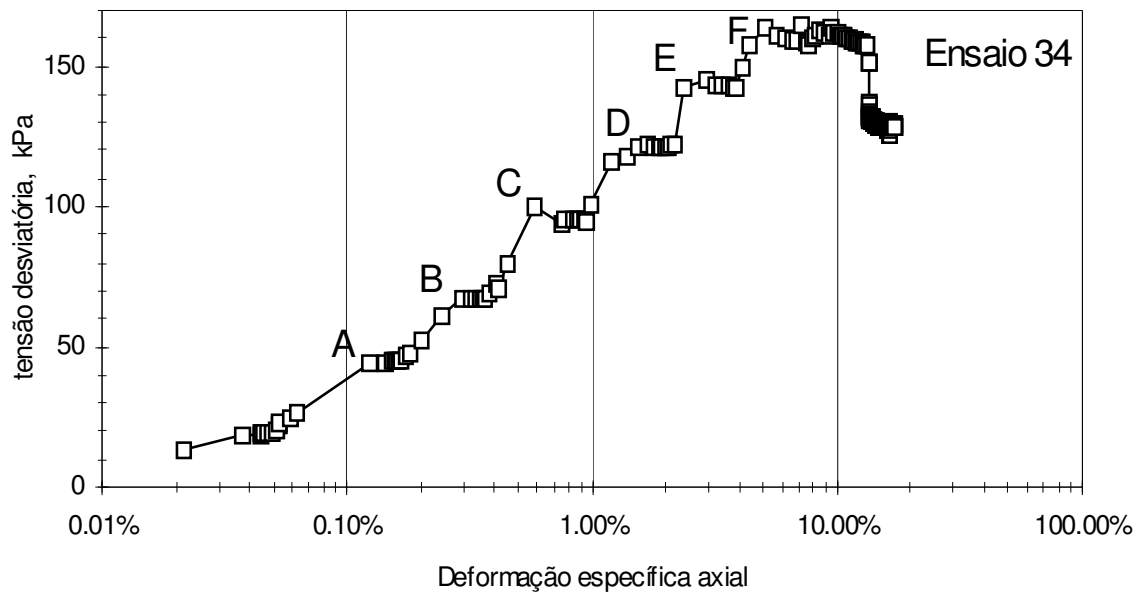


Figura 1.3 – Tensão desviatória ao longo das deformações específicas em ensaios tipo carga controlada onde A, B, C, D e E são diferentes patamares de carregamentos - Fonte: Guimarães (2000).

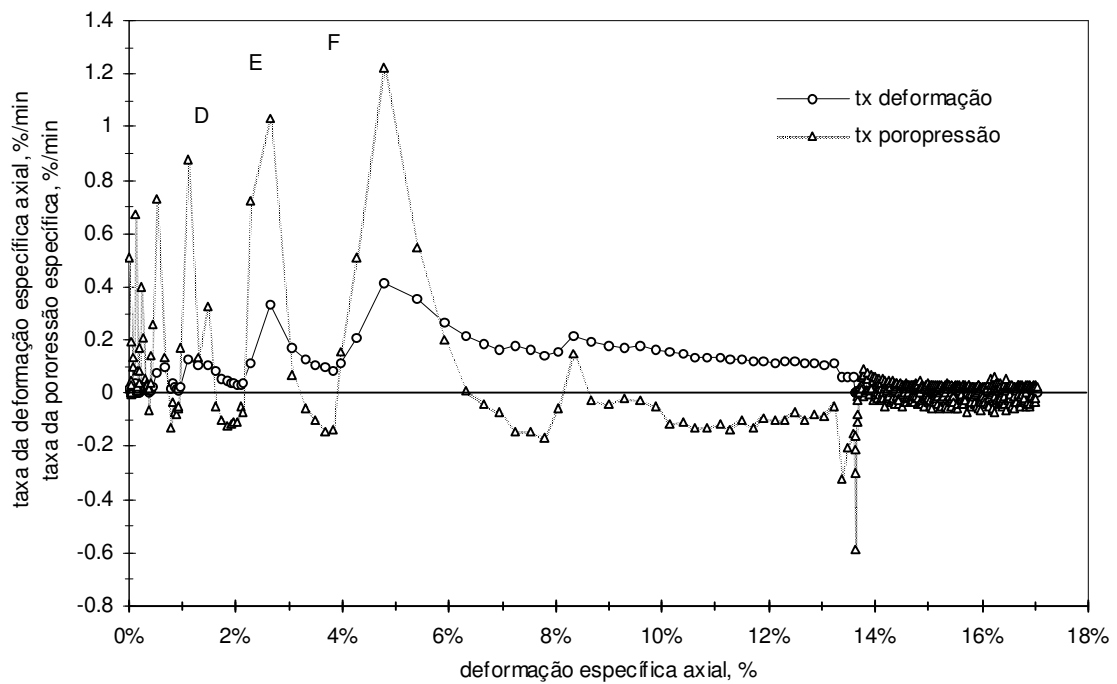


Figura 1.4 – Comportamento das taxas de deformação axial e poropressão específicas. D, E e F são diferentes patamares de carregamento - Fonte: Guimarães (2000).

Guimarães (2000) constatou ainda um paralelismo entre as curvas representativas da taxa da deformação específica axial e a da taxa da poropressão específica em todos os ensaios, como pode ser observado no gráfico representativo da Figura 1.5, induzindo à conclusão de que os métodos de antecipação da previsão de escorregamentos poderão utilizar as poropressões específicas em lugar dos deslocamentos específicos, considerando-se, inclusive, que em alguns casos, é mais fácil se mensurar pressões neutras do que deslocamentos.

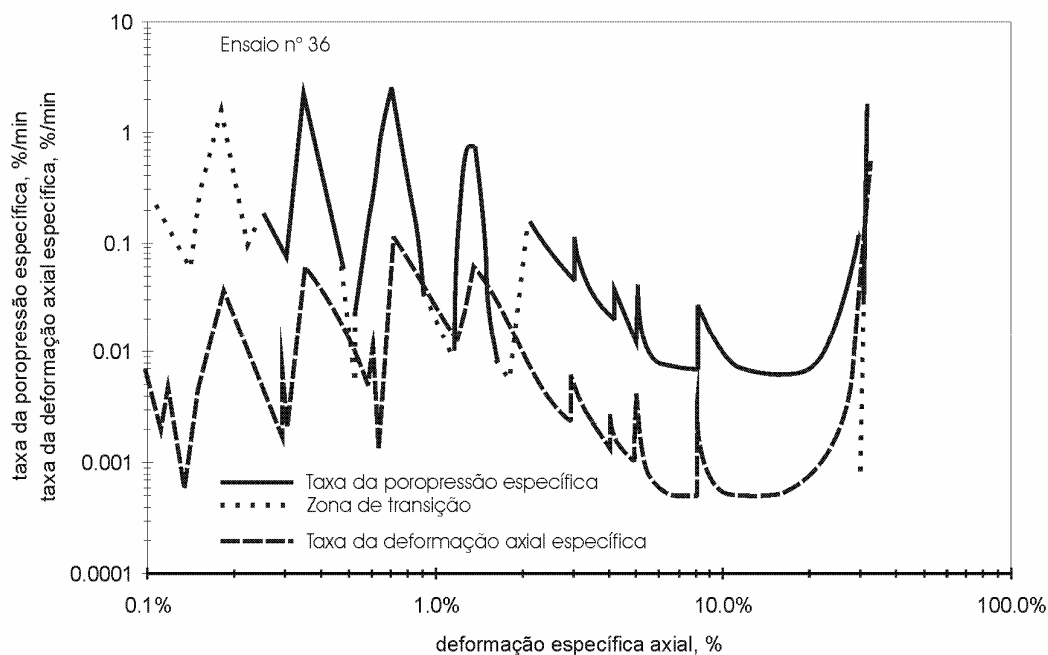


Figura 1.5 - Apresenta o paralelismo entre a taxa da poropressão específica e a taxa da deformação axial específica quando confrontadas com a deformação específica - Fonte: Guimarães 2000.

c) Comportamento padrão da taxa de poropressão específica

Com o intuito de averiguar como seria o comportamento da taxa de poropressão específica obtida a partir de representações gráficas de textos técnicos especializados, adotaram-se resultados gráficos de Head (1983), correspondentes aos desenvolvimentos da tensão desviatória, da poropressão e do parâmetro A, tanto para argila normalmente adensada como para argila sobreadensada, conforme Figuras 1.6 (a), (b), (c), (d) e (f). Em seguida, se inseriu a representação gráfica das taxas de poropressão específicas correspondentes, conforme Figuras 1.6 (b') e (e'), obtidas através dos desenvolvimentos das

poropressões, conforme Figuras 1.6 (b) e (e), apresentadas por Head (1983), com a aplicação da formulação proposta por Guimarães (2000).

Observam-se nos gráficos comparativos da Figura 1.6, alguns aspectos comportamentais já bastante conhecidos. Por exemplo, que em consequência do carregamento axial, quando de ensaios triaxiais não drenados, há o aparecimento de uma pressão neutra que, em corpos de prova de argila normalmente adensada, tem um desenvolvimento positivo, enquanto que, em corpos de prova de argila sobreadensada, tem um desenvolvimento menor que o correspondente à argila normalmente adensada e, ainda, se o OCR é superior a quatro, o desenvolvimento depois de crescente passa a ser decrescente, voltando ao seu valor inicial, momento em que o parâmetro A é zero, chegando finalmente a valores negativos.

Ao se incorporar os gráficos dos desenvolvimentos das taxas de poropressão específica de forma comparativa com os demais, não se observou comportamento diferenciado que venha correlacionar as regiões correspondentes a plastificação do material. Observou-se, apenas, que a alteração no padrão de comportamento da taxa de poropressão específica, na forma de dois picos, sendo um negativo e outro positivo, correspondente à argila sobreadensada, se apresenta nas proximidades da tensão desviatória de pico e da pressão neutra igual à zero.

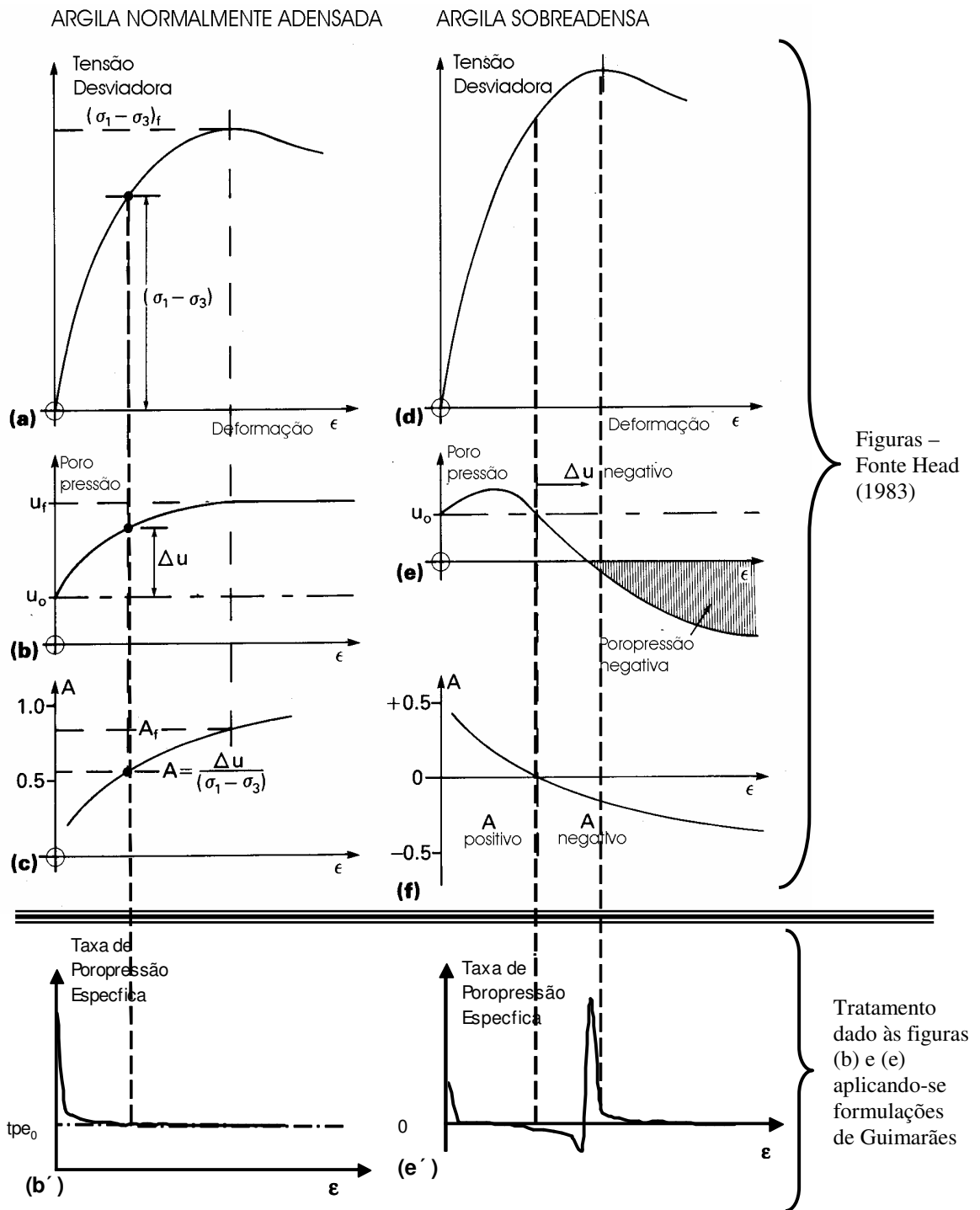


Figura 1.6 - Resultados gráficos dos comportamentos padrões das taxas de poropressão específica (b') e (e') obtidos das figuras (b) e (e) utilizando-se a equação proposta por Guimarães (2000).

1.3 Síntese do embasamento teórico

Cabem aqui algumas considerações no sentido de comentários buscando sintetizar a revisão bibliográfica apresentada, bem como esclarecer alguns aspectos sobre a aplicação dos parâmetros pertinentes identificados.

Saito, do início da década de 60 até a década de 80, apresenta três métodos de cálculo, culminando sua contribuição com um trabalho que fornece elementos para estimativa da fração de tempo em que ocorrem escorregamentos. O primeiro método de Saito se apresenta como o mais prático dos três. Por outro lado, observa-se que, no segundo método, ele representa o lapso de tempo utilizando $t_r - t$ (tempo remanescente), enquanto no primeiro método é adotado t_r (tempo de ruptura). Os resultados de campo confirmam as propostas adotadas no primeiro e segundo métodos, como também a formulação apresentada como terceiro método tem sua validade comprovada experimentalmente. Estes métodos se lastreiam em medidas de deslocamentos efetuadas no campo. Saito apresenta um método que, reconhecidamente, apresenta bons resultados, entretanto, é aplicável à fase terciária de fluência. Um outro aspecto importante do método de Saito é a sua larga aplicabilidade a qualquer tipo de argila.

Muito importantes para o tema foram, também, as contribuições de Varnes (1982) e Fukozono (1990, 1996) buscando generalizar o método de Saito e procurando aplicabilidade para as demais fases de fluência. Varnes realiza um interessante estudo de ajustes de curvas de fluência por funções simples, faz uma análise abrangendo metais e rochas dentro de um mesmo contexto, valoriza bastante o trabalho de Saito e chega, inclusive, a influenciar, os estudos de outros pesquisadores.

O trabalho de Fukozono (1990) é restrito ao solo pesquisado. Por outro lado, diferencia-se do de Saito por apresentar resultados na determinação do tempo de ruptura ainda nos estágios iniciais de movimentação do maciço de terra. Fukozono (1996) apresenta uma equação generalizada com a possibilidade de se antecipar à previsão da época de ruptura, pois o método é baseado em observações pertinentes ao estágio primário de fluência.

Métodos baseados nas características intrínsecas do solo, ou seja, considerando o caráter reológico deste, como aquele apresentado por Yang et al. (1993) têm

uma forte limitação, tendo em vista que os resultados obtidos nos ensaios têm aplicabilidade unicamente para aquele solo específico.

A consideração de todos os fatores que participam de um fenômeno de deslizamento de terra é de extrema importância para que assim possam ser efetuadas previsibilidades, com maior precisão, sobre o desenvolvimento do processo inclusive, no tocante à previsão do tempo de ruptura, não só em curto prazo (caso dos métodos determinísticos), mas também a médio e longo prazo. Isto posto, entende-se como fundamental a consideração do componente caótico na evolução do deslizamento de terra, incorporando fatores tectônicos, litológicos, climáticos etc. na estimativa de previsibilidade do deslizamento. Quin e Wang (2000) observam que este componente caótico vem possibilitar a realização de previsões a longo e médio prazo de forma mais acurada que através de métodos meramente determinísticos.

Entende-se, também, que é muito importante a descoberta de novos parâmetros que possam lastrear a elaboração de novos modelos de estudo do comportamento do solo sob fluência. Assim, destacamos a apresentação de um novo parâmetro proposto por Guimarães (2000) que se traduz na utilização da “taxa de poropressão específica”. Este novo parâmetro proposto poderá, segundo seu autor, se incorporar aos métodos de antecipação da previsão de escorregamentos em substituição aos deslocamentos específicos, tendo em vista que a sua determinação, como propõe Guimarães (2000), é objeto de medidas de campo no momento de leitura dos outros dados, prescindindo assim de medições anteriores. Como uma primeira providência quanto à verificação do comportamento deste novo parâmetro “taxa de poropressão específica”, buscou-se identificar uma relação deste com resultados constantes da literatura especializada. Para tanto, utilizaram-se, como dito anteriormente, representações constantes de Head (1983) pertinentes aos desenvolvimentos da tensão desviatória, da poropressão e do parâmetro A, no que tange a argila normalmente adensada e argila sobreadensada. Estes desenvolvimentos constam das Figuras 1.6 (a), (b), (c), (d) e (e). A fim de obter a relação pretendida, acrescentaram-se a esta análise, os resultados do tratamento dado às representações dos desenvolvimentos das poropressões correspondentes, tratamento este com base nas formulações de Guimarães (2000), conforme Figuras 1.6 (b’) e (e’), não se observando, nesta oportunidade, correlações pertinentes à região de plastificação do solo.

2 – MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 INTRODUÇÃO

Com fins de atingir o objetivo aqui proposto foram executados ensaios triaxiais, em corpos de prova com base e topo lubrificadas, tipo CIU onde as deformações, as cargas e as pressões neutras foram medidas a cada segundo. Essas medições foram realizadas através de transdutores de pressões elétricos, acoplados a um sistema de aquisição de dados com a utilização de remotas operadas por computadores. Foram realizados cinco ensaios triaxiais e para tanto foram usados corpos de prova extraídos de amostras indeformadas de campo.

Através de gráficos, com a utilização de janelas (para aumento de escala) focando pontos específicos, vide Guimarães (2000), verificaram-se os resultados obtidos nos ensaios, a mudança de padrão da taxa de poropressão específica, bem como a sua relação com o processo de plastificação da amostra até a sua ruptura.

Na análise do comportamento da poropressão específica ao longo das deformações axiais específicas, deu-se ênfase às seguintes regiões: no entorno do ponto de plastificação; no entorno do ponto (instante) de ruptura usando os critérios da “razão das tensões principais efetivas versus deformação axial específica”, ou seja, “ $(\sigma'_1 / \sigma'_3) \times \epsilon_1$ ou tempo” e da “tensão desviadora (σ'_d) versus deformação axial específica” ou seja, “ $\sigma'_1 - \sigma'_3 \times \epsilon_1$ ou tempo”; e no entorno do ponto (instante) em que o valor da variação da pressão neutra, durante a compressão do corpo de prova, é zero ou seja, no ponto em que este não tem tendência a aumentar e nem tendência a reduzir de volume (ponto em que o parâmetro A é igual a zero).

2.2 Solo utilizado

O material utilizado foi coletado próximo à superfície do terreno, em área ao lado de pequeno córrego e, portanto, em estado de saturação. Esta área localiza-se a noroeste da zona urbana do município de Santo Amaro da Purificação – Ba, aproximadamente a 300m da margem direita do Rio Subaé.

Como bem demonstra Simões (1991), ainda no estágio “pré-rift” foram depositados na Bacia Sedimentar do Recôncavo, entre outros, sedimentos de algumas formações do Grupo Santo Amaro, e no estágio “rift” foram depositadas as formações restantes do Grupo Santo Amaro, as formações do Grupo Ilhas e os arenitos grosseiros e os folhelhos da formação São Sebastião, Grupo Massacará. Conforme Machado (2002), a região onde foi coletado o material é caracterizada pela presença do Grupo Ilhas que se situa estratigraficamente sobre o Grupo Santo Amaro ao qual pertence o material coletado que é proveniente de um solo residual resultante de folhelho cinza.

Assim, utilizou-se um solo argiloso, tipo “massapê”, coletado no município acima citado que se constitui em uma argila expansiva com as seguintes características:

- Limite de liquidez: 72%;
- Índice de plasticidade: 40%;
- Umidade natural variando (cp das amostras dos cilindros de PVC): 14,51g a 16,79g ;
- Umidade natural variando (cp da amostra do bloco de PVC): 29,63g a 32,33
- Argila classificada como CH pelo USCS (Sistema Unificado de Classificação de Solos) e A-7-5 (20) pela AASHTO;
- Passando na peneira 200: 97%;
- Cor variegada.

2.3 Amostras

2.3.1 Coleta das amostras

Para a coleta dos corpos de prova foram usados amostradores em que o processo de avanço é por aparamento com o uso de cilindros e anéis biselados de aço e escavações com retirada de “blocos”. Os detalhes e procedimentos adotados na coleta das amostras estão descritos no APÊNDICE A.

2.3.2 Primeiro grupo de amostras

Preliminarmente, no âmbito de um projeto de iniciação científica, em 11/01/02, foi coletado este primeiro grupo de amostras que tinha o objetivo de atender os ensaios Triaxiais CIU com medida de pressão neutra em solos saturados. Nesta primeira coleta procedeu-se à retirada de 13 amostras com a utilização dos cilindros de PVC e dos anéis biselados de aço.

2.3.3 Segundo grupo de amostras

Em 24/04/02, procedeu-se à coleta do segundo grupo de amostras em Santo Amaro da Purificação, no mesmo local de retirada das amostras do primeiro grupo, tendo-se retirado um bloco indeformado e seis amostras com os mesmos cilindros de PVC e anel de aço biselado usados na coleta do primeiro grupo. O objetivo desta coleta era também para atender à realização de ensaios triaxiais CIU com medida de pressão neutra sobre solos saturados.

2.4 Plano de ensaios

Os ensaios triaxiais procuram impor, em laboratório, o carregamento do solo, no campo, sob um determinado estado de tensões. Para tanto, utilizou-se o processo convencional onde se aplica um estado de tensões hidrostático e um carregamento axial em corpo de prova cilíndrico. Este processo utiliza-se de uma cápsula cilíndrica de acrílico, com um pistão na sua parte superior, e no interior desta cápsula se coloca o corpo de prova envolto em uma membrana de borracha. Em seguida, enche-se a cápsula de água através da qual se aplica a pressão confinante que atua em todas as direções. A carga axial, nos ensaios aqui realizados, foi aplicada colocando-se a cápsula sobre uma prensa que se desloca para cima,

pressionando o pistão contra a parte superior do corpo de prova, obtendo-se assim o ensaio de deformação controlada. A carga, a deformação axial do corpo de prova, a pressão neutra e a variação de volume foram medidas com a utilização de transdutores elétricos que, por sua vez, emitem os sinais correspondentes para serem armazenados em uma remota que, posteriormente, transfere para um computador onde se realiza o processamento dos dados.

Os procedimentos utilizados na realização dos ensaios triaxiais foram aqueles internacionalmente consagrados observando-se, particularmente, os descritos por Bishop e Henkel (1962) e Head (1983).

Cabe observar que o transdutor de leitura de pressão neutra funciona com base na deformação de uma placa metálica flexível que é provocada pelo deslocamento de um determinado volume d'água que corresponde à variação da pressão neutra naquele momento. Este deslocamento é transmitido para a ponte de Wheatstone através de dois fios. Tal fato mostra que existe drenagem, por menor que seja, durante um processo de ensaio triaxial “não drenado” com método de leitura na forma aqui descrita. Para uma melhor compreensão do quanto aqui se expõe ver a Figura 2.1 abaixo com desenhos esquemáticos.

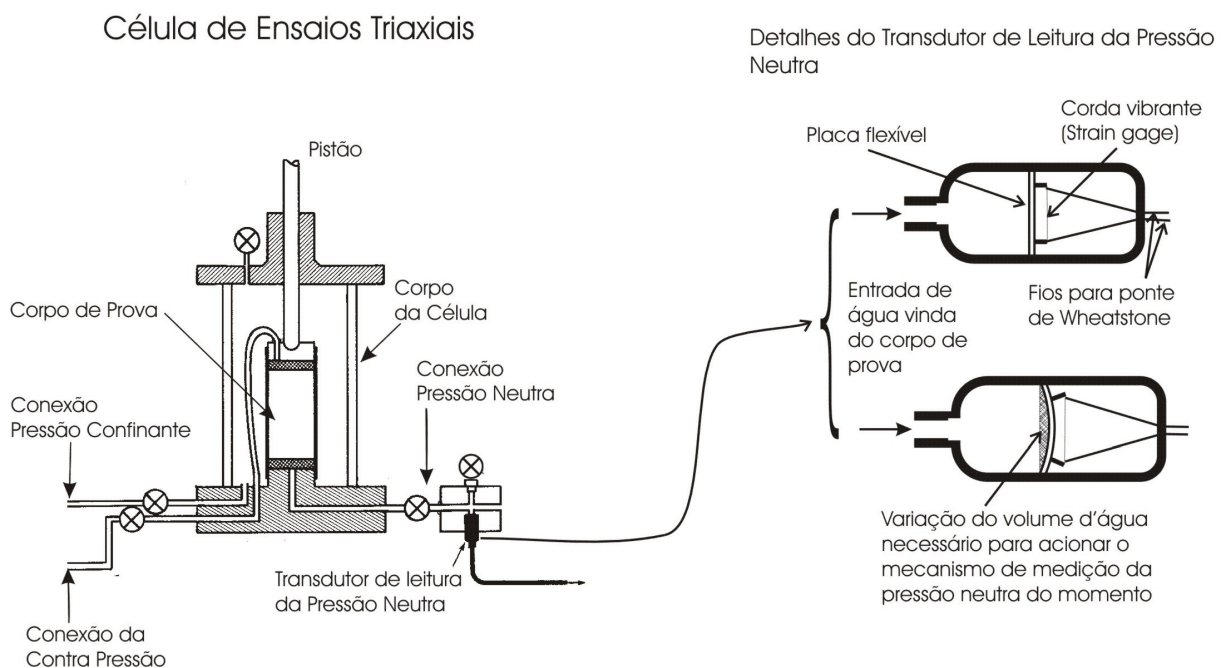


Figura 2.1 – Ilustração da célula de ensaios triaxiais e detalhe do funcionamento do transdutor de leitura da pressão neutra.

Os corpos de prova foram moldados, envolvidos em papel filtro, em toda sua área lateral (cobertura de 100%), com o objetivo de aumentar a velocidade de equalização da umidade e da pressão neutra.

Para o estudo do comportamento entre a taxa de poropressão específica e as deformações específicas e/ou tempo utilizaram-se 05 corpos de prova de argila mole saturada nos ensaios triaxiais CIU (Consolidation Isotropic Undrained), com medida de pressão neutra e topo e base lubrificadas. Esses 05 corpos de prova foram usados da seguinte maneira:

- a) Dois corpos de prova utilizados em ensaios Triaxiais CIU com leitura de pressão neutra, tipo CRS (Constant Rate of Strain) e com OCR (Over Consolidation Ratio – Razão de Sobre-Adensamento) igual a um;
- b) Três corpos de prova utilizados em ensaios Triaxiais CIU com leitura de pressão neutra, tipo CRS e com OCR superior a 4;

Os ensaios foram feitos com estas características tendo em vista que o comportamento tensão-deformação do solo, quando sob a ação de incremento do carregamento axial, depende fundamentalmente da relação entre a tensão confinante adotada e a sua tensão de pré-adensamento.

2.5 Cuidados especiais

Considerando que a capacidade de armazenamento de dados das remotas utilizadas chega a um máximo de 1280 leituras, e que a pressão neutra é lida a cada segundo, o tempo de rompimento do corpo de prova não podia exceder um tempo máximo de 20 minutos. Considerou-se, inicialmente, que a amostra, no momento do cisalhamento, romperia com uma deformação máxima de 20% de sua altura original. Assim, observando-se as recomendações e considerações a seguir:

“Uma das principais críticas ao ensaio triaxial é a não uniformidade da tensão e deformação (...). A principal causa dessa não uniformidade é o atrito nos extremos do corpo de prova que produz o efeito de embarrigamento e a concentração da dilatação em zonas locais que na verdade resulta no desenvolvimento prematuro de uma superfície de ruptura. Essas desvantagens são em grande parte superadas pelo uso de placas lubrificadas nos extremos que

por remover as zonas mortas, permite o uso de ensaios com amostras mais curtas.” (ROWE & BARDEN, 1964, p. 1)

bem como as considerações de Barden and McDermott (1965), adotou-se a utilização de “free ends”, ou seja redução do atrito na base e no topo do corpo de prova. Este sistema é composto de duas membranas de borracha cortadas no mesmo diâmetro do corpo de prova intercaladas com graxa de silicone e um disco de acrílico que, nesta ordem, foram colocados entre o corpo de prova e a pedra porosa. Tal procedimento tem como objetivo eliminar as “zonas mortas” do topo e da base dos corpos de prova prevenindo algum falso aumento na medida da resistência causada pela restrição à deformação dos extremos. Como a medida da poropressão se dá na base do corpo de prova tal procedimento evita uma não uniformidade de deformação ao longo do mesmo e, conseqüentemente, que se tenha um valor diferencial das pressões neutras entre sua zona central e as zonas das extremidades.

Apresentamos a seguir um desenho esquemático do “free end” utilizado no processo.

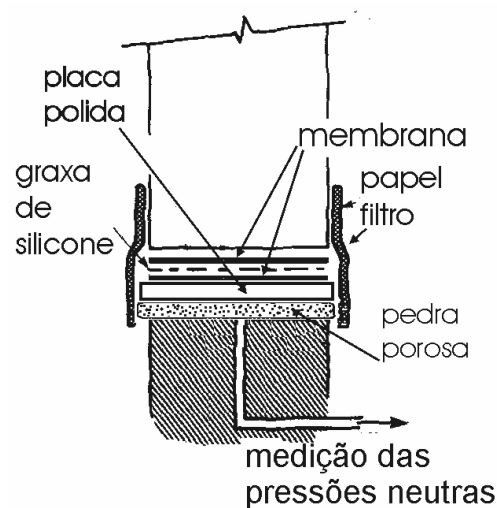


Figura 2.2. Desenho esquemático apresentando a composição do “free end”

2.6 Equipamentos utilizados nos ensaios

Foram utilizados os equipamentos do Laboratório de Geotecnia da Escola Politécnica da Ufba e computadores do MEAU - Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana também da Escola Politécnica da Ufba, quais sejam:

- equipamentos para ensaios triaxiais;
- prensa para ensaios com carga constante;
- dispositivo para moldagem de corpos de prova;
- transdutores para leitura de tensões totais e de pressão neutra;
- remotas correspondentes a cada transdutor;
- medidor de variação de volume;
- computador com programa de leitura e processamento dos dados obtidos nos ensaios;
- computador com planilha de cálculo para elaboração dos estudos com os dados obtidos nos ensaios, inclusive para elaboração dos gráficos correspondentes.

3 – REALIZAÇÕES DOS ENSAIOS

3.1 Procedimentos gerais

Para se analisar o comportamento reológico do solo sob seus aspectos gerais realizou-se dois ensaios de adensamento edométricos.

Para atender aos objetivos aqui propostos, que de uma forma geral necessitam de uma investigação do comportamento da poropressão específica antes da ruptura, quando confrontada com a deformação axial específica, optou-se pela execução de ensaios triaxiais adensados isotropicamente, não drenados, com medição de pressão neutra (CIU) e, para tanto os procedimentos básicos são aqueles já utilizados na prática geotécnica e consagrados pela literatura especializada, vide Bishop & Henkel (1962). A preparação e procedimentos adotados para a execução desses ensaios encontram-se descritos no APÊNDICE B da presente Dissertação.

Quando colocados nas respectivas células os corpos de prova receberam, na sua base e no seu topo, um sistema composto de duas membranas de borracha cortadas no mesmo diâmetro do corpo de prova intercaladas com graxa de silicone e um disco de acrílico que, nessa ordem, ficaram entre o corpo de prova e a pedra porosa. Tal procedimento tem por objetivo dotar os corpos de prova da condição de “free ends” eliminando por consequência as “zonas mortas” nos extremos das amostras prevenindo algum falso aumento na medida da resistência conforme já descrito anteriormente.

3.2 Primeiro grupo de amostras

3.2.1 Ensaios Triaxiais

Deste primeiro grupo moldaram-se 04 (quatro) corpos de prova denominados LM1, LM2, LM3 e LM4, que se prestaram a ensaios triaxiais CIU com medição de pressão neutra. Esses corpos de prova foram moldados com uma altura de 11,97 cm e diâmetro de 5,13 cm No APÊNDICE B constam os procedimentos adotados nesses quatro

ensaios. Dos resultados obtidos, aproveitou-se apenas aqueles inerentes ao LM 2 como também pode-se observar no referido apêndice.

3.3 Segundo grupo de amostras

3.3.1 Ensaios Edométricos

Moldaram-se dois corpos de prova, CPE-01 e CPE-02, para ensaios edométricos cujos procedimentos estão descritos no APÊNDICE B.

Os gráficos correspondentes a estes dois ensaios estão representados nos APÊNDICES C e D onde se pode observar que as curvas de adensamento iniciais não estão muito bem definidas, dificultando e, em alguns casos, até impedindo um possível cálculo do Cv.

Para determinação da tensão de pré-adensamento utilizou-se o método de Pacheco Silva (1970) conforme se pode observar no item 4.2.

3.3.2 Ensaios Triaxiais CIU com medida da poropressão

Moldaram-se quatro corpos de prova de amostras de cilindros de PVC sendo o CP-01, CP-02, CP-03 e CP-04 e três corpos de prova do bloco sendo o CPB-01, CPB-2 e CPB-03. O restante do material destas amostras foi utilizado para os ensaios de caracterização. Estes corpos de prova foram moldados também com diâmetro de 5,13 cm e altura de 11,97 cm à exceção do CP-04 que foi moldado com as dimensões de 5,13 cm de diâmetro e 10 cm de altura, adaptando-o, portanto, aos novos equipamentos fabricados com o objetivo de eliminar a acomodação do pistão no cabeçote de acrílico.

Os procedimentos adotados na elaboração dos ensaios referentes aos corpos de prova descritos acima, bem como o aproveitamento dos resultados obtidos, estão descritos detalhadamente no APÊNDICE B. Abaixo, na Tabela 3.1, apresentamos os seus resultados finais:

Quadro 3.1 – Resumo dos resultados dos ensaios triaxiais

Ensaio Triaxial	Resultado dos Ensaios						Observações
	σ'_3 do Adensa- mento (kPa)	σ'_3 na ruptura (kPa)	OCR	Teor de Umidade ²			
				No Topo (%)	No Centro (%)	Na Base (%)	
LM-01	-----	-----	----	----	----	----	Resultados abandonados
LM-02	310	310	1	----	----	----	
LM-03	-----	-----	----	----	----	----	Ensaio para reajuste dos equipamentos
LM-04	-----	-----	----	----	----	----	Resultados abandonados ³
CP-01	-----	-----	----	----	----	----	Resultados abandonados
CP-02	770	110	7	23,89	23,37	21,03	
CP-03	390	390	1	24,5	24,24	18,82	
CPB-01	-----	-----	----	----	----	----	Resultados abandonados
CPB-02	-----	-----	----	----	----	----	Resultados abandonados
CPB-03	-----	200	>4	25,68	24,60	22,10	
CP-04 ⁴	360	100	3,6				

² Após o rompimento do corpo de prova dividiu-se o mesmo em três partes para obtenção do teor de umidade no topo, no centro e na base.

³ Os motivos pertinentes aos “resultados abandonados” estão explicitados no Apêndice B – “Detalhes dos Procedimentos adotados para os Ensaios Triaxiais”.

⁴ Buscando eliminar a provável acomodação do pistão no cabeçote, durante o ensaio triaxial, resolveu-se fabricar um novo cabeçote de acrílico, idêntico ao anterior, porém dotado de um guia, também em acrílico, que tem a função de envolver a ponta do pistão desde antes do início do processo. Para tanto, fabricou-se, também, uma nova ponta de pistão mais comprida o suficiente para se acoplar no interior do guia do novo cabeçote. Fabricaram-se, também, novas células de acrílico, totalmente translúcidas.

4 – RESULTADOS E ANÁLISES

4.1 Informações gerais

Convém lembrar que dos ensaios realizados com os corpos de prova do primeiro grupo de amostra se incorporou apenas o LM-02, conforme consta da Tabela 3.1.

Assim, para a realização do presente trabalho, foram aproveitados os resultados dos ensaios triaxiais com os seguintes corpos de prova: LM-02; CP-02; CP-03; CP-04 e CPB-03 e os resultados dos ensaios edométricos com os seguintes corpos de prova: CPE-01 e CPE – 02.

4.2 Resultados gráficos dos ensaios edométricos

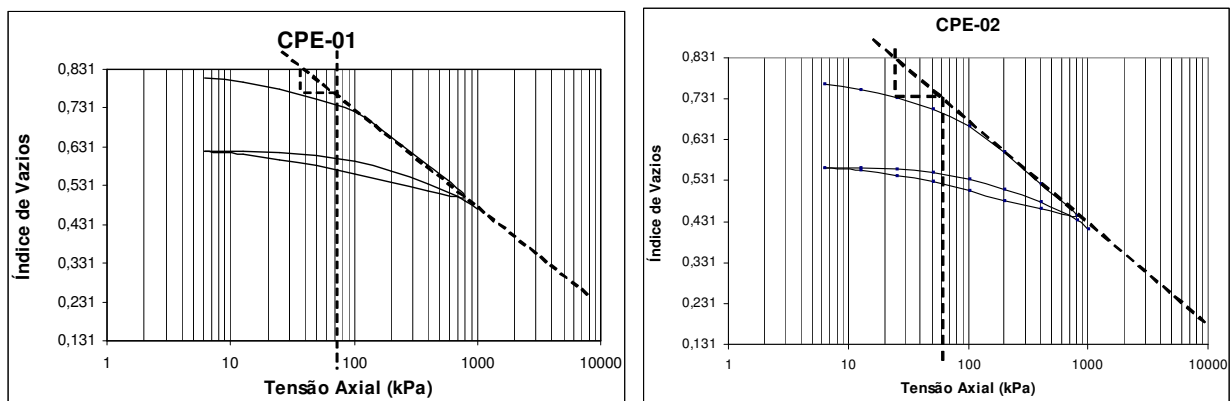


Figura 4.1 - Resultados dos ensaios edométricos CPE-01 e CPE-02 com a determinação da tensão de pré-adensamento virtual pelo método de Pacheco Silva (1970)

Para determinação da tensão de pré-adensamento virtual utilizou-se o método de Pacheco Silva (1970) conforme indicado na Figura 4.1 através das quais se concluiu por uma tensão de pré-adensamento virtual entre 60 kPa (CPE-02) e 72 kPa (CPE – 01).

As planilhas e gráficos correspondentes aos dois ensaios edométricos, CPE 1 e CPE 2, são constantes dos APÊNDICES C e D respectivamente.

4.3 Resultados dos ensaios Triaxiais CIU com medida de pressão neutra

4.3.1 Correções nas planilhas de dados

Para a elaboração dos gráficos com base nos resultados dos ensaios triaxiais, foram efetuadas algumas correções nas planilhas correspondentes como descrito abaixo.

Todos os ensaios triaxiais apresentaram, no tempo zero, um valor de carga axial maior que zero, onde se entende que este valor corresponde a uma carga que ocorreu durante o processo de ajustamento do pistão no cabeçote. Assim, corrigiu-se abatendo todas as leituras da coluna “Carga Axial” do valor correspondente no tempo zero.

Os ensaios CP-02 e CP-03 apresentaram, no tempo zero, um valor de deformação axial maior que zero, onde se entende que este valor corresponde a uma deformação conseqüente do exposto no parágrafo anterior. Assim, corrigiu-se abatendo todas as leituras da coluna “Deformação Axial” do valor correspondente no tempo zero. Esta correção foi também feita com relação à altura inicial do corpo de prova.

Os desenvolvimentos correspondentes aos resultados dos ensaios realizados, como por exemplo, carga axial, tensão desviatória e pressão neutra versus deformação axial, apresentam, no trecho inicial, um comportamento que indica uma acomodação do equipamento quando do início do processo de cisalhamento que se denominou, aqui, de “trecho de acomodação”. Entende-se que a acomodação do pistão na depressão que tem por objetivo receber a ponta do mesmo, localizada na superfície do cabeçote, é a responsável por tal fenômeno. Tal fato não afeta as análises aqui propostas na medida em que elas são realizadas a partir do primeiro ponto após esse trecho de acomodação. Entretanto, corrigiu-se também o desenvolvimento da deformação axial substituindo-se o “trecho de acomodação”, no gráfico “Carga Axial x ϵ_1 ”, pelo prolongamento de uma linha de tendência. Esta linha de tendência corresponde a pequeno trecho inicial da curva já com um desenvolvimento normal, logo após o término do “trecho de acomodação”, e seu prolongamento se deu no sentido de encontrar o eixo das abscissas. Obtiveram-se, assim, os novos valores de ϵ_1 que substituem aqueles correspondentes ao “trecho de acomodação”. Em seguida, abateu-se de todos os valores desta nova coluna “ ϵ_1 ”, do seu primeiro valor, correspondente ao tempo zero. A

Figura 4.2 abaixo, para um melhor entendimento, ilustra a correção aqui descrita, tomando como exemplo o ensaio com o LM-02 e o desenvolvimento da carga axial sem e com a correção da deformação axial (ϵ_1). A deformação axial corrigida se aplica, também, aos desenvolvimentos da tensão desviatória e da pressão neutra.

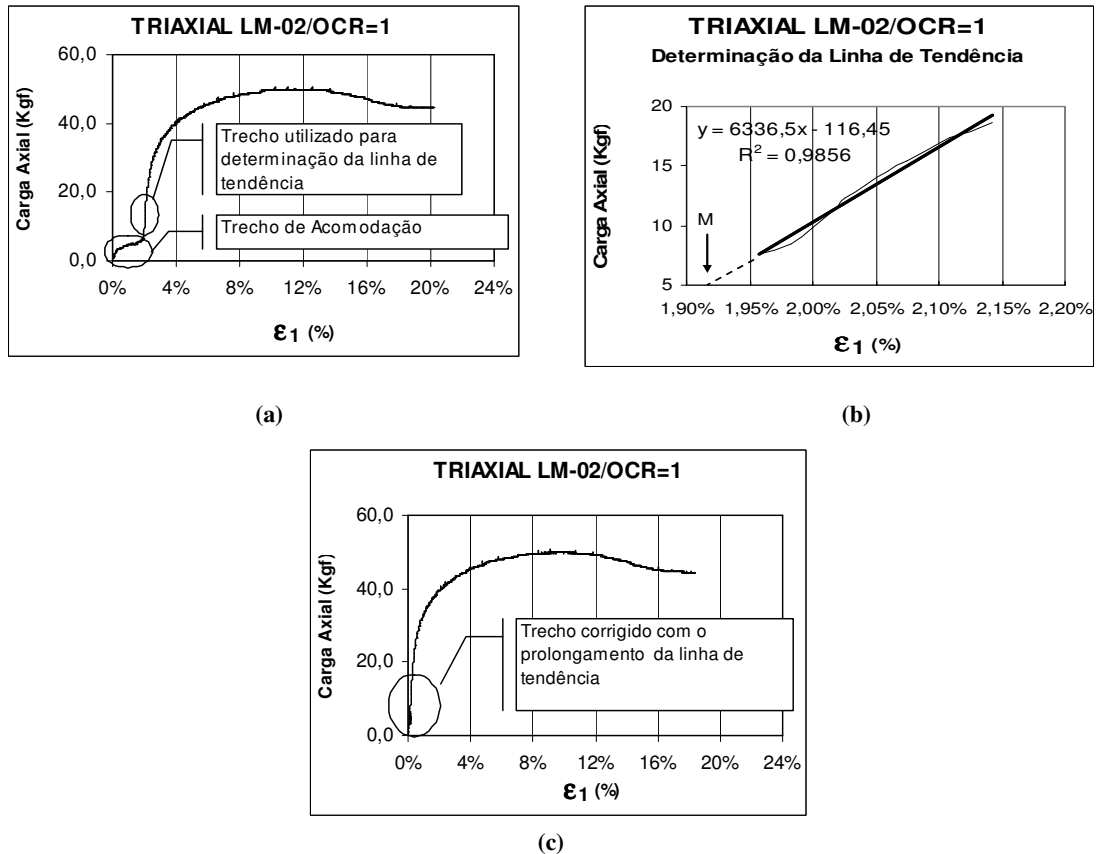


Figura 4.2 - Ilustração da correção do trecho de acomodação, pela correção da deformação axial, sendo (a) dados originais, (b) tratamento para a correção de dados e (c) correção efetuada.

Quanto ao desenvolvimento gráfico da taxa de propressão, optou-se pela eliminação do trecho de acomodação adotando-se, portanto, como ponto inicial, aquele correspondente ao primeiro ponto que lhe procede, vide Figura 4.2 (b) ponto M.

4.3.2 Análise dos resultados

a) Introdução

Seguindo o plano de ensaios apresentado no item 2.4 e os procedimentos descritos no subitem 3.3.2, se obteve, dos ensaios normalmente adensados (NA) e sobreadensados (SA), os seguintes dados:

Tabela 4.1 – Relação dos ensaios triaxiais e suas características principais

Ensaio	Tipo	Diâmetro do CP (cm)	Diâmetro do CP (cm)	Adensamento σ'_3 max. (kPa)	Cisalhamento σ'_3 (kPa)	OCR
LM-02	NA	5,13	11,97	310	310	1
CP-03	NA	5,13	11,97	390	390	1
CP-02	SA	5,13	11,97	770	110	7
CPB-03	SA	5,13	11,97	—	200	>4 ⁵
CP-04 (complementar)	SA	5,13	10	360	100	3,6

b) Observações preliminares quanto aos resultados obtidos dos ensaios realizados.

No propósito de melhor examinar a causa do “trecho de acomodação”, elaborou-se o ensaio triaxial complementar CP-04, para o qual foram fabricadas novas peças que compõem o equipamento de ensaio conforme já descrito no subitem 3.3.2 e de forma detalhada no APÊNDICE B. Esta providência teve como objetivo eliminar a necessidade de

⁵ CPB-03: Adensamento em 05 (cinco) estágios cada um durante um tempo de 24 (vinte e quatro) horas, sendo que os últimos estágios, por consequência, foram interrompidos antes do início do processo de estabilização. Assim não se tem o valor exato da tensão correspondente ao adensamento alcançado. Entretanto, realizaram-se dois estágios de descarregamentos, esperando completar o processo de estabilização de cada um, buscando assim obter um OCR superior a 4 (quatro). Este objetivo foi alcançado tendo em vista o comportamento do excesso da pressão neutra ao longo do cisalhamento não drenado, como pode ser observado adiante, que depois de uma fase com valores positivos reduz-se a zero e passa a apresentar valores negativos. Tal comportamento, conforme a literatura especializada, ocorre normalmente em corpos de prova com OCR superior a 4 (quatro).

acomodação da ponta do pistão no cabeçote que, como se entende, é a causa da existência do “trecho de acomodação” o que veio a se confirmar através dos seus resultados gráficos, como se pode constatar na Fig. 4.4. Entretanto, esse processo pode induzir atrito no pistão reduzindo a carga axial.

Os dois primeiros ensaios realizados foram o LM – 02 e o CP-02, nos quais se considerou, para cálculo da velocidade do pistão no processo de cisalhamento, que os corpos de prova iriam romper com 20% (vinte por cento) de deformação. Com a experiência destes dois ensaios reduziu-se a previsão de rompimento dos demais corpos de prova (CP-03, CPB-03 e CP-04) para 13% (treze por cento). Em consequência do exposto, e da limitação de armazenamento, das remotas, os gráficos “ $\sigma_d \times \epsilon_1$ ou tempo” referentes aos dois primeiros ensaios são mais alongados em relação à abscissa que os dois últimos, o que também pode ser observado nas Figuras 4.3 e 4.4.

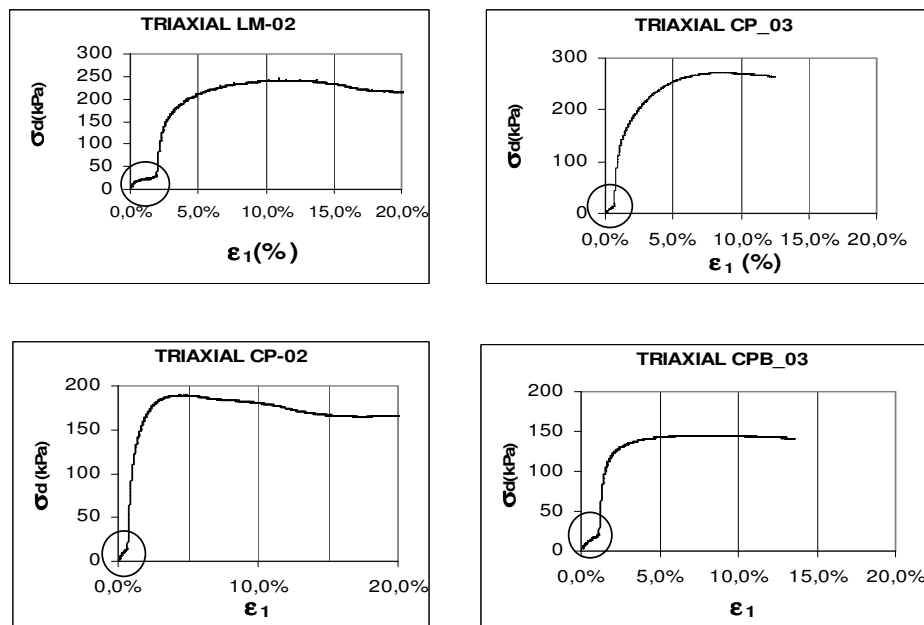


Figura 4.3 – Resultados gráficos correspondentes aos ensaios normalmente adensados LM-02 e CP-03 e sobreadensados CP-02 e CPB-03 com destaque para o trecho inicial dos mesmos onde se observa o trecho de acomodação.

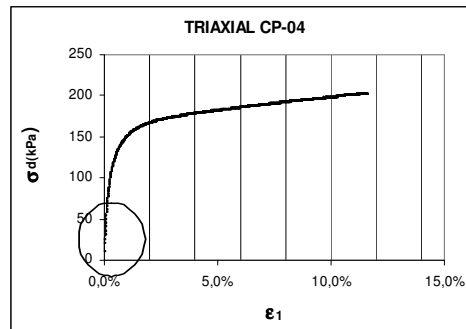


Figura 4.4 - Resultado gráfico correspondente ao ensaio complementar CP-04 com destaque para o trecho inicial do mesmo onde se observa a inexistência do trecho de acomodação

No estudo da taxa de poropressão específica, considerou-se a proposta de Guimarães (2000) que é baseada na derivada da pressão neutra (u), ou seja,

$$d\nu/dt = \{(u_f - u_i) / [(u_f + u_i)/2]\} / (t_f - t_i) \quad (4.1)$$

tendo os subscritos i e f os seguintes significados: i registro no instante considerado e f no instante seguinte, e onde

$$d\nu = du / u \quad (4.2)$$

sendo ν = poropressão específica; du = variação instantânea da poropressão na etapa de análise e u = poropressão no instante considerado. Desta forma, a Taxa de Poropressão Específica vem a refletir, de forma ampliada, o comportamento da poropressão ao longo do processo de cisalhamento.

Adicionou-se aqui uma análise, também, do comportamento da Taxa de Poropressão Específica, calculada com base na derivada do excesso de pressão neutra (Δu) buscando assim uma abrangência maior do objetivo desta pesquisa. Desta forma teremos:

- “Taxa de Poropressão Específica” ou “TPE” - determinada com base na variação dos valores da pressão neutra (u);
- “Taxa de Poropressão Específica em Δu ” ou “TPE em Δu ” - determinada com base na variação do excesso de pressão neutra (Δu).

c) Gráficos representativos dos resultados obtidos nos ensaios normalmente adensados e sobreadensados.

Antes de se iniciar as análises correspondentes aos resultados obtidos, para efeito de verificação da sua compatibilidade com os resultados padrões disponíveis em literatura específica, apresentam-se, comparativamente, os gráficos “ $\sigma_d \times \epsilon_1$ ” e os das trajetórias de tensões correspondentes a todos os ensaios realizados. Apresentam-se, ainda, gráficos individualizados, “ $\sigma_d \times \epsilon_1$ ”, “ $u \times \epsilon_1$ ” e trajetória de tensões, representativos dos ensaios normalmente adensados e sobreadensados e, para tanto se utilizou aqueles correspondentes aos corpos de prova LM-02/OCR = 1 e CP-02/OCR = 7, conforme Figuras 4.5 e 4.6 a seguir.

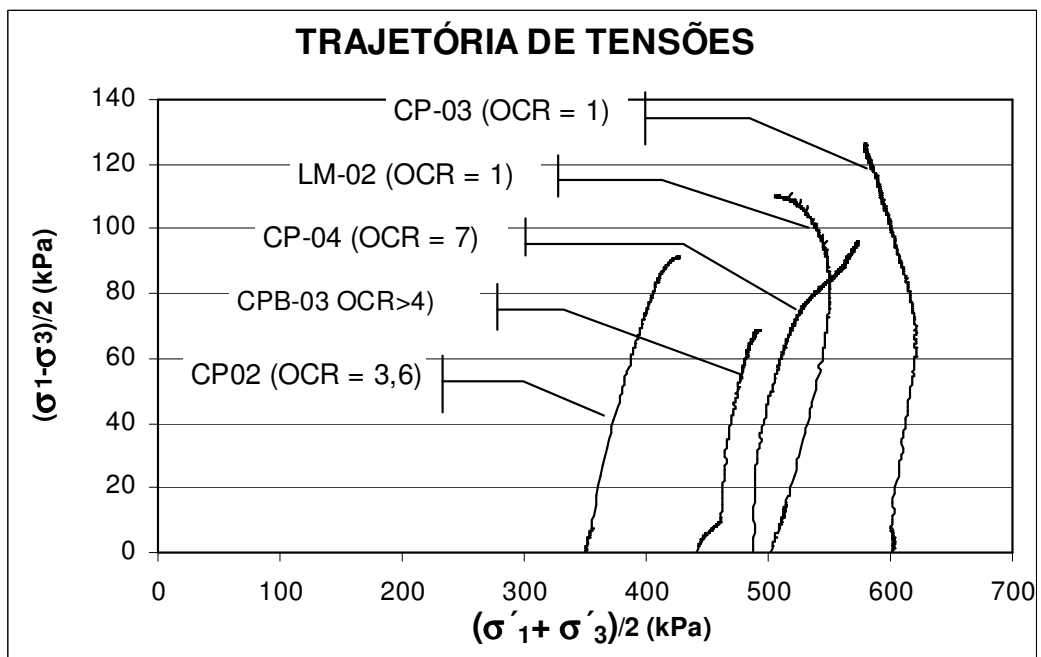
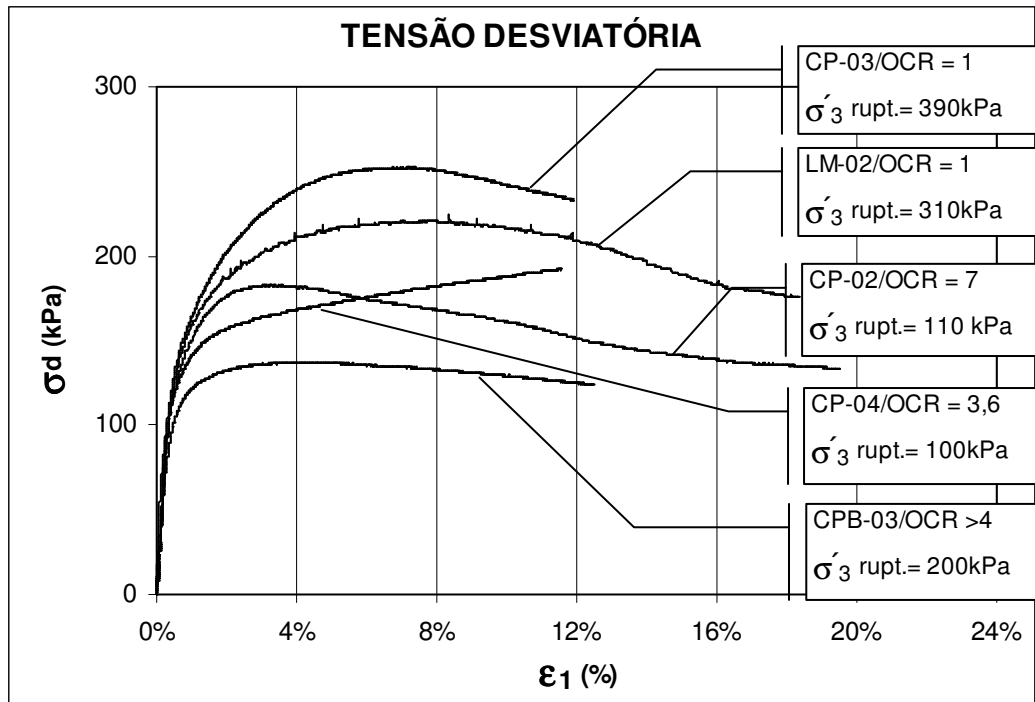


Figura 4.5 - Resultados das tensões desviatórias e trajetórias de tensões dos ensaios realizados

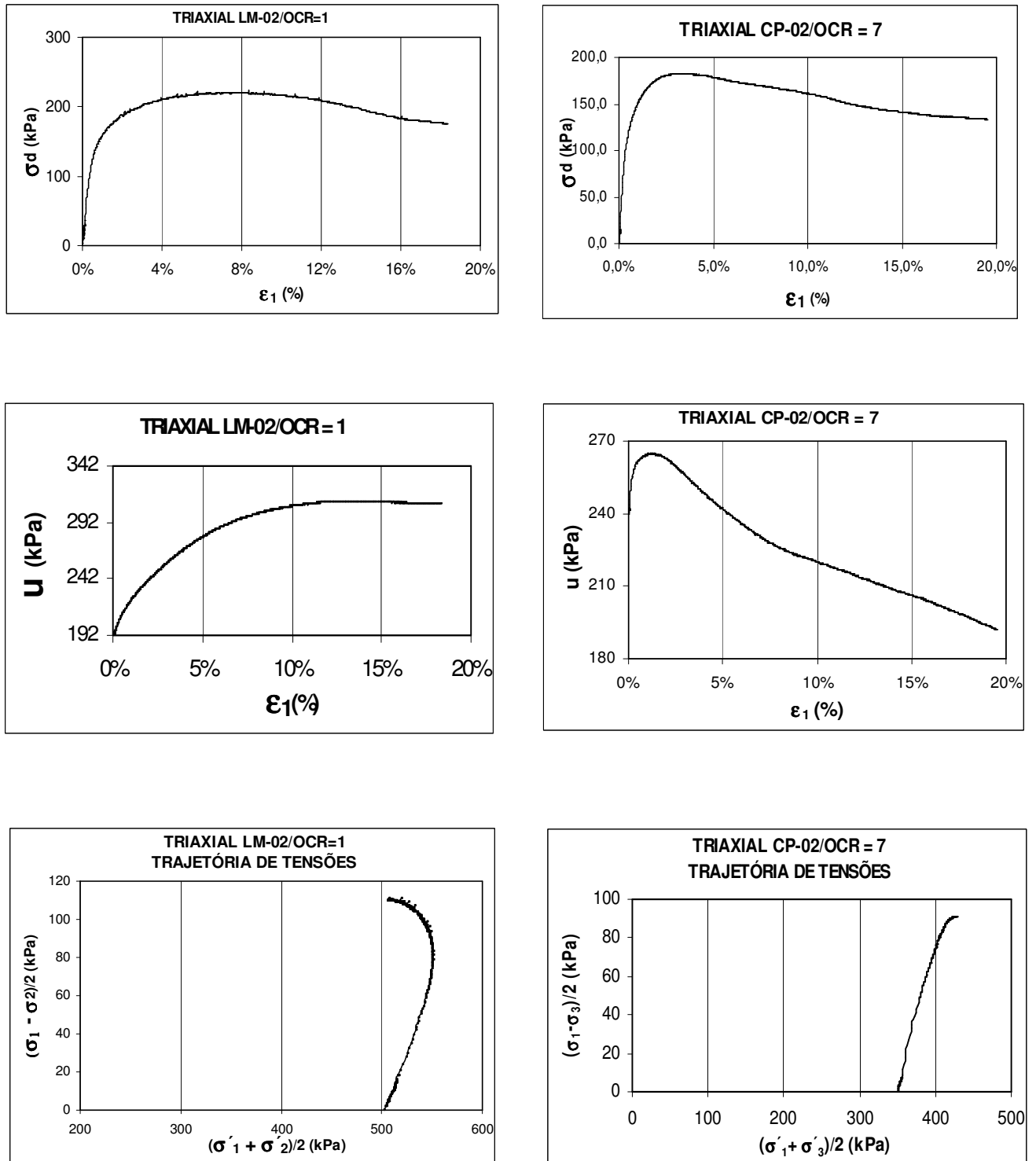


Figura 4.6 – Exemplo dos comportamentos dos ensaios normalmente adensados (representado pelo LM-02) e sobreadensados (representado pelo CP-02) durante o estágio de cisalhamento.

d) Padrão de comportamento da Taxa de Poropressão Específica

Nas análises dos desenvolvimentos gráficos das Taxas de Poropressão Específica, considera-se como o primeiro ponto de leitura ou ponto inicial, aquele que corresponde ao primeiro ponto após o trecho de acomodação. Assim, teremos:

Tabela 4.2 Ensaios triaxiais e os pontos iniciais das TPE's e TPE's em "Δu" que lhes correspondem.

Ensaios	Momento Considerado como Início do Desenvolvimento da Taxa de Poropressão Específica			
	Ponto Inicial da TPE		Ponto Inicial da TPE em "Δu"	
	ϵ_1 (%)	TPE	ϵ_1 (%)	TPE em "Δu"
LM-02/OCR = 1	0,2041	0,0804829	0,1455	0,36842
CP-03/OCR = 1	0,0823	0,0093	0,0823	0,1332
CP-02/OCR = 7	0,092	0,0094	0,092	0,4381
CPB-03/OCR > 4	0,1176	0,0081	0,1635	-4,0290
CP-04/OCR = 3,6	0,0084	0,0101	0,0084	1,0219

- Padrão do comportamento da Taxa de Poropressão Específica em ensaios normalmente adensados (LM-02 e CP-03)

Observa-se nos dois ensaios normalmente adensados, que após o primeiro ponto de leitura da TPE, há uma busca de equilíbrio em torno de uma taxa fixa o que pode ser constatado através dos gráficos constantes das Figuras 4.7 e 4.8.

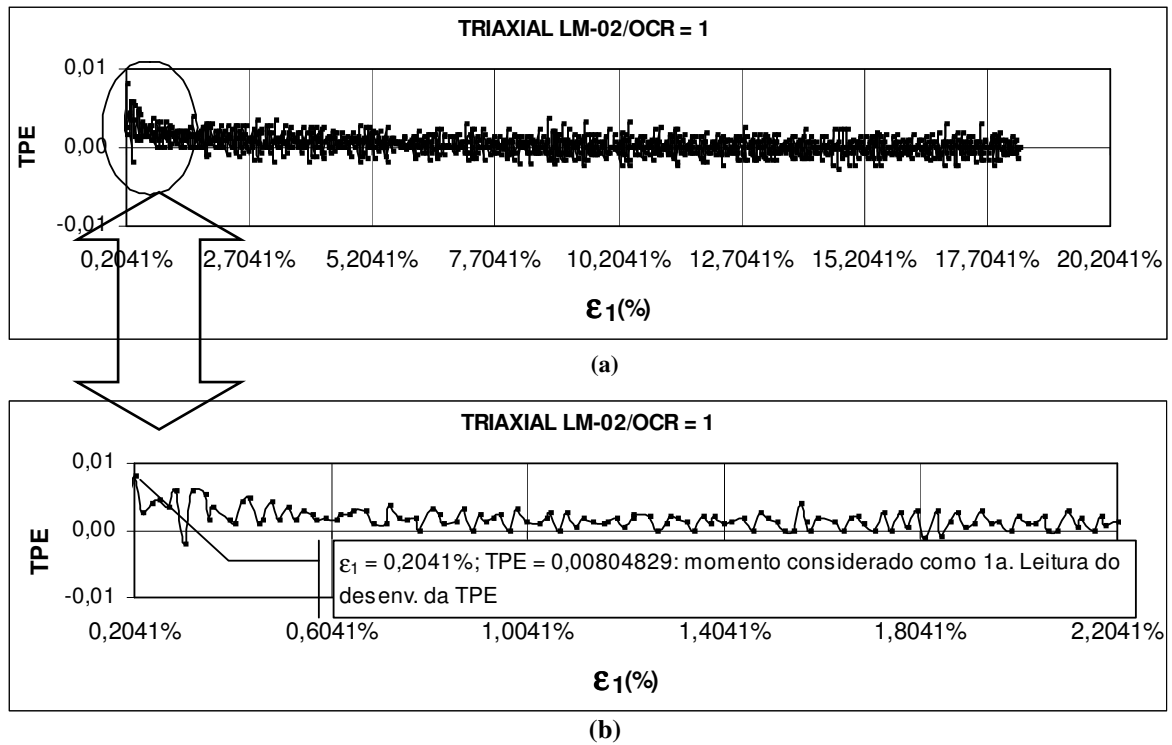


Figura 4.7 – Resultado gráfico da TPE correspondente ao ensaio triaxial com o LM-02 onde se observa uma tendência em buscar um equilíbrio do seu desenvolvimento, em torno de uma taxa fixa, próxima de zero.

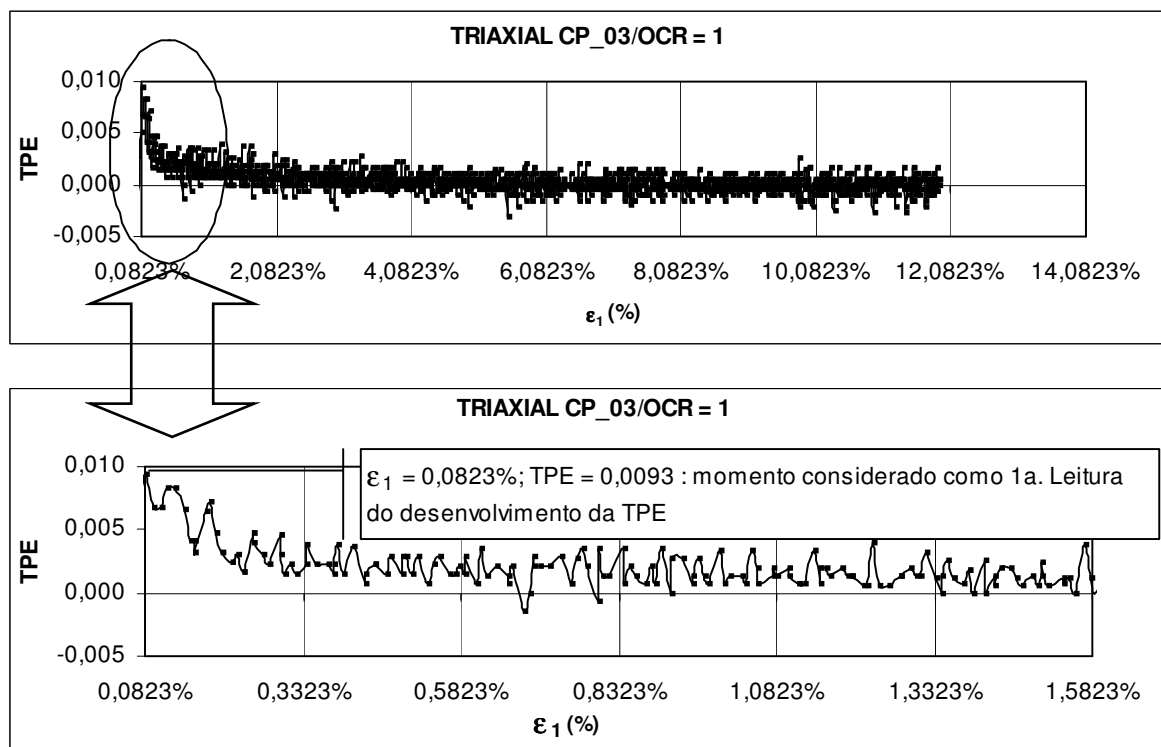


Figura 4.8 – Resultado gráfico da TPE correspondente ao ensaio triaxial com o CP-03, onde se observa a tendência em buscar um equilíbrio do seu desenvolvimento, em torno de uma taxa fixa, próxima de zero.

A busca de equilíbrio da TPE em torno de uma taxa fixa próxima de zero, se dá de forma lenta, sendo que a TPE do triaxial LM-02, após o primeiro ponto de leitura, alcança o equilíbrio em torno de uma taxa fixa depois de 9,5481% (9,7522% - 0,2041%) de deformação axial e que a TPE do triaxial CP-03, após o primeiro ponto de leitura, alcança o equilíbrio em torno de uma taxa fixa da TPE depois de 5,6646% (5,7469% - 0,0823%) de deformação axial (ver gráficos das Figuras 4.9 e 4.10). Este equilíbrio representa uma oscilação em torno de uma taxa fixa que se mantém, sem se observar outra alteração em suas características, até o momento final do ensaio.

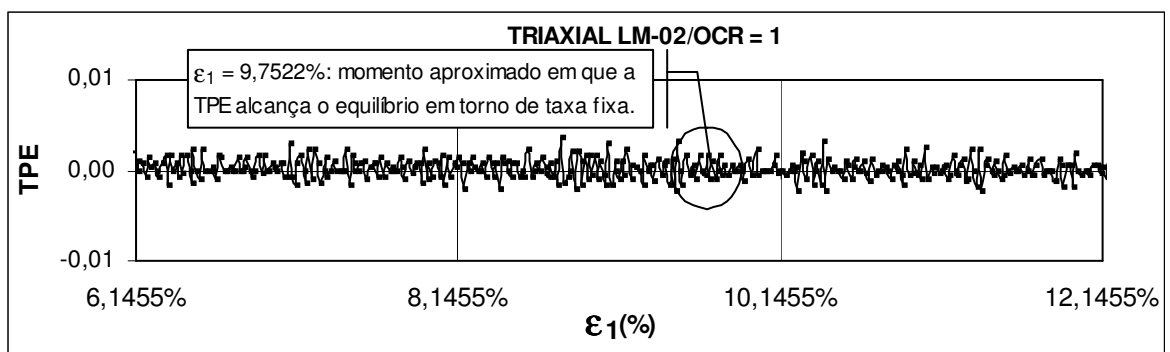
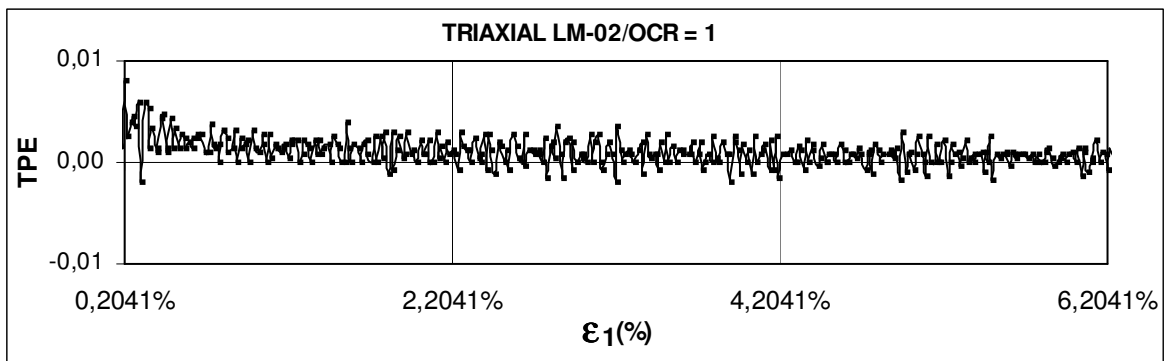


Figura 4.9 – Resultado gráfico da TPE referente ao ensaio triaxial com o LM-02, mostrando que a oscilação da TPE, após o primeiro ponto de leitura, alcança o equilíbrio em torno da taxa fixa após 9,5481% de deformação axial.

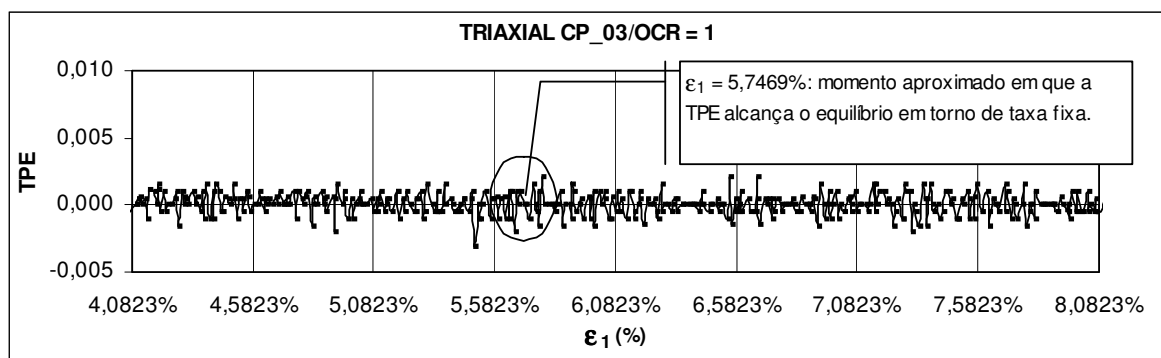
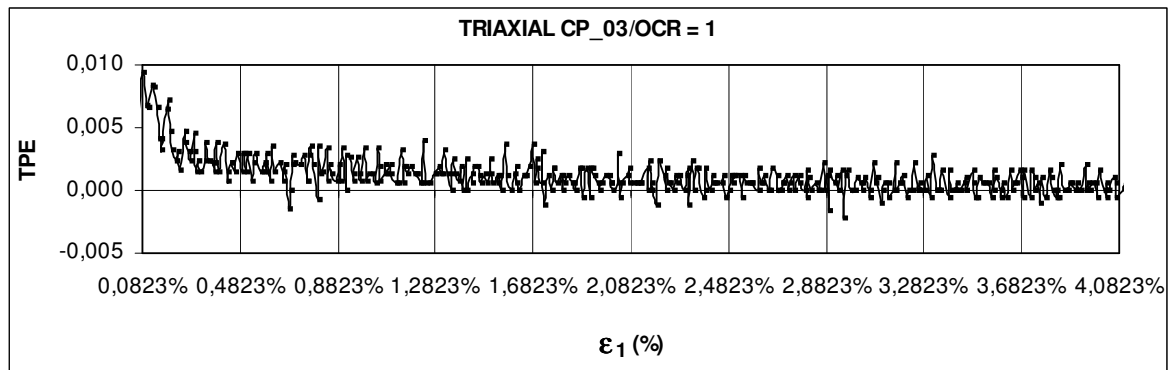


Figura 4.10 – Resultado gráfico correspondente ao ensaio triaxial com o CP_03, mostrando que a oscilação da TPE, após o primeiro ponto de leitura, alcança o equilíbrio em torno da taxa fixa, após 5,6646% de deformação axial.

– **Padrão do comportamento da Taxa de Poropressão Específica em “ Δu ” em ensaios normalmente adensados (LM-2 e CP-03)**

Observa-se nos dois ensaios normalmente adensados, que após o primeiro ponto de leitura da TPE em “ Δu ”, a exemplo do que acontece com a TPE, há uma busca de equilíbrio em torno de uma taxa fixa o que pode ser constatado através dos gráficos constantes das Figuras 4.11 e 4.12.

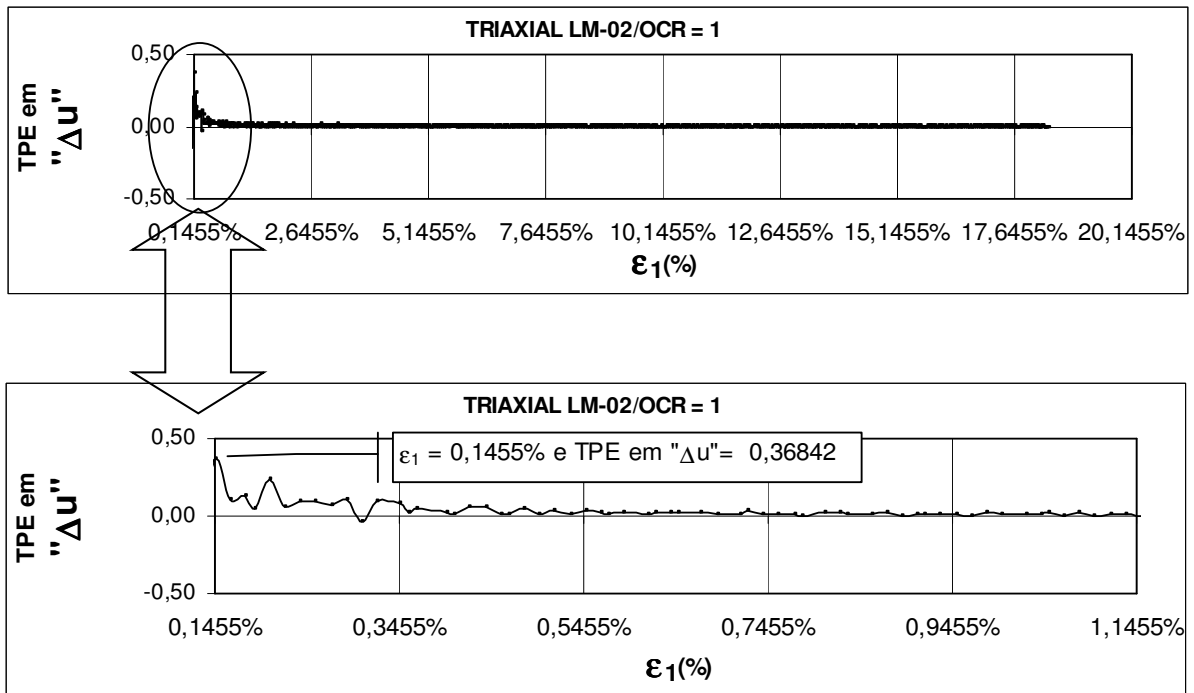


Figura 4.11 – Resultado gráfico, correspondente ao ensaio triaxial com o LM 02, onde se observa a tendência da TPE em “Δu” em buscar um equilíbrio do seu desenvolvimento, em torno de uma taxa fixa, próxima de zero.

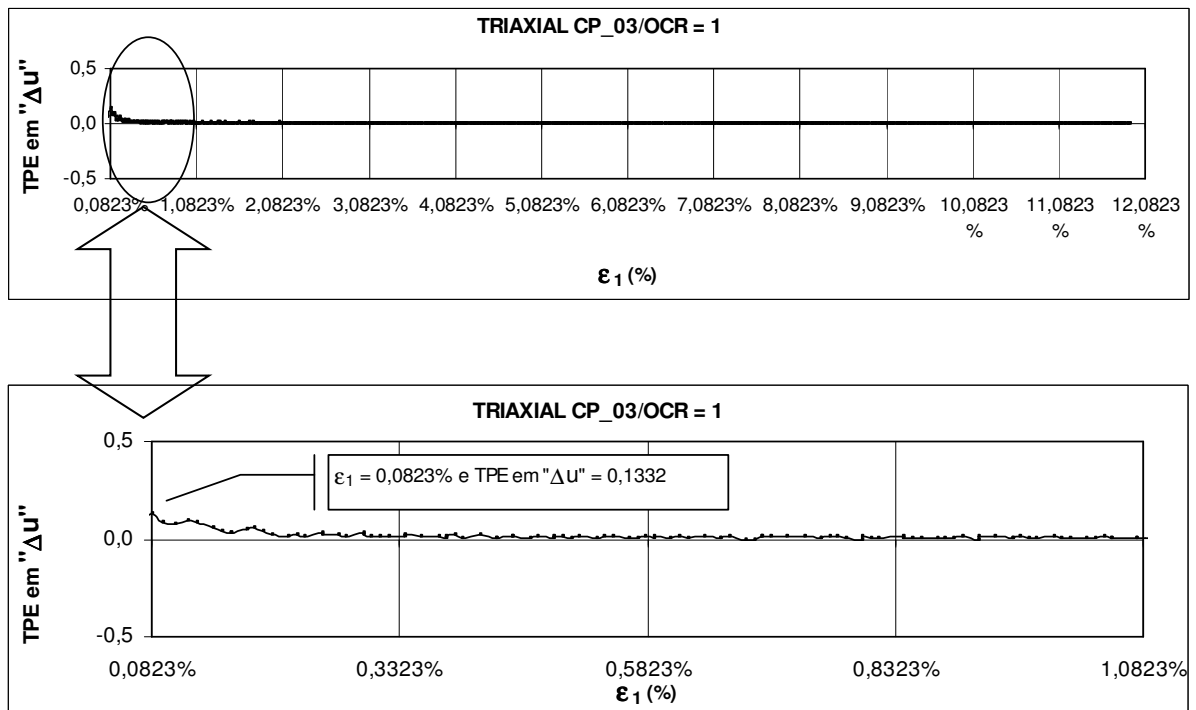


Figura 4.12 – Resultado gráfico, correspondente ao ensaio triaxial com o CP- 03, onde se observa a tendência da TPE em “Δu” em buscar um equilíbrio do seu desenvolvimento, em torno de uma taxa fixa, próxima de zero.

As TPE's em " Δu " dos dois ensaios aqui em análise, apresentam, após o primeiro ponto de leitura, um retorno ao equilíbrio em torno de uma taxa fixa num tempo de mesma ordem de grandeza deste mesmo fenômeno referentes às TPE's, ou seja, aproximadamente após 8,6946% (8,8401% - 0,1455%) de deformação axial para o LM-02 (ver Figura 4.13) e 5,1698% (5,2521% - 0,0823%) de deformação axial para o CP-03 (ver Figura 4.14). A partir de então não se observou nenhuma particularidade a mais nos desenvolvimentos das TPE's em " Δu ", observando-se que estes mantêm as mesmas características de oscilação em torno de uma taxa fixa até o final.

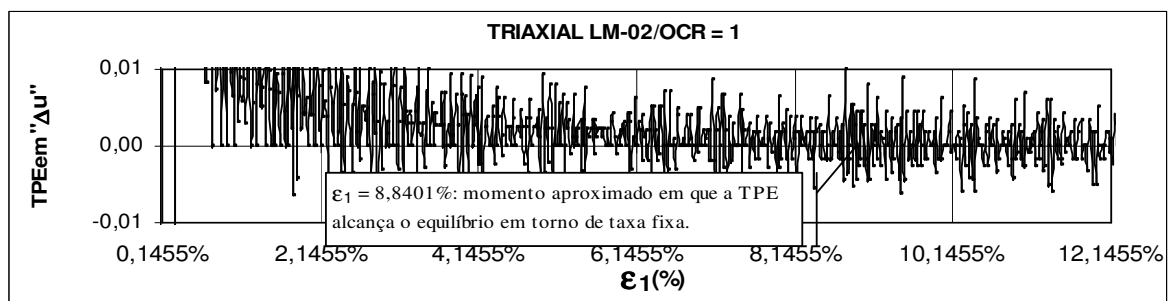


Figura 4.13 – Resultado gráfico da TPE em " Δu " correspondente ao ensaio triaxial com o LM-02, mostrando que, após o primeiro ponto de leitura, a sua oscilação alcança o equilíbrio, em torno de uma taxa fixa, aproximadamente após 8,6946% de deformação axial.

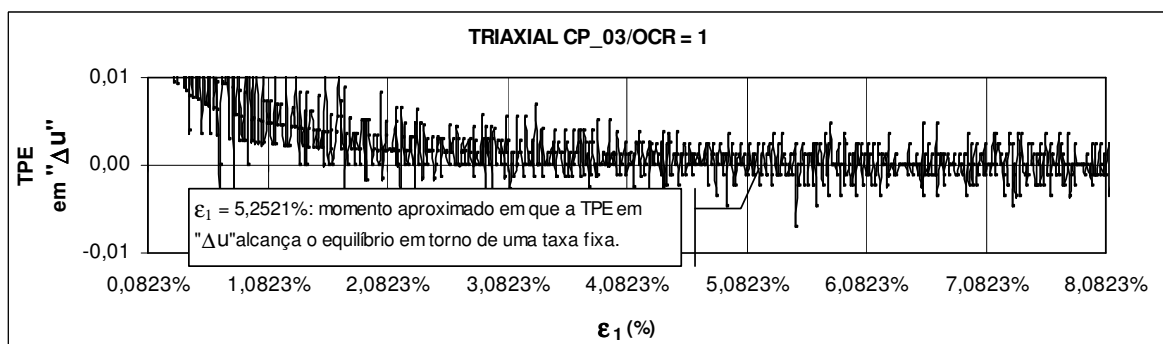


Figura 4.14 – Resultado gráfico da TPE em " Δu " correspondente ao ensaio triaxial com o CP-03, mostrando que, após o primeiro ponto de leitura, a sua oscilação alcança o equilíbrio, em torno de uma taxa fixa, aproximadamente após 5,1698% de deformação axial.

– Padrão do comportamento da Taxa de Poropressão Específica em ensaios sobreadensados (CP-02, CPB-03 e CP-04)

Os resultados da TPE referentes aos ensaios sobreadensados CP-02 e CPB - 03, igualmente aos ensaios normalmente adensados, também apresentam uma busca da TPE por um equilíbrio em torno de umas taxas fixas, próximas de zero, após o momento considerado como o seu primeiro ponto de leitura. Tais fatos podem ser claramente observados através dos gráficos das Figuras 4.15 e 4.16. O resultado referente ao ensaio sobreadensado CP-04 que foi realizado com equipamentos apropriados para evitar a ocorrência do “trecho de acomodação”, apresenta também, logo após o primeiro ponto de leitura do desenvolvimento da TPE, uma busca por um equilíbrio em torno de uma taxa constante de menor valor. Tal comportamento pode ser observado nos gráficos da Figura 4.17.

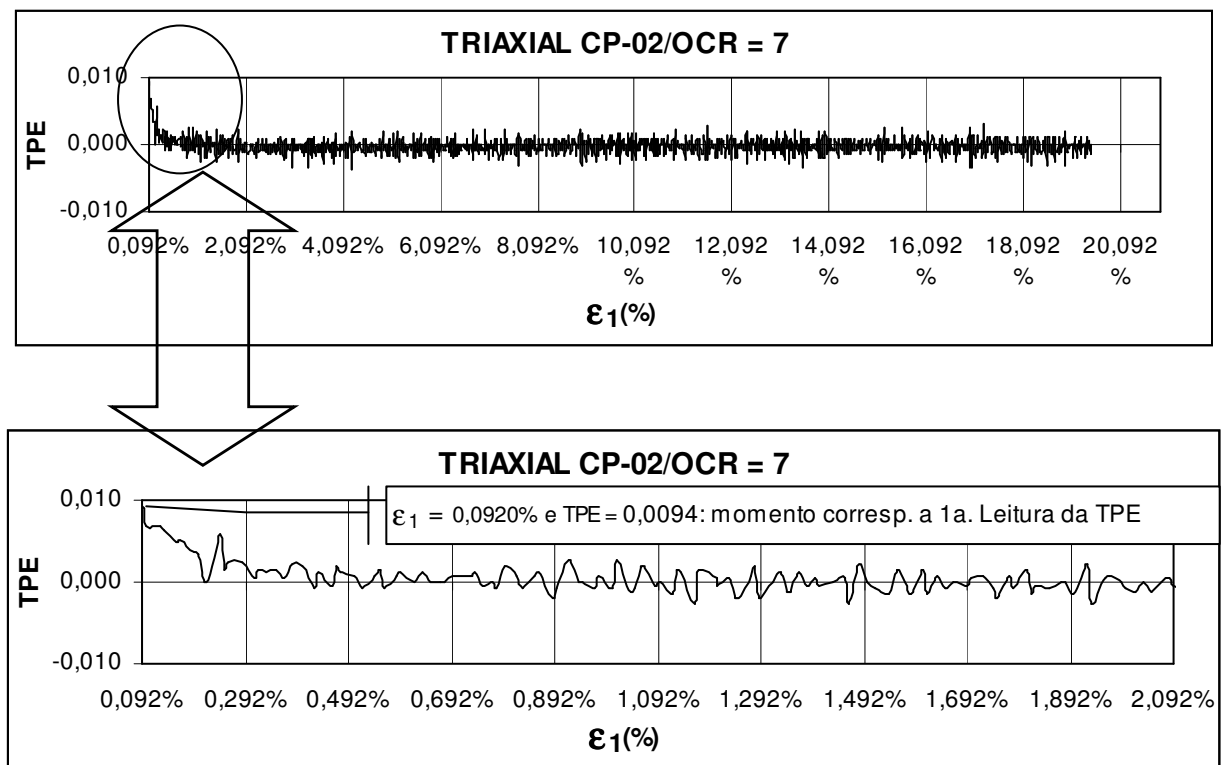


Figura 4.15 – Resultado gráfico da TPE correspondente ao ensaio triaxial com o CP-02 onde se observa sua tendência em buscar um equilíbrio do seu desenvolvimento, em torno de uma taxa fixa, próxima de zero.

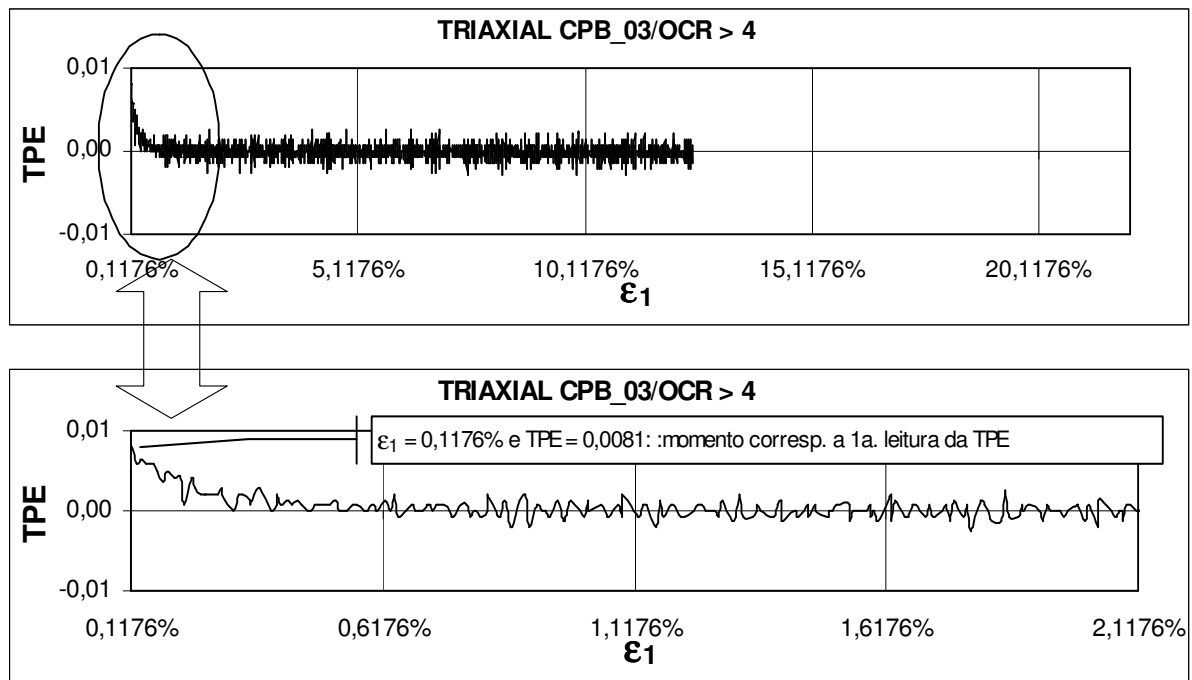


Figura 4.16 - Resultado gráfico da TPE correspondente ao ensaio triaxial CPB-03 onde se observa sua tendência por buscar um equilíbrio do seu desenvolvimento, em torno de uma taxa fixa, próxima de zero.

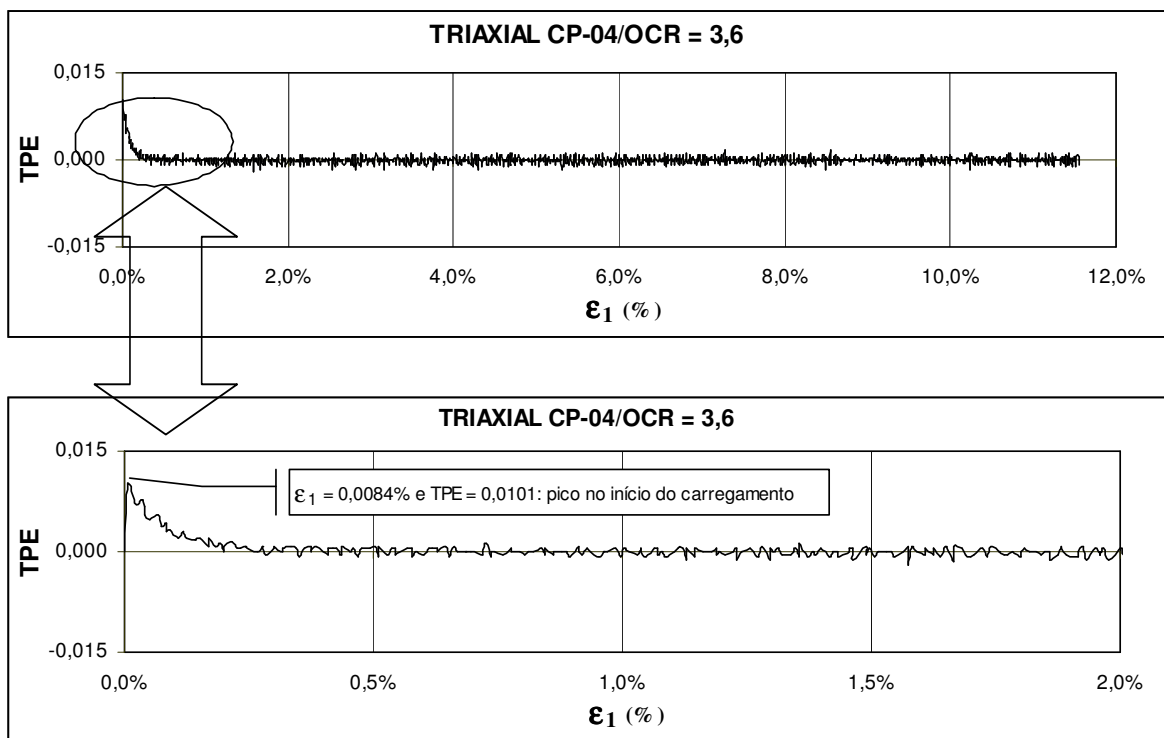


Figura 4.17 – Resultado gráfico da TPE correspondente ao ensaio triaxial com o CP-04 onde se observa sua tendência por buscar um equilíbrio do seu desenvolvimento, em torno de uma taxa fixa, próxima de zero.

Observando o comportamento da TPE, aqui também se verifica que após o primeiro ponto de leitura há uma busca de equilíbrio da sua oscilação em torno de uma taxa constante. Através dos gráficos das figuras 4.18, 4.19 e 4.20 pode-se observar que a TPE alcança o seu equilíbrio aproximadamente após 1,6068% (1,6988% - 0,0920%) de deformação axial para o CP-02, após 1,1756% (1,2932% - 0,1176%) de deformação axial para o CPB-03 e após 1,2552% (1,2636% - 0,0084%) de deformação axial para o CP-04. Esta oscilação equilibrada em torno de uma taxa constante se mantém sem se observar alterações significativas até o final do desenvolvimento das TPE's. Nota-se que a busca do equilíbrio aqui, se dá mais rapidamente do que nos desenvolvimentos das TPE's correspondentes aos ensaios normalmente adensados.

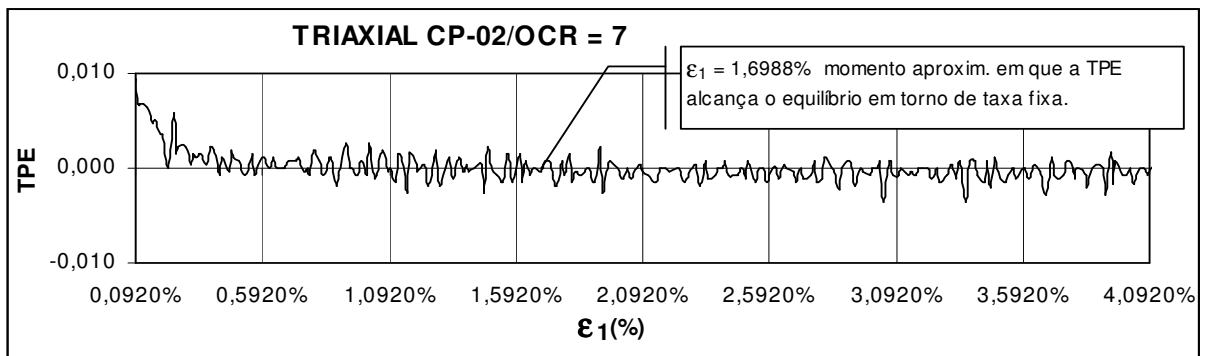


Figura 4.18 – Resultado gráfico da TPE correspondente ao ensaio triaxial com o CP-02, mostrando que, após o primeiro ponto de leitura, a sua oscilação alcança o equilíbrio em torno de uma taxa fixa aproximadamente após 1,6068% de deformação axial.

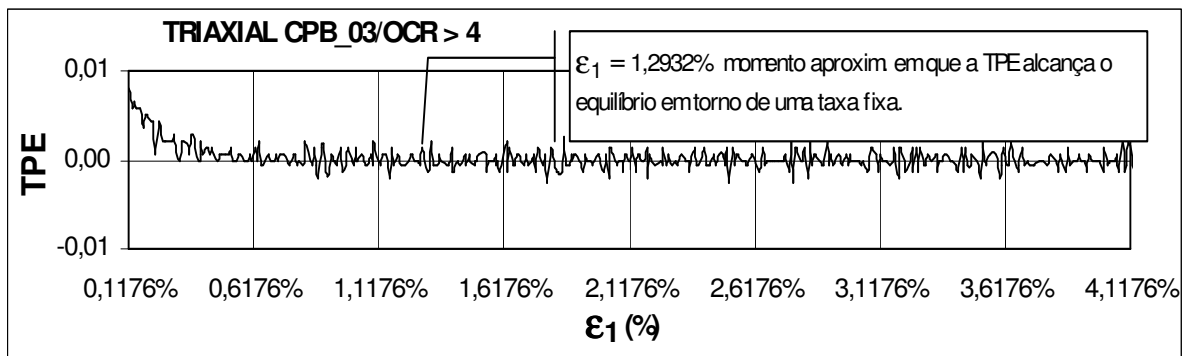


Figura 4.19 – Resultado gráfico da TPE, correspondente ao ensaio triaxial com o CPB_03, mostrando que, após o primeiro ponto de leitura, a sua oscilação alcança o equilíbrio, em torno de uma taxa fixa, aproximadamente após 1,1756% de deformação axial.

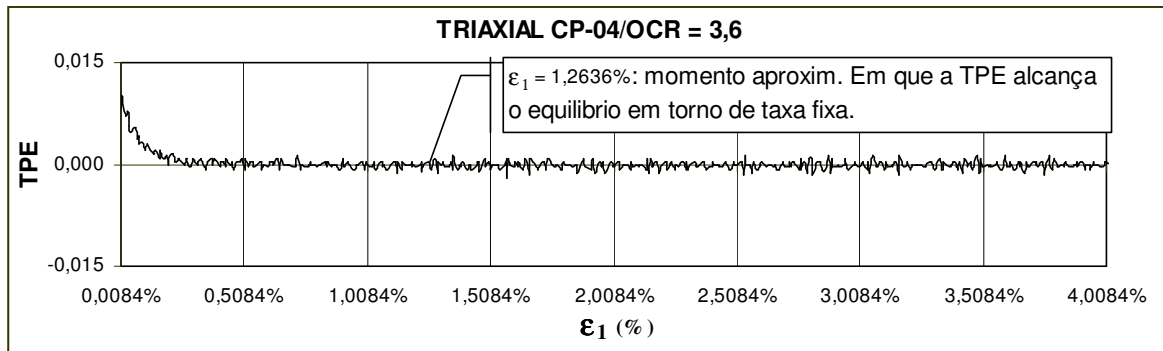


Figura 4.20 – Resultado gráfico da TPE, correspondente ao ensaio triaxial com o CP-04, mostrando que, após o primeiro ponto de leitura, a sua oscilação alcança o equilíbrio, em torno de uma taxa fixa, aproximadamente após 1,2552% de deformação axial.

– Padrão do comportamento da Taxa de Poropressão Específica em “ Δu ” em ensaios sobreadensados (CP-02, CPB-03 e CP-04)

Analisando os gráficos constantes das Figuras 4.21, 4.22 e 4.23 observam-se que as Taxas de Poropressão Específica em “ Δu ”, relativas aos ensaios sobreadensados, apresentam um comportamento similar às suas correspondentes TPE’s analisadas acima, ou seja, apresentam, logo após ao momento considerado como primeiro ponto de leitura, uma busca de equilíbrio, de sua oscilação, em torno de uma taxa fixa próxima de zero. Após os primeiros pontos de leitura correspondentes aos ensaios com o CP-02 e o CP-04, que têm valores positivos, o desenvolvimento das TPE’s em “ Δu ” que lhes correspondem buscam, imediatamente, um equilíbrio em torno de uma taxa constante. Entretanto, o ensaio correspondente ao CPB-03 apresenta um primeiro ponto de leitura da TPE com valor negativo passando imediatamente a um outro ponto de valor positivo e, só após esta oscilação, tende a uma busca de equilíbrio em torno de uma taxa fixa próxima de zero. Como analisado mais adiante, esta alteração do desenvolvimento da TPE em “ Δu ” do CPB-03 indo para o negativo e em seguida para o positivo, tem relação direta com a mudança do excesso de pressão neutra de negativo para positivo isto é, mudança na tendência do corpo de prova de aumentar de volume para tendência a diminuir de volume.

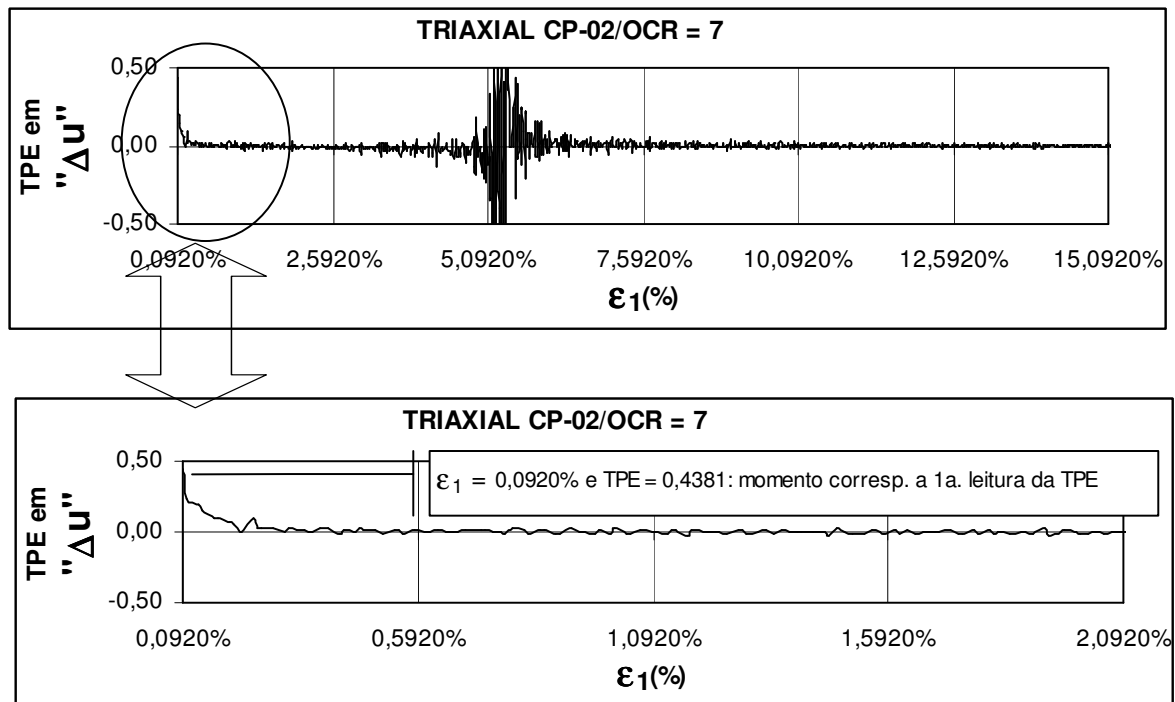


Figura 4.21 – Resultado gráfico da TPE correspondente ao ensaio triaxial com o CP-02, onde se observa que após o primeiro ponto de leitura, seu desenvolvimento apresenta uma busca do equilíbrio em torno de uma taxa fixa até acontecer nova alteração.

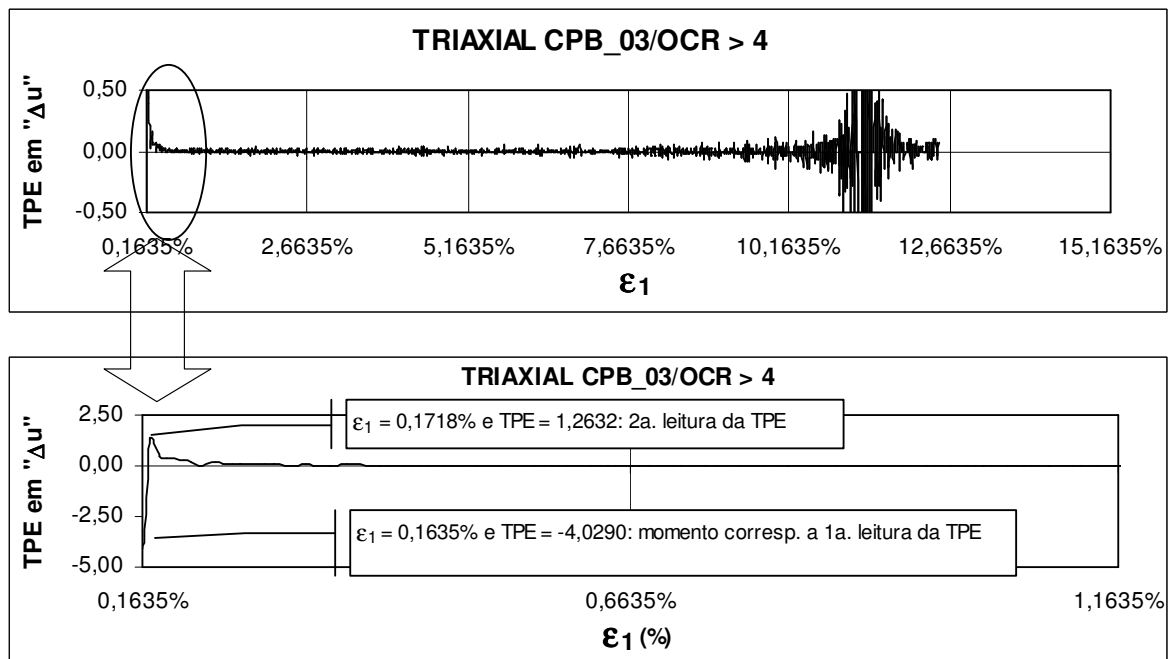


Figura 4.22 – Resultado gráfico da TPE em "Δu" correspondente ao ensaio triaxial com o CPB-03, onde se observa alterações, no seu desenvolvimento, nos sentidos positivo e negativo do gráfico logo após o início do carregamento e, em seguida, busca o equilíbrio em torno de uma taxa fixa até acontecer nova alteração.

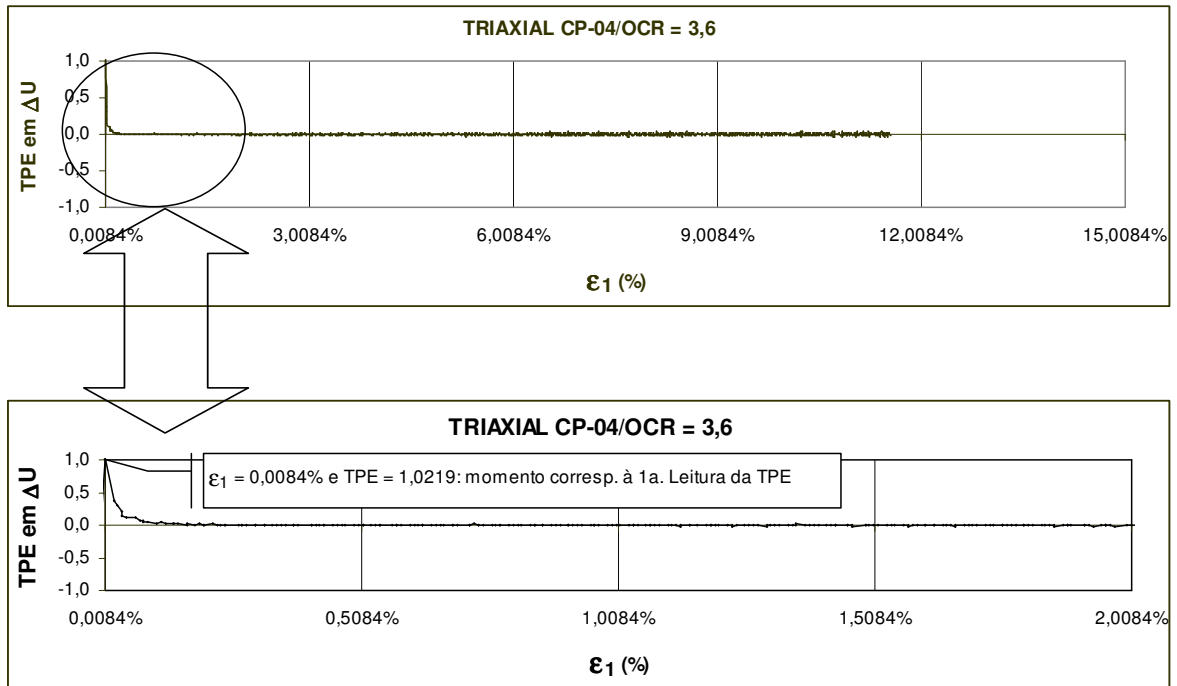
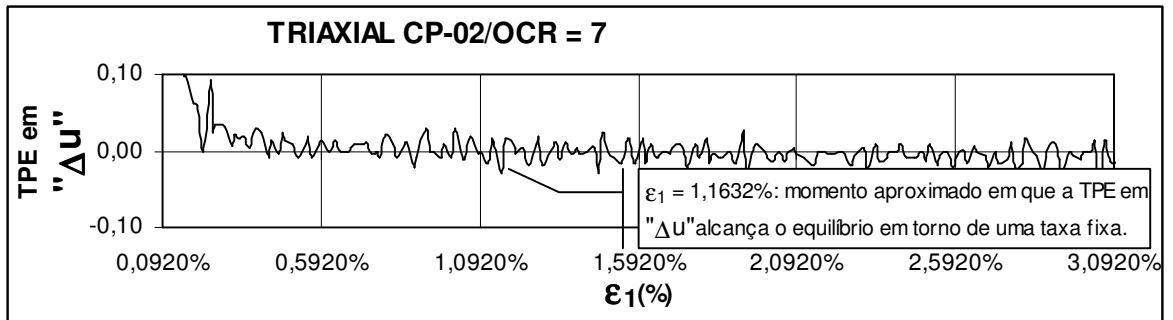
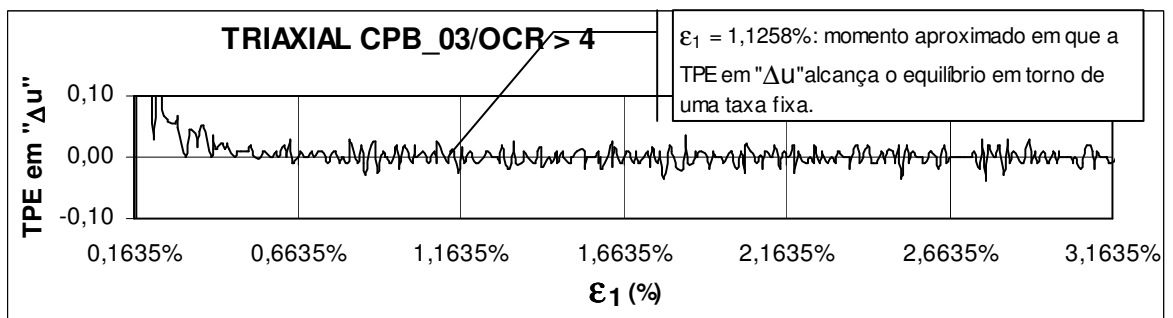


Figura 4.23 – Resultado gráfico da TPE em “Δu” correspondente ao ensaio triaxial com o CP-04, que, imediatamente após o primeiro ponto de leitura o seu desenvolvimento busca um equilíbrio em torno de uma taxa fixa próxima de zero.

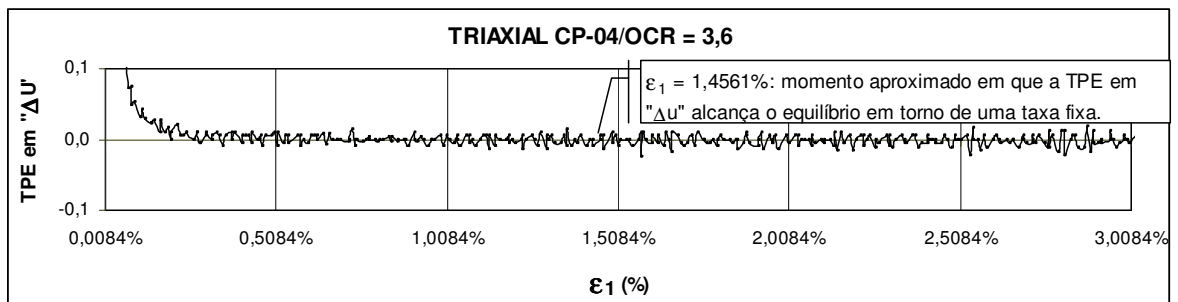
Observando o comportamento da TPE em “Δu”, aqui também se verifica uma busca de equilíbrio da sua oscilação em torno de uma taxa fixa, após o primeiro ponto de leitura. Para efeito meramente comparativo, pode-se, através dos gráficos da Figura 4.24, observar que o intervalo de tempo para que a TPE em “Δu” alcance o seu equilíbrio se dá aproximadamente após 1,0712% (1,1632% - 0,092%) de deformação axial para o CP-02, conforme Figura 4.24 (a), aproximadamente após 0,9623% (1,1258% - 0,1635%) de deformação axial para o CPB-03, conforme Figura 4.24 (b) e aproximadamente após 1,4477% (1,4561% - 0,0084%) de deformação axial para o CP-04, conforme Figura 4.24 (c). Apesar do processo de verificação ser visual e de forma aproximada, nota-se que a busca do equilíbrio, em torno de uma taxa fixa, aqui, se dá mais rapidamente do que no desenvolvimento da TPE em “Δu” correspondente aos ensaios normalmente adensados.



(a)



(b)



(c)

Figura 4.24 – Resultados gráficos das TPE's em "Δu" correspondentes aos ensaios triaxiais com o CP-02, CPB_03 e CP-04, mostrando que após o ponto de inicial, alcança o equilíbrio em torno de uma taxa fixa aproximadamente após 1,0712%, 0,9623% e 1,4477% de deformação axial respectivamente.

e) Incorporando a variação do excesso da pressão neutra na análise da TPE em “ Δu ”

Os ensaios normalmente adensados LM-02, CP-03 e os ensaios sobre-adensados CP-02 e CP-04, apresentam um início do excesso da pressão neutra, de forma similar, ou seja, com valores positivos crescentes. O ensaio sobreadensado CPB-03, diferentemente dos demais, inicia um desenvolvimento do excesso de pressão neutra, com valores negativos, a uma taxa decrescente, atingindo o zero quando então passa a valores positivos o que pode ser observado nos gráficos constantes da Figura 4.25.

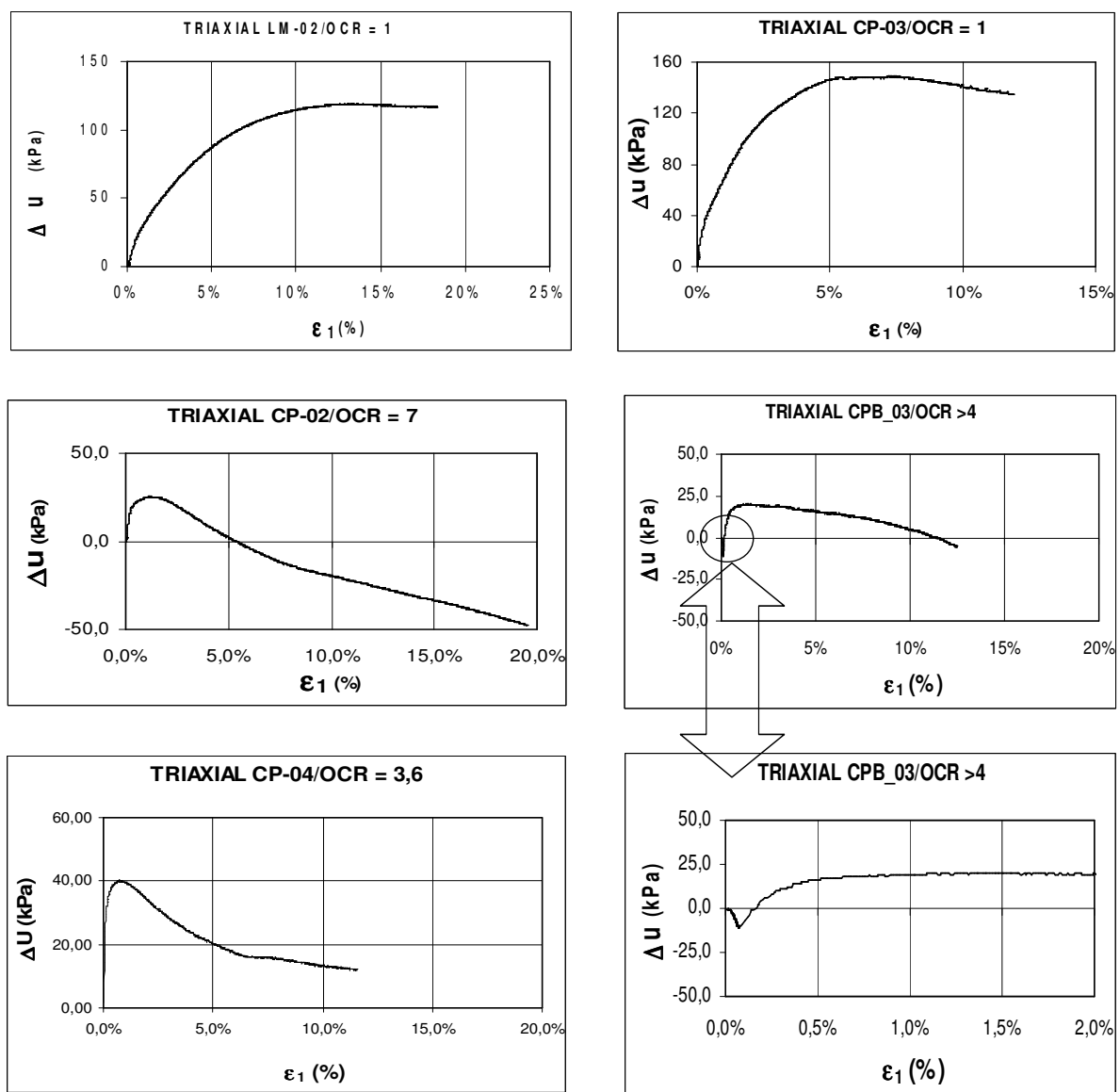


Figura 4.25 – Resultados gráficos das pressões neutras correspondentes aos ensaios triaxiais com o LM-02, CP-03, CP-02, CPB-03 e CP-04 onde se observa na ampliação do CPB-03 o início do desenvolvimento de “ Δu ” negativo e, portanto, diferenciado dos demais.

As TPE's em " Δu ", correspondentes aos ensaios sobreadensados CP-02 e CPB-03, após o seu primeiro ponto de leitura, se desenvolvem com valores decrescente até se estabilizarem em torno de uma taxa constante porém, esta estabilidade, vem a sofrer alterações pontuais nos sentidos negativo e positivo do gráfico. Estas alterações ocorrem justamente no momento em que o excesso de pressão neutra é zero. Sabe-se que, quando a tensão confinante é muito menor que a tensão de pré-adensamento, no ensaio CD, durante o carregamento axial, ocorre inicialmente um processo de redução de volume do corpo de prova a uma taxa decrescente até que este processo pare e então se inicia um processo de aumento de volume do corpo de prova. Quando o ensaio é CU, não havendo drenagem, portanto, a tendência de diminuição do volume do corpo de prova cada vez menor, gera um acréscimo de pressão neutra também cada vez menor até que a tendência de redução de volume para e o excesso de pressão neutra seja conseqüentemente zero, e a partir de então, inicia-se uma tendência de aumento de volume do corpo de prova gerando assim uma tensão de tração na água contida nos vazios do solo, ou seja, gerando uma pressão neutra negativa o que aumenta a tensão confinante efetiva e conseqüentemente a resistência do solo. Esta tendência do corpo de prova em reduzir e/ou aumentar de volume aqui é denominada de "dilatância". Como se sabe, este fenômeno ocorre para ensaios triaxiais em que o $OCR > 4$ como é o caso dos ensaios correspondentes aos corpos de prova CP-02 ($OCR = 7$) e CPB-03 ($OCR > 4$).

A relação entre o comportamento da TPE em " Δu " com o excesso de pressão neutra zero, conforme descrita acima, pode ser visualizado através dos resultados gráficos constantes das Figuras 4.26, e 4.27.

No tocante aos ensaios normalmente adensados LM-02 ($OCR = 1$) e CP-03 ($OCR = 1$) e ao ensaio sobreadensado CP-04 ($OCR = 3,6$), com OCR's inferiores a 4, a relação entre o desenvolvimento do excesso de pressão neutra (Δu) e o desenvolvimento da Taxa de Poropressão Específica em " Δu " dos gráficos correspondentes não apresenta nenhuma outra particularidade importante além daquelas já analisadas anteriormente.

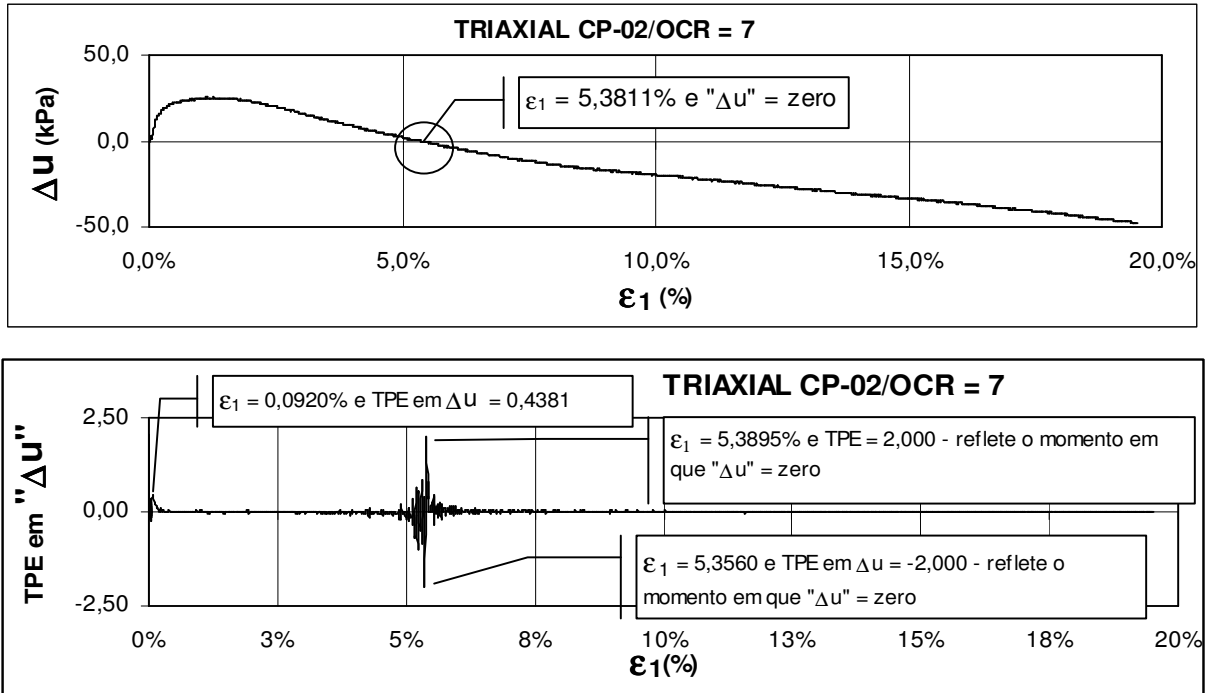


Figura 4.26 – Resultados gráficos correspondentes ao ensaio triaxial com o CP-02 comparando os desenvolvimentos da TPE em " Δu " e do excesso de pressão neutra.

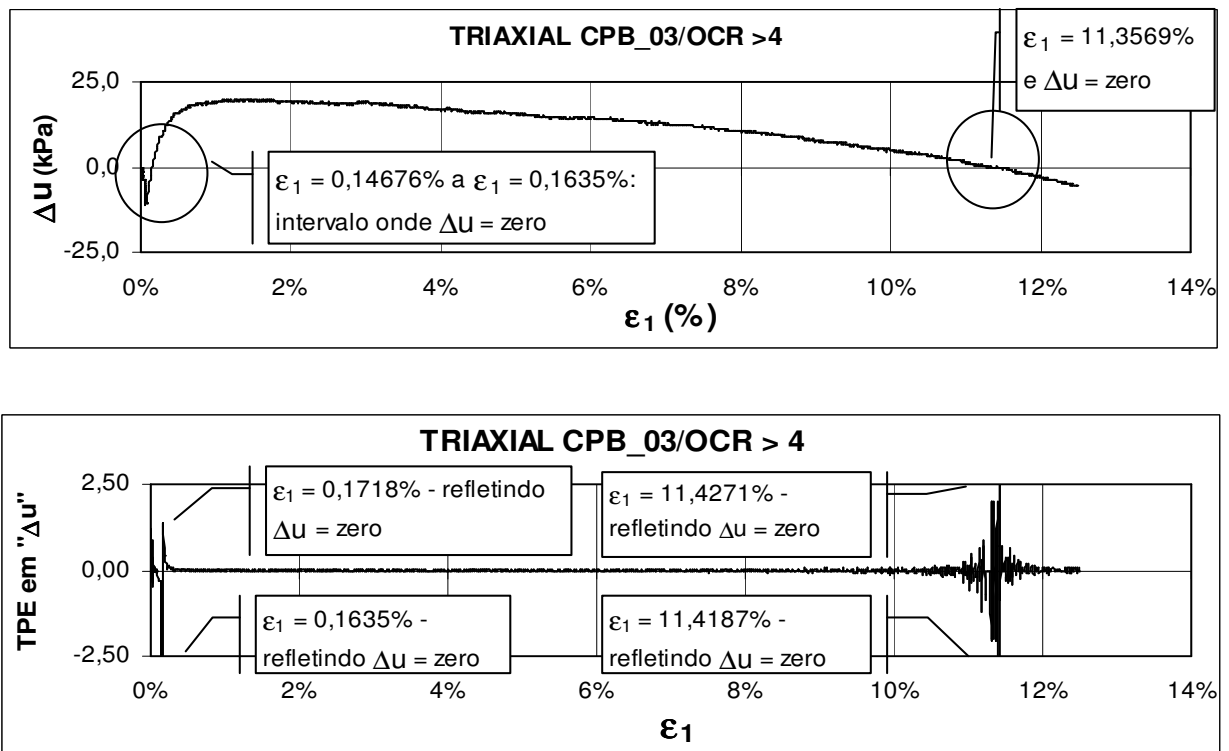


Figura 4.27 – Resultados gráficos correspondentes ao ensaio triaxial com o CPB-03, comparando os desenvolvimentos da TPE em " Δu " e do excesso de pressão neutra.

Ainda através dos gráficos da Figura 4.27, no tocante ao ensaio sobreadensado CPB-03, observa-se um fenômeno adicional. Neste ensaio o início do desenvolvimento do gráfico “ $\Delta u \times \epsilon_1$ ” apresenta um comportamento de forte oscilação nos sentidos positivo e negativo do gráfico, mostrando assim uma relação com o ponto em que o excesso de pressão neutra é zero e, em seguida busca o equilíbrio em torno de uma taxa constante. Este comportamento ocorre novamente em um segundo momento quando, novamente, o excesso de pressão neutra é zero. No tocante ao fato de que, no início do carregamento axial do ensaio aqui em referência, o excesso de pressão neutra também muda de valores negativos para positivos, portanto passando por zero, entende-se que, neste momento, o corpo de prova sofreu, também, o fenômeno da dilatação.

f) Buscando novas possíveis relações

Entende-se como necessário, para cobrir todas as possibilidades de comportamento da TPE, verificar possíveis relações com pontos que representam situações particulares quando do processo de cisalhamento dos corpos de prova. Assim, buscou-se investigá-lo no momento dos pontos máximos tanto para “ $\sigma_d \times \epsilon_1$ ” como para “ $\sigma'_1 / \sigma'_3 \times \epsilon$ ”.

Observa-se, através dos gráficos constantes das Figuras 4.28 e 4.29, correspondentes ao ensaio LM-02, e constantes da Figura 4.30 correspondentes ao ensaio CP-03, ambos normalmente adensados, que a “TPE $\times \epsilon_1$ ” e a “TPE em “ Δu ” $\times \epsilon_1$ ” não apresentam nenhum comportamento particular nos momentos dos picos máximos referidos acima.

A mesma conclusão se tem quando da observação dos gráficos concernentes aos ensaios sobreadensados, o que pode ser observado através das Figuras 4.31 e 4.32 correspondentes ao ensaio CP-02, Figuras 4.33 e 4.34 correspondentes ao CPB-03 e Figura 4.35 correspondente ao CP-04. No tocante ao ensaio com o CP-04 esta relação só foi investigada com base no pico correspondente a “ $\sigma'_1 / \sigma'_3 \times \epsilon_1$ ” tendo em vista que a curva correspondente a “ $\sigma_d \times \epsilon_1$ ” se apresenta, no intervalo de tempo do ensaio, com desenvolvimento sempre crescente, ou seja, sem pico.

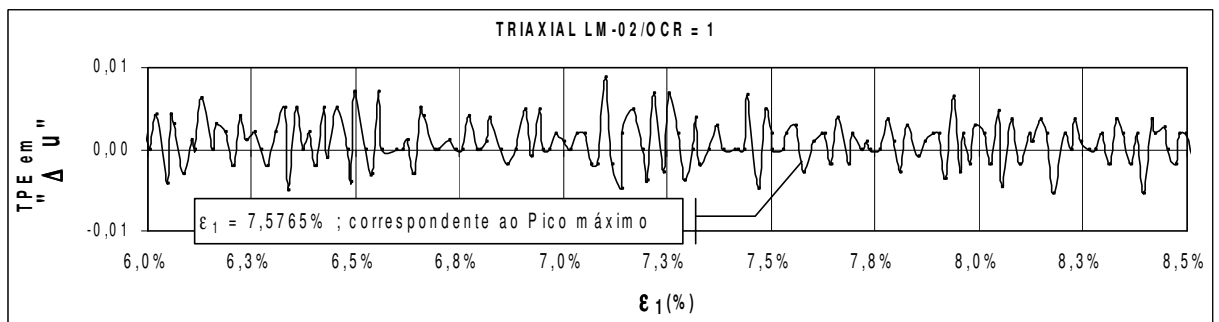
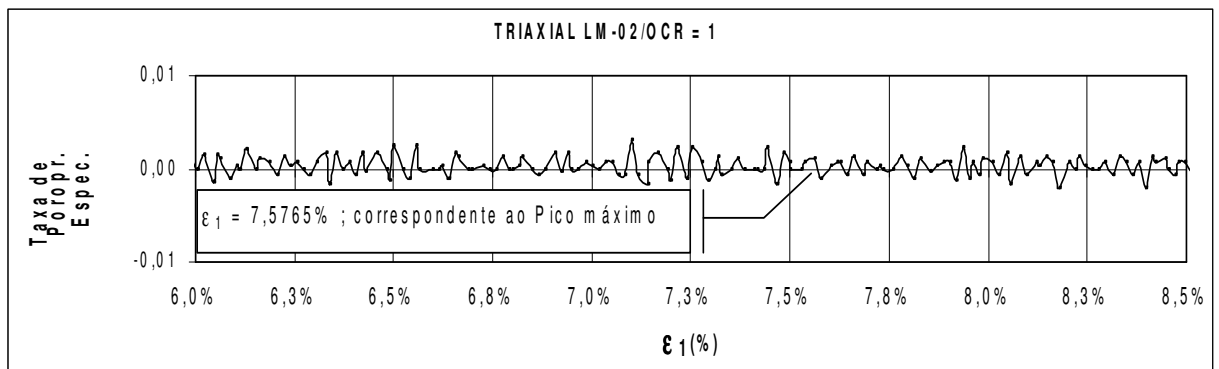
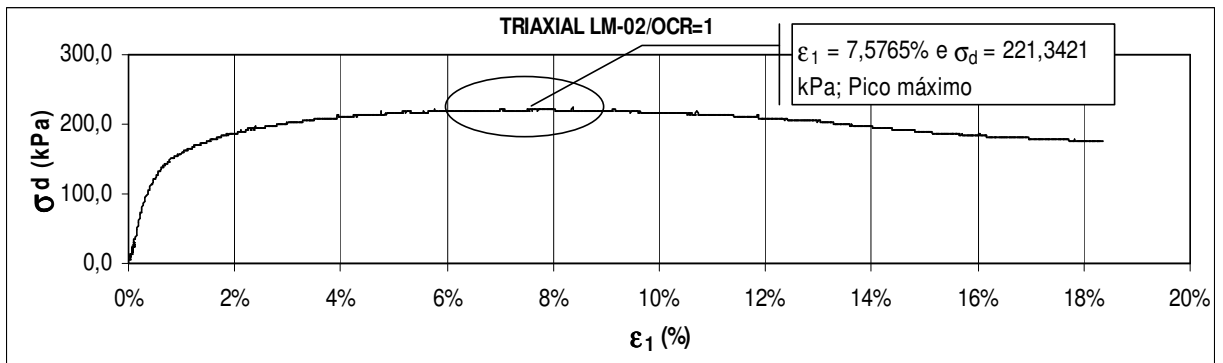


Figura 4.28 – Resultados gráficos correspondentes ao ensaio triaxial com o LM-02 apresentando, de forma comparativa, os desenvolvimentos da tensão desviatória, da TPE e da TPE em “ Δu ”.

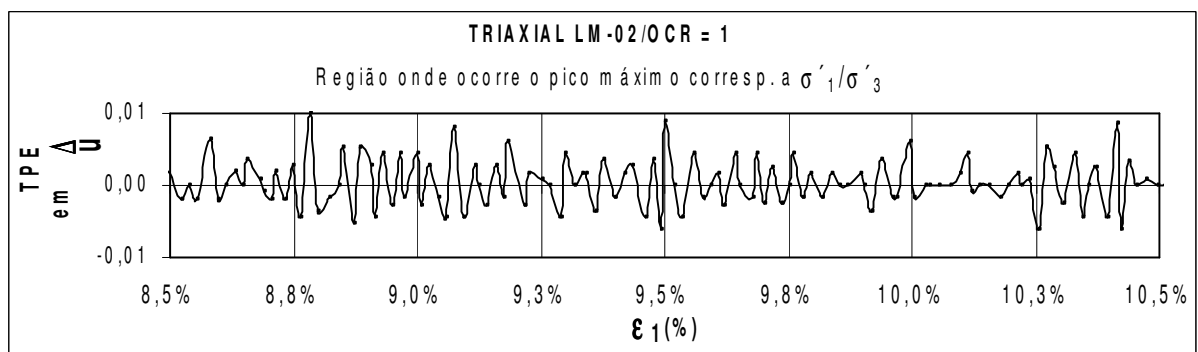
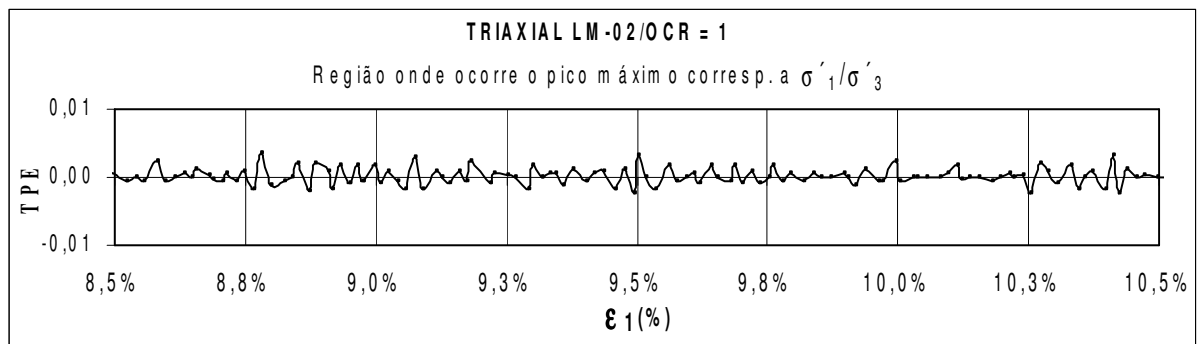
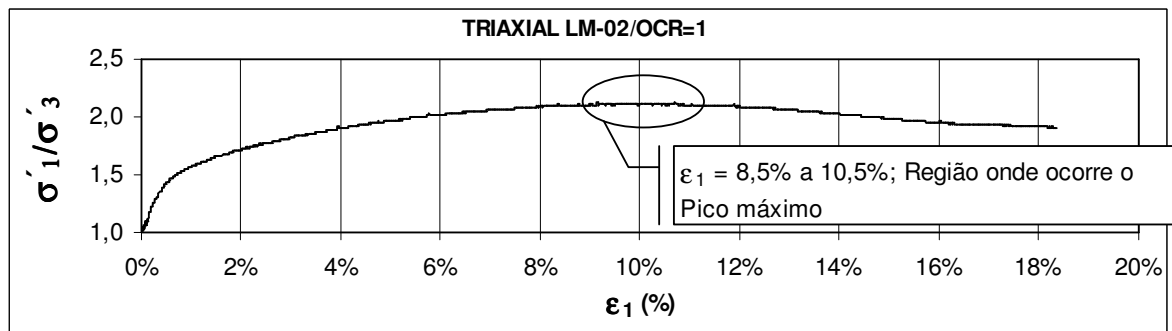


Figura 4.29 – Resultados gráficos correspondentes ao ensaio triaxial com o LM-02 apresentando, de forma comparativa, os desenvolvimentos de σ'_1/σ'_3 , da TPE e da TPE em “ Δu ”.

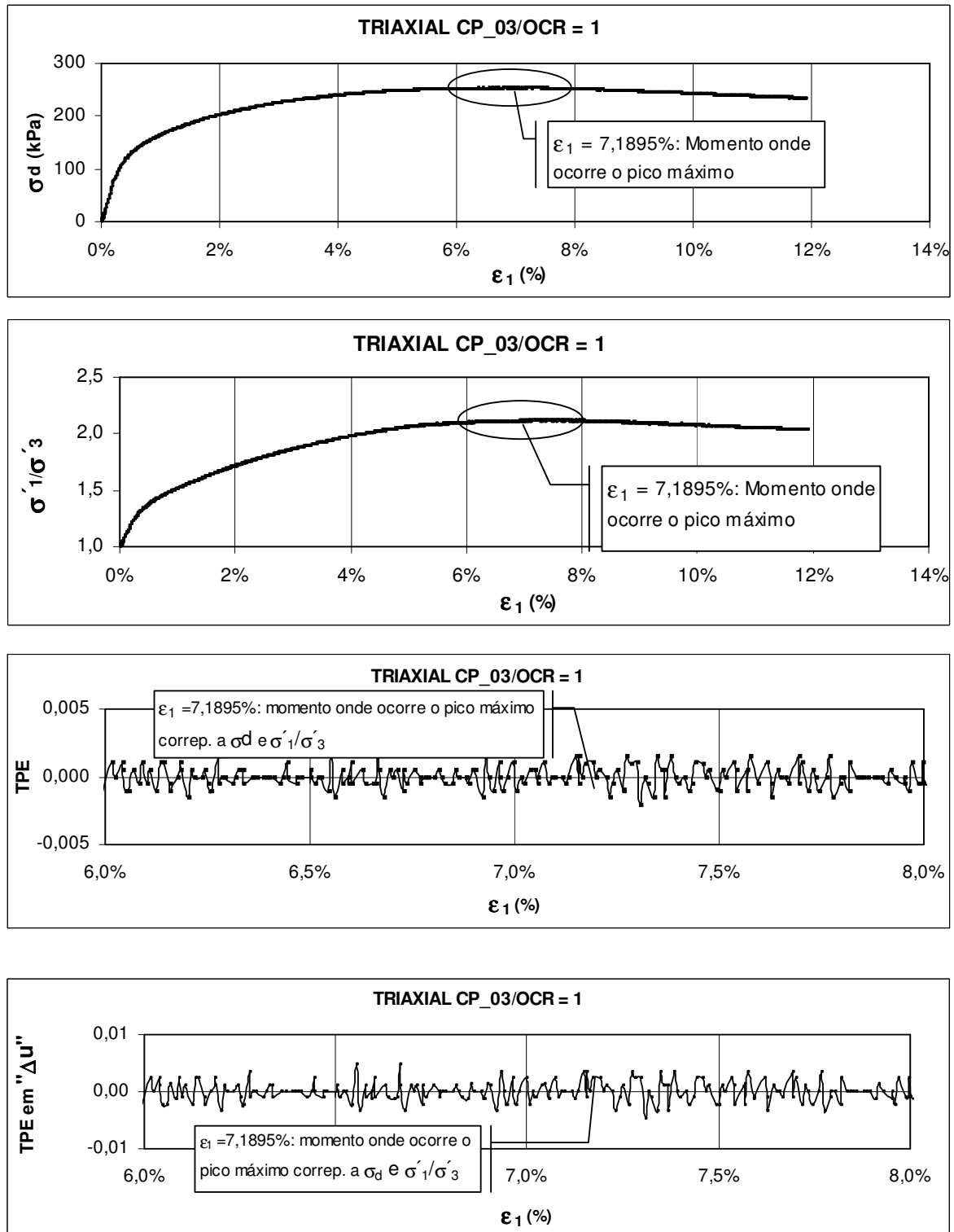


Figura 4.30 – Resultados gráficos correspondentes ao ensaio triaxial com o CP-03 apresentando, de forma comparativa, os desenvolvimentos da tensão desviatória, de σ'_1/σ'_3 , da TPE e da TPE em " Δu ".

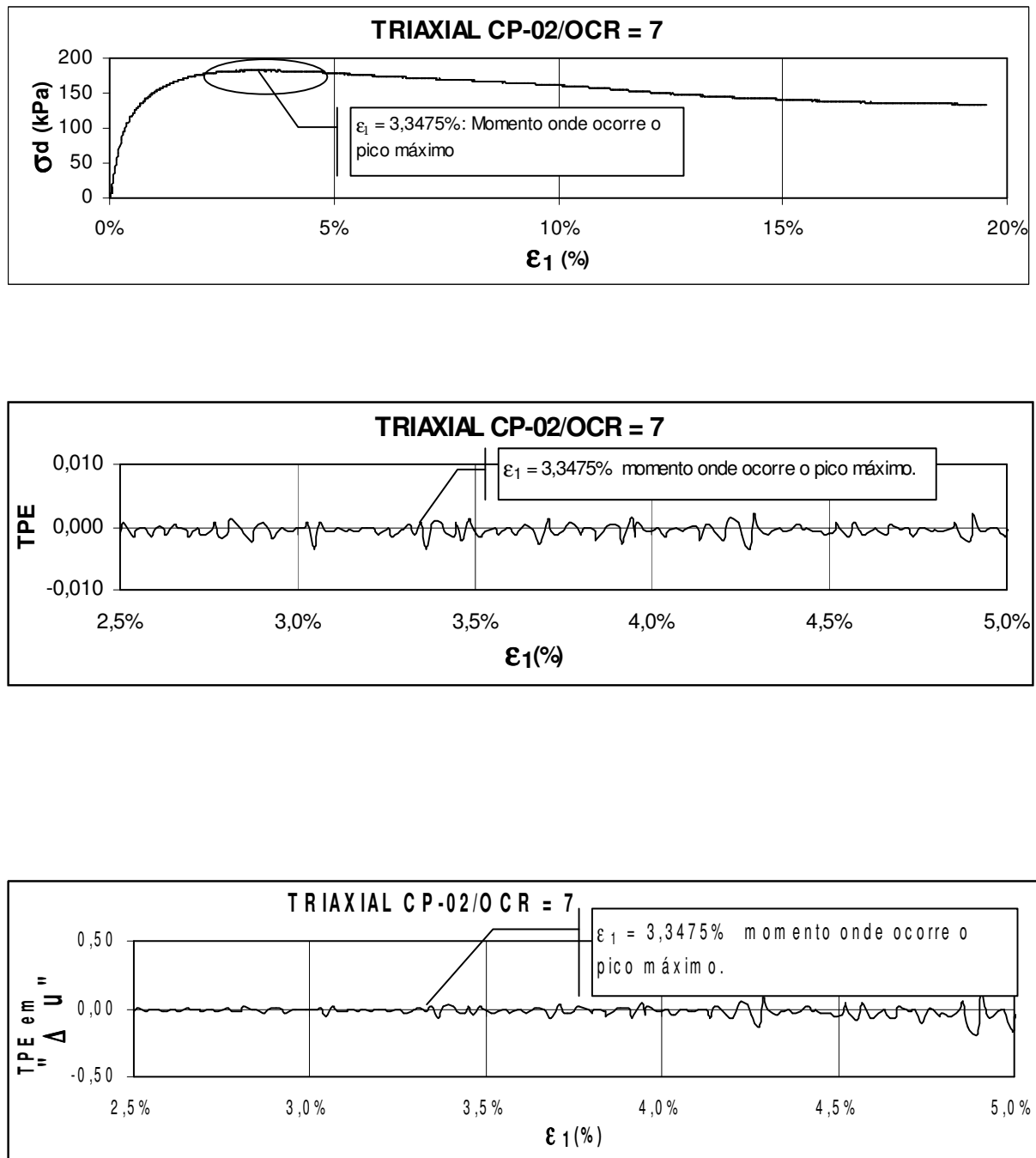


Figura 4.31 – Resultados gráficos correspondentes ao ensaio triaxial com o CP-02 apresentando, de forma comparativa, os desenvolvimentos da tensão desviatória, da TPE e da TPE em " Δu ".

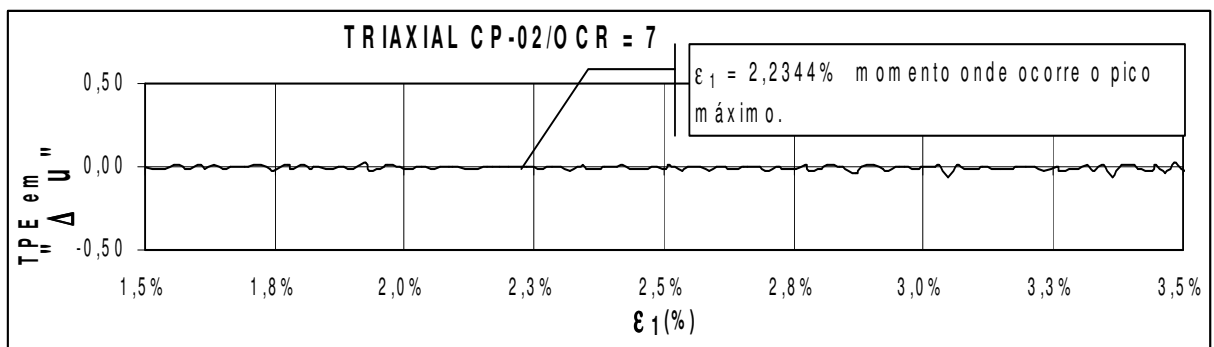
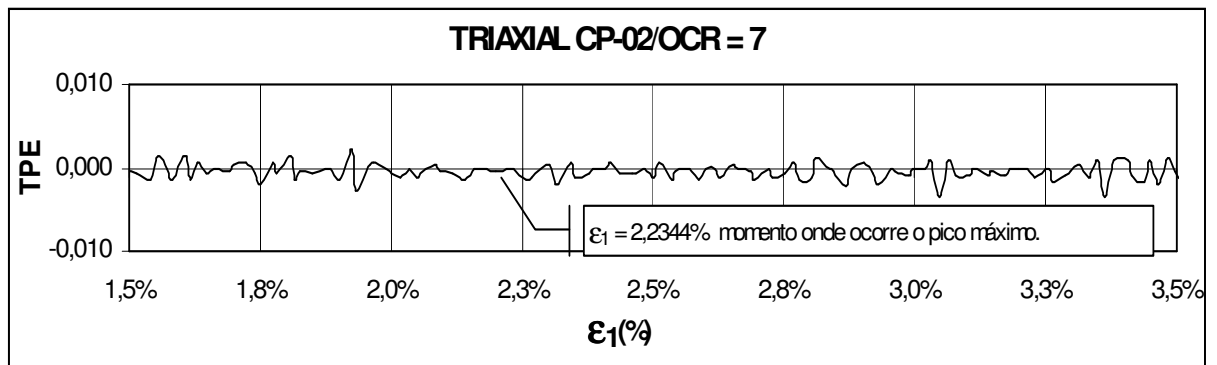
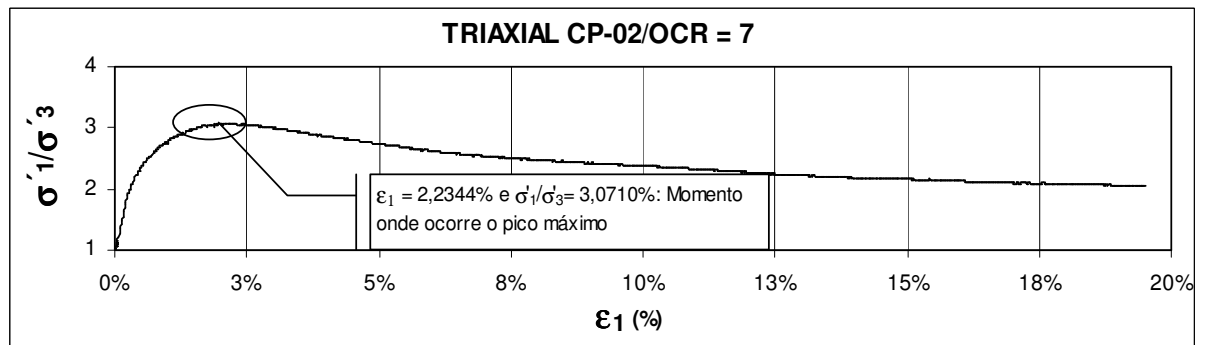


Figura 4.32 – Resultados gráficos correspondentes ao ensaio triaxial com o CP-02, apresentando, de forma comparativa, os desenvolvimentos de σ'_1/σ'_3 , da TPE e da TPE em “ Δu ”.

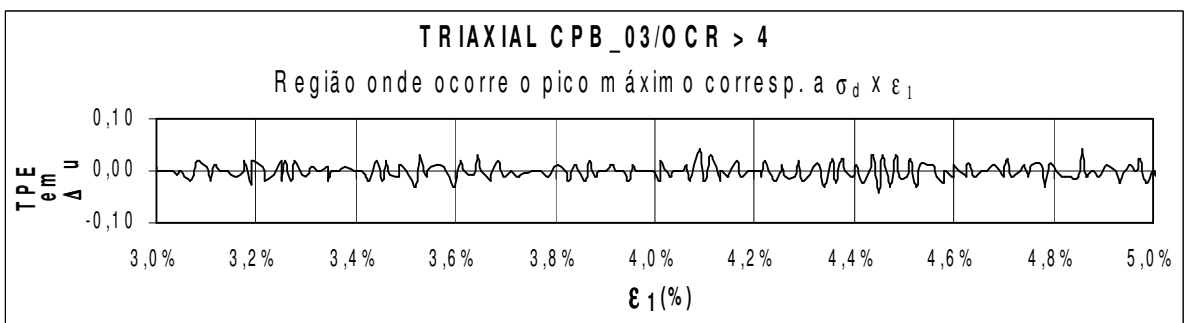
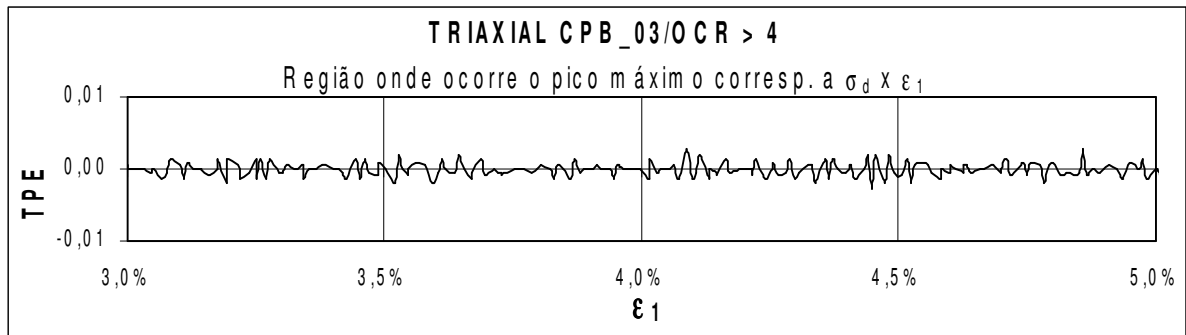
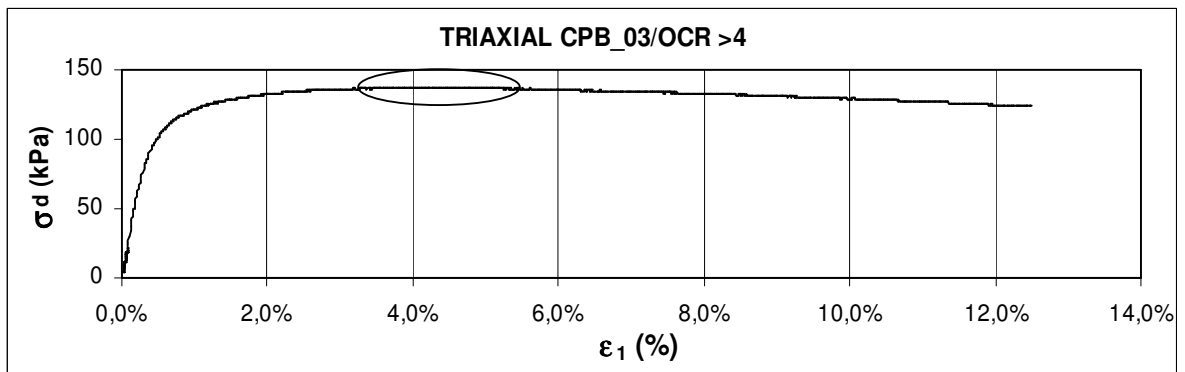


Figura 4.33 – Resultados gráficos correspondentes ao ensaio triaxial com o CPB-03, apresentando, de forma comparativa, os desenvolvimentos da tensão desviatória, da TPE e da TPE em “ Δu ”.

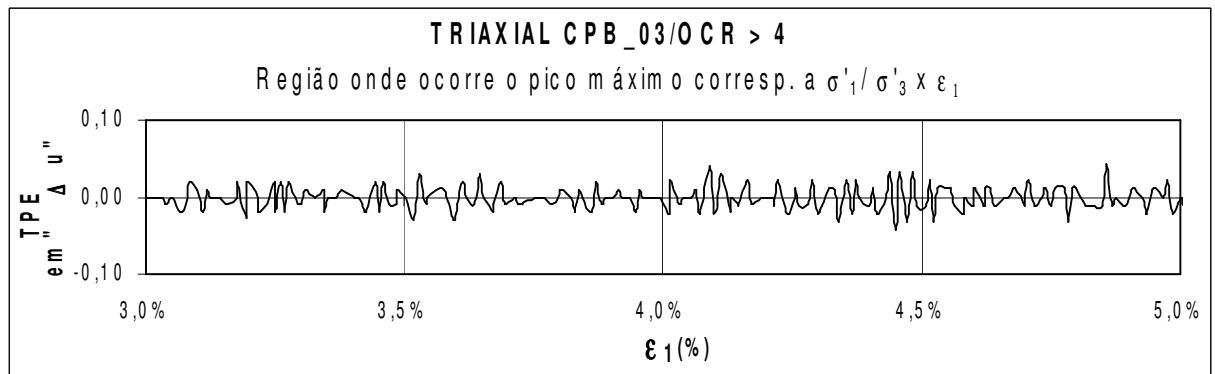
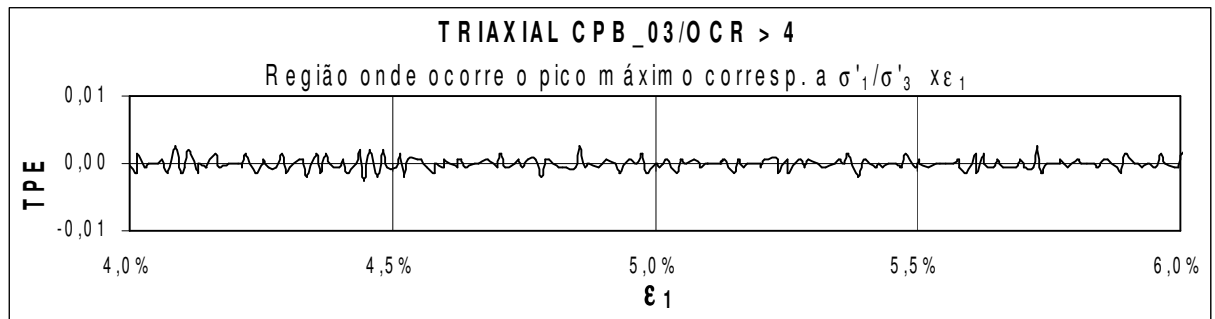
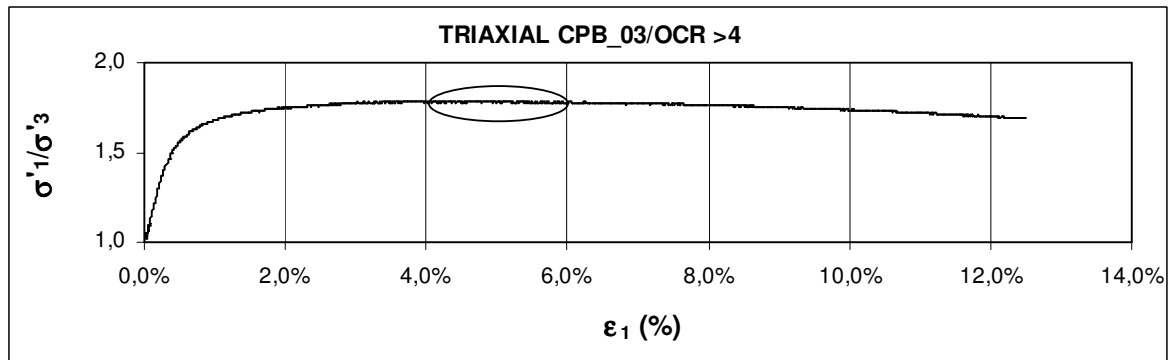


Figura 4.34 – Resultados gráficos correspondentes ao ensaio triaxial com o CPB-03 apresentando, de forma comparativa, os desenvolvimentos de σ'_1/σ'_3 , da TPE e da TPE em " Δu ".

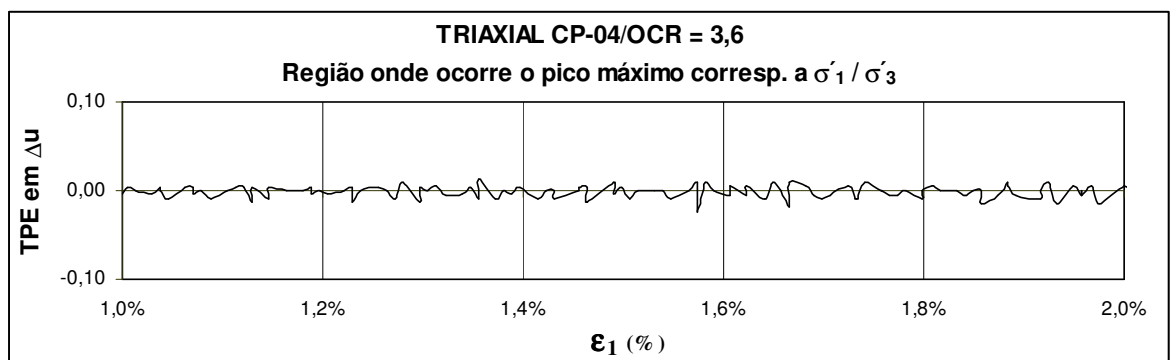
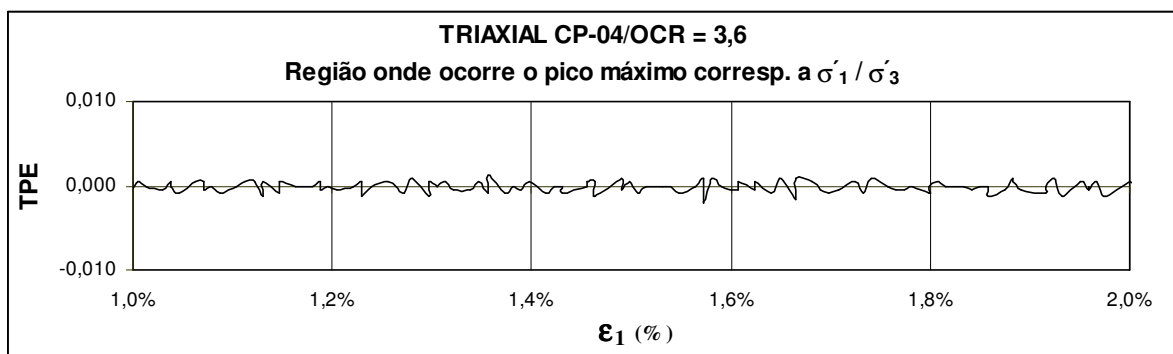
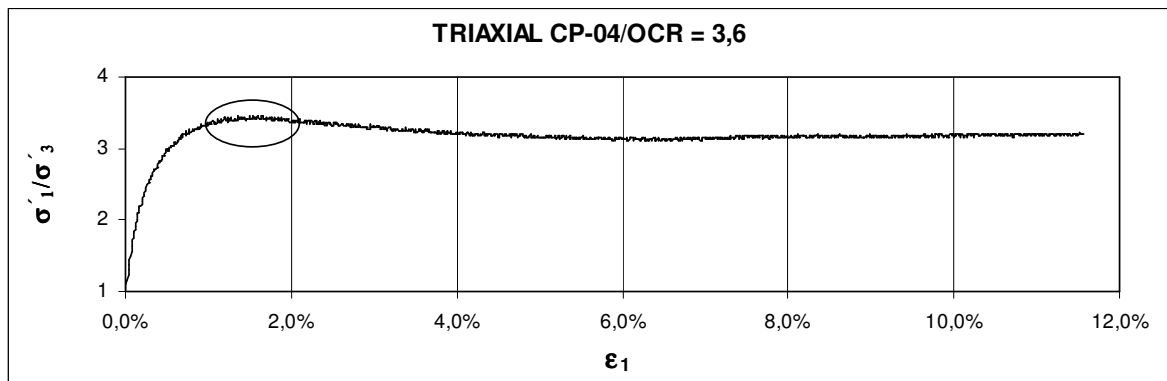


Figura 4.35 - Resultados gráficos correspondentes ao ensaio triaxial com o CP-04 apresentando, de forma comparativa, os desenvolvimentos de σ'_1/σ'_3 , da TPE e da TPE em " Δu ".

g) Desenvolvimento da TPE e da TPE em “ Δu ”

- Ensaio normalmente adensados

Em ambos os ensaios normalmente adensados, o LM-02 e CP-03, os desenvolvimentos da TPE e TPE em “ Δu ” apresentam, num primeiro momento correspondente ao primeiro ponto de leitura de cada um, valor máximo e positivo. Entretanto, depois desse “ponto inicial”, a TPE e TPE em “ Δu ” se mantêm com predominância de valores positivos e vão buscando um aparente equilíbrio em torno de uma taxa constante de forma lenta. Após alcançarem o citado equilíbrio os seus desenvolvimentos permanecem com a mesma característica de oscilação até o último instante.

Os fenômenos descritos no parágrafo acima podem ser observados nos gráficos das Figuras 4.11 e 4.12.

- Ensaio sobreadensados

A exemplo dos ensaios normalmente adensados, os desenvolvimentos da TPE dos ensaios sobreadensados CP-02, CPB-03 e CP-04 apresentam, num primeiro momento correspondente ao primeiro ponto de leitura de cada um, valor máximo e positivo. As TPE's dos ensaios sobreadensados, posteriormente ao “ponto inicial”, também buscam um aparente equilíbrio em torno de taxa relativamente constante, negativa e próxima de zero, o que se dá de forma mais rápida que nos ensaios normalmente adensados. Após alcançarem este aparente equilíbrio os seus desenvolvimentos também permanecem com a mesma característica de oscilação até o último instante.

Os desenvolvimentos das TPE's em “ Δu ” pertinentes aos ensaios do CP-02, CPB-03 e CP-04, apresentam, no trecho inicial, um comportamento similar aos seus correspondentes normalmente adensados. Os ensaios com o CP-02 e CPB-03, após o “ponto inicial”, alcançam o aparente equilíbrio e assim se mantêm, sem alterar suas características até alcançar nova fuga em relação ao comportamento de equilíbrio da TPE. Esta nova fuga alcançada é característica em ensaios sobreadensados com $OCR > 4$, como já analisado

anteriormente. A partir desta segunda “fuga” a recuperação do equilíbrio se faz, mais uma vez, rapidamente.

Estes comportamentos podem ser observados nos gráficos das Figuras 4.18 a 4.24.

4.3.3 Relação da TPE com a região de plastificação do material

O desenvolvimento da TPE em relação à deformação axial apresenta, no seu trecho inicial, uma taxa elevada de decréscimo do seu valor, ou seja, apresenta uma curva de concavidade acentuada em busca de um equilíbrio em torno de uma taxa fixa. Este trecho corresponde à região inicial do desenvolvimento da curva da tensão desviatória versus deformação axial, também de concavidade acentuada, onde o solo demonstra ainda possuir um comportamento elástico.

Com o objetivo de melhor visualizar o comportamento da Taxa de Poropressão Específica, inclusive a relação acima descrita, propõe-se aqui, a utilização de gráfico defasado (vide APÊNDICE E) relacionando a Taxa de Poropressão Específica em um dado instante, com a do instante imediatamente anterior, ou seja, relacionou-se TPE com TPE defasada de um segundo.

Como pode ser observado nos gráficos da Figura 4.36 a seguir, representativos de ensaios triaxiais tipo CIU normalmente adensados (LM-02) e sobreadensados (CP-02), os “gráficos defasados” que lhes correspondem, refletem muito bem todo o comportamento da TPE ao longo do tempo, confirmando, inclusive, a tendência de equilíbrio em torno de uma taxa constante que ocorre após o ponto inicial de leitura da taxa de poropressão específica. Esse primeiro ponto de leitura da TPE pode ser observado através da fuga, em relação ao atrator, da curva “TPE em t_i x TPE em t_{i-1} ” para cima e para direita.

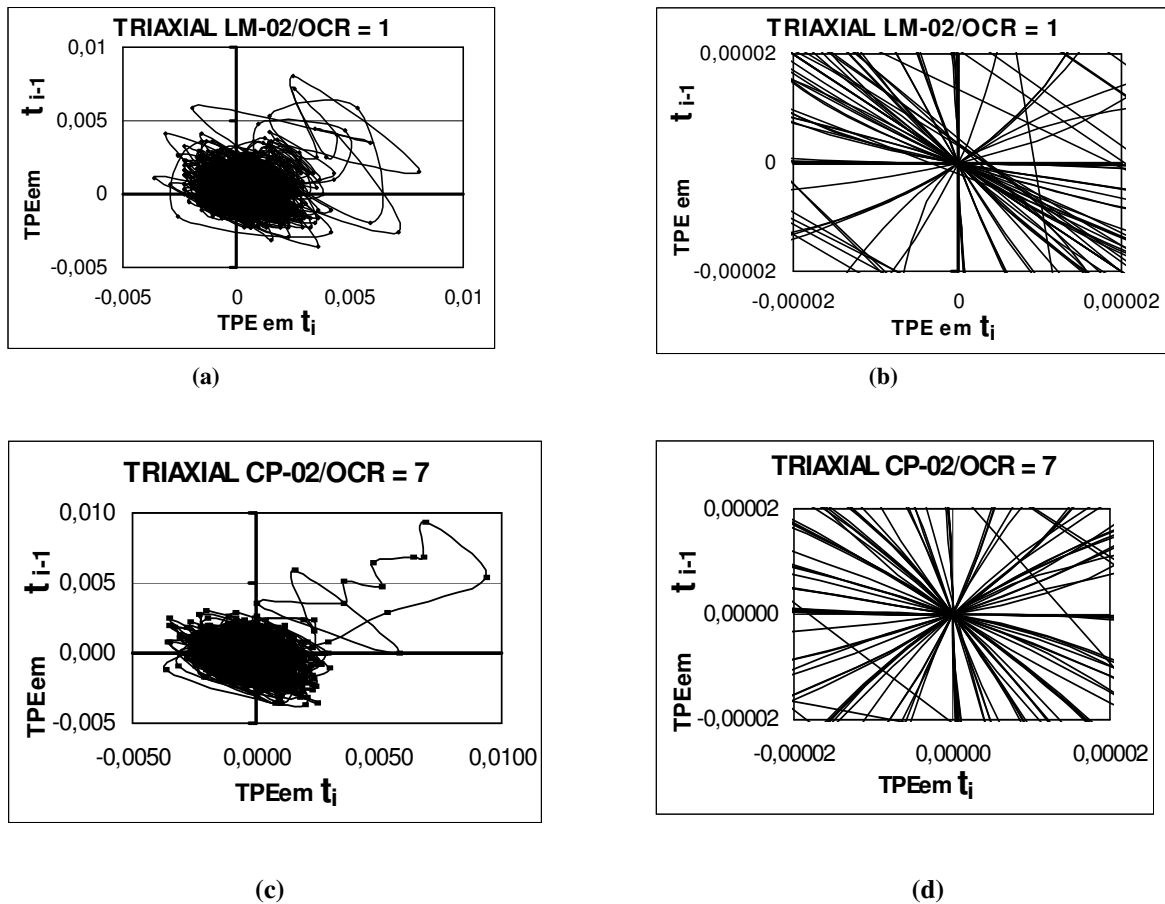


Figura 4.36 – Gráficos defasados, com a linha que liga os pontos, correspondentes aos ensaios triaxiais com o LM-02, e com o CP-02, onde podemos confirmar, nas ampliações constantes das Figuras (b) e (d) a busca por um taxa de equilíbrio.

Observa-se que, como bem expõe a literatura especializada, a exemplo de Atksons & Bransby (1978), quando o solo, em processo de cisalhamento, atinge o estado crítico o seu volume tende a permanecer constante. Tal fato acontece com os ensaios normalmente adensados (LM-02 e CP-03) o que, por conseqüência, a pressão neutra tende à estabilidade e, portanto, fornece uma Taxa de Poropressão Específica cuja oscilação se mantém em torno da taxa zero. Quanto aos ensaios sobreadensados, a pressão neutra, após atingir um pico máximo, mantém-se decrescente até o final dos ensaios correspondentes, mostrando assim a uma tendência de aumento de volume do solo a uma taxa constante e, portanto, fornece uma Taxa de Poropressão Específica cuja oscilação se mantém em torno de uma taxa negativa, próxima a zero.

Isto posto e, com o objetivo de obter uma visualização mais detalhada do desenvolvimento da TPE, propõe-se agora utilizar, como exemplo, os gráficos defasados correspondentes ao ensaio normalmente adensado LM-02. Para tanto se adotou critérios com base em observações visuais, com um grau de precisão que satisfaz os estudos aqui em curso, definindo três regiões do gráfico com características próprias. Assim, temos:

– Divisão do desenvolvimento da TPE em três trechos utilizando o gráfico “TPE x ϵ_1 ” do ensaio com o LM-02, conforme Figura 4.37 abaixo:

- T-1: limita-se entre o primeiro ponto de leitura da TPE ($\epsilon_1 = 0,2041\%$) e o ponto considerado como término da curva inicial, mais côncava, da TPE ($\epsilon_1 = 2,0000\%$);
- T-2: limita-se entre o ponto considerado como término da curva inicial, mais côncava, da TPE ($\epsilon_1 = 2,0000\%$) e o ponto adotado como início do equilíbrio em torno de uma taxa constante ($\epsilon_1 = 9,7522\%$);
- T-3: limita-se entre o ponto inicial do equilíbrio em torno de uma taxa constante ($\epsilon_1 = 9,7522\%$) e ponto final do ensaio.

– Elaboração dos gráficos defasados, sem a linha que liga os pontos, para os três trechos, conforme Figuras 4.38 (a), (b) e (c) abaixo:

Cabe observar que o ponto adotado, visualmente, como início de equilíbrio, é uma representação aproximada, porém de caráter suficiente para atender os estudos aqui efetuados. Esta observação vale, também, para o ponto que limita os trechos T-1 e T2.

Os gráficos defasados, além de refletirem o comportamento da TPE ao longo do tempo, apresentam, também, comportamentos que indicam possíveis flutuações do sistema. Eles representam três momentos distintos do desenvolvimento da TPE correspondente ao ensaio com o LM-02. Pode-se observar, no gráfico da Figura 4.38 (c), que apresenta os pontos da TPE já em equilíbrio em torno de uma taxa fixa, que estes se arrumam de forma homogênea, com distâncias regulares entre si, refletindo uma possível flutuação do sistema o que vem a se constituir, portanto, num erro do mesmo.

Como consequência do exposto anteriormente, pode-se observar através da ampliação do gráfico correspondente à Figura 4.38 (c) abaixo (ver Fig. 4.39), que os mesmos são, na realidade, vários pontos sobrepostos, mantendo, portanto, a equidistância por flutuação do sistema.

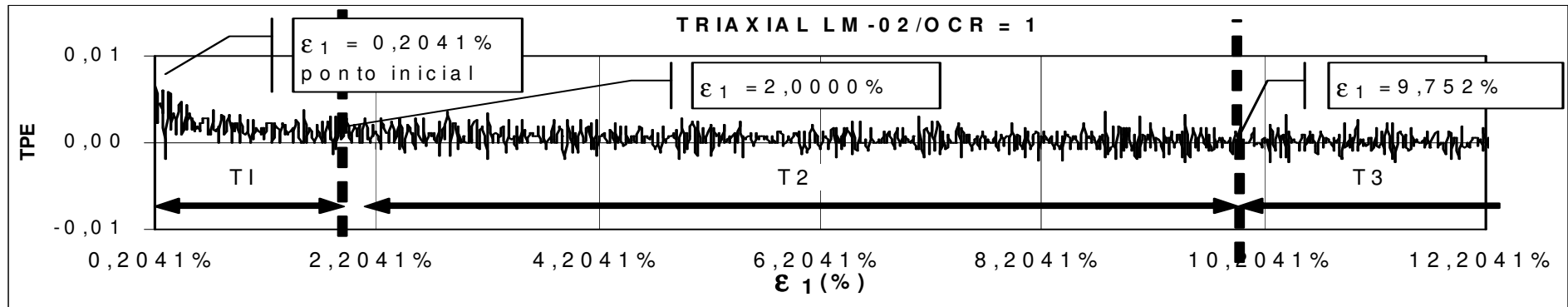
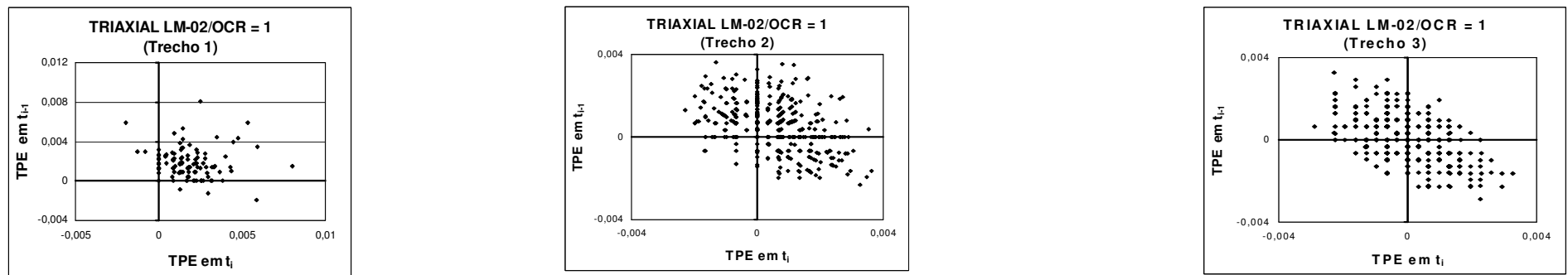


Figura 4.37 – Gráfico da “TPE x Tempo” referente ao ensaio triaxial com o LM-02, onde dividiu-se o seu desenvolvimento em três trechos (T-1, T-2 e T-3)



(a) apresenta o gráfico defasado do trecho T-1 onde os pontos correspondem à curva inicial da TPE, com concavidade acentuada. Nota-se, ai, a existência de pontos afastados da taxa que a TPE busca como equilíbrio;

(b) apresenta o gráfico defasado do trecho T-2 onde os pontos correspondem ao desenvolvimento da TPE entre o término da curva com concavidade acentuada e o ponto adotado como início do equilíbrio em torno de uma taxa constante. Nota-se que estes pontos já se encontram em acomodação em torno de uma taxa fixa;

(c) apresenta o gráfico defasado do trecho T-3 e, portanto, correspondem ao desenvolvimento da TPE após o ponto adotado como o ponto inicial de equilíbrio em torno de uma taxa fixa. Nota-se que os pontos já se encontram em equilíbrio em torno de uma taxa fixa;

Figura 4.38 - Gráficos defasados correspondentes aos três trechos (T-1, T-2 e T-3) selecionados no gráfico “TPE x ϵ_1 ” do ensaio triaxial com o LM-2.

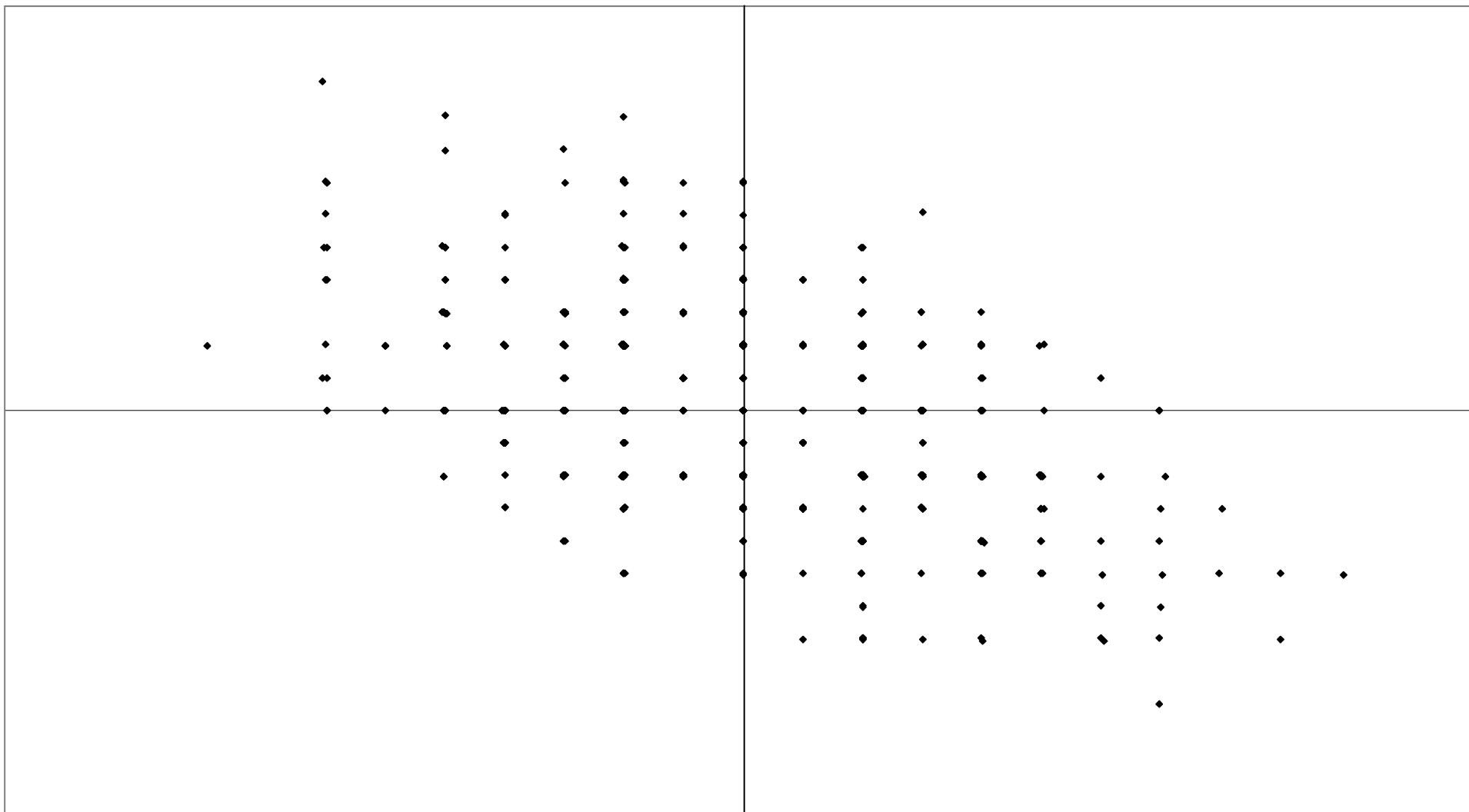


Figura 4.39– Ampliação do gráfico da Fig. 4.38 (c) mostrando pontos sobrepostos evidenciando uma equidistância tridimensional por flutuação do sistema.

Convém esclarecer que para a elaboração dos gráficos defasados constantes das Figuras 4.38, eliminou-se a série de dados correspondentes ao trecho inicial que corrige o “trecho de acomodação”.

Com as representações gráficas acima, ficam, visualmente, melhor definidas as diversas fases do desenvolvimento da TPE onde se destaca, aqui, o trecho inicial correspondente à curva de concavidade acentuada, limitado, neste exemplo, pelo intervalo $\epsilon_1 = 0,2041\%$ a $\epsilon_1 = 2,0000\%$. Este trecho corresponde à região em que o solo demonstra ainda possuir um comportamento elástico. Esta relação pode ser observada comparando-se os gráficos TPE x ϵ_1 e σ_d x ϵ_1 constantes da Figura 4.40 abaixo.

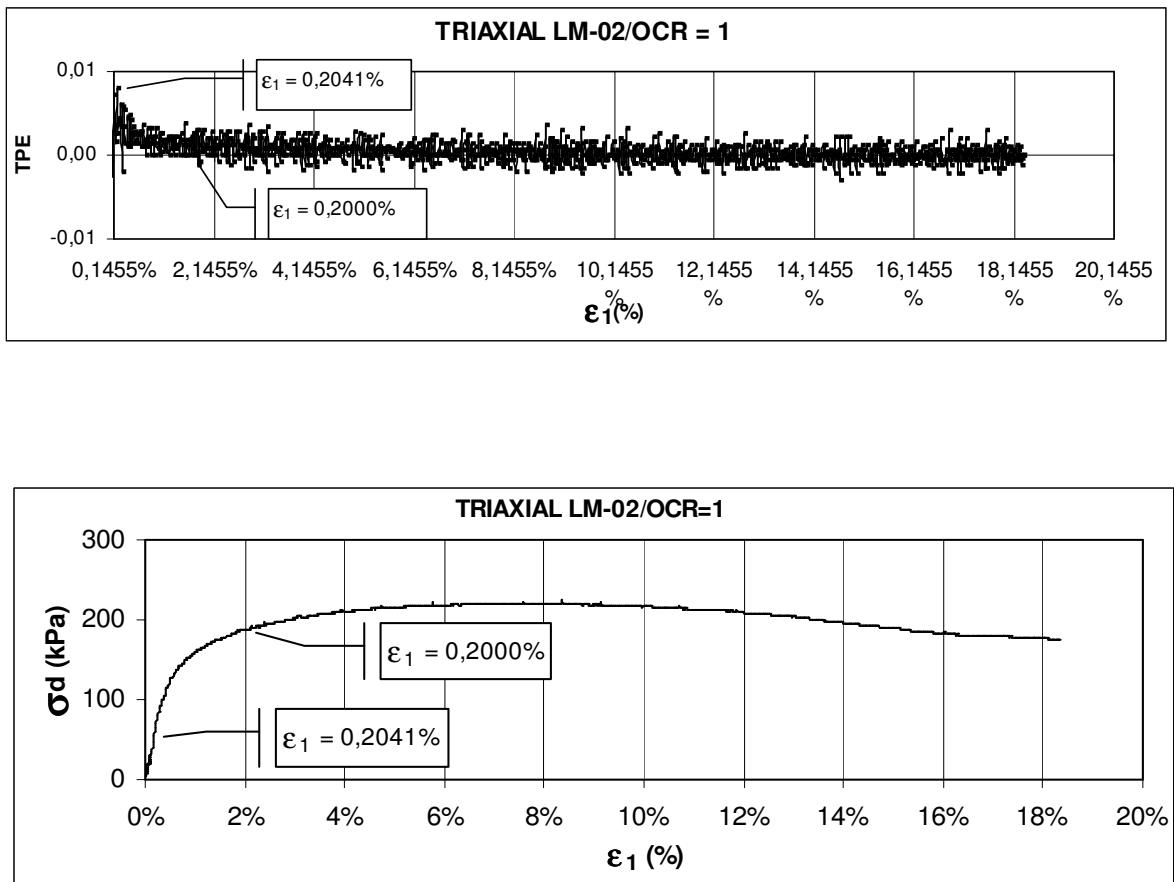


Figura 4.40 - Representação gráfica dos desenvolvimentos da TPE e da tensão desviatória, em relação à deformação axial, onde se destacam as regiões, de ambos, com curva de concavidade mais acentuada.

4.4. Análises

4.4.1 Considerações gerais

Através dos estudos apresentados acima, observa-se que, nos ensaios triaxiais tipo CIU com medida da pressão neutra, as Taxas de Poropressão Específica e Taxas de Poropressão Específica em “ Δu ” apresentam uma tendência constante a permanecer com pequena oscilação em torno de uma taxa fixa, seja nos ensaios normalmente adensados (LM-02 e CP-03) seja nos ensaios sobreadensados (CP-02, CPB-03 e CP-04). Este padrão de comportamento da TPE apresenta alterações localizadas, em todos os ensaios, como descrito a seguir. Como já observado nos ensaios normalmente adensados a taxa fixa, como citado acima, é de valor zero e, nos ensaios sobreadensados esse atrator tem valor negativo próximo a zero.

4.4.2 Alterações no padrão de comportamento da Taxa de Poropressão Específica

Em quatro ensaios triaxiais, ou seja: LM-02/OCR = 1; CP-03/OCR = 1, CP-02/OCR = 7 e CP-04/OCR = 3,6, o trecho inicial, correspondente ao gráfico da pressão neutra ou excesso de pressão neutra x tempo ou deformação axial específica, se apresenta com um mesmo tipo de desenvolvimento sendo sempre de valor positivo. Entretanto, para o ensaio CPB-03 o desenvolvimento inicial apresenta uma particularidade diferenciada, ou seja, se dá com valores decrescentes de pressão neutra para em seguida voltar a valores crescentes.

Uma característica do comportamento da Taxa de Poropressão Específica comum a todos os ensaios realizados é a busca do equilíbrio do seu desenvolvimento. Esta busca de equilíbrio se dá imediatamente após o primeiro ponto de leitura, quando o valor da taxa decresce inicialmente de forma rápida estabilizando em seguida em torno de uma taxa fixa.

4.4.3 Alterações no padrão do comportamento da Taxa de Poropressão Específica em “ Δu ” relacionadas com os momentos em que o excesso de pressão neutra (Δu) é nulo

Os ensaios triaxiais sobreadensados com o CP-02 e com o CPB-03 foram levados à ruptura com $OCR > 4$, logo, durante o carregamento axial, após atingir o seu máximo, o excesso de pressão neutra começa a decrescer atingindo o zero, ou seja, momento em que o corpo de prova não apresenta tendência de aumentar ou diminuir de volume. No CPB-03 este fenômeno ocorre também no trecho inicial do desenvolvimento do excesso de pressão neutra, onde ele inicia com valores de Δu crescentemente negativos, portanto com tendência do corpo de prova a aumentar de volume e, em seguida, passa a decrescer atingido novamente o valor inicial, ou seja $\Delta u = \text{zero}$, passando então a valores positivos iniciando assim, o processo de carregamento axial.

Durante esses momentos em que $\Delta u = \text{zero}$, a TPE em “ Δu ” apresenta alterações no seu comportamento, ou seja, apresenta uma oscilação com duplo pico sendo um negativo e outro positivo, como pode ser observado nas Figuras 4.21, e 4.22. Ao se analisar estas alterações através da fórmula matemática da TPE que se expressa por:

$$dv/dt = \{(u_f - u_i) / [(u_f + u_i)/2]\} / (t_f - t_i) \quad (4.3)$$

observa-se que, quando se substitui os valores de u por valores de Δu se obtém, nos momentos de $\Delta u = \text{zero}$, e próximos a ele, uma diferença significativa entre o valor a menor do denominador $\Delta u_f - \Delta u_i$ em relação ao valor a maior do denominador $\Delta u_f + \Delta u_i$, tendendo, portanto, em caso extremo, ao infinito. Assim, fica matematicamente explicado este fenômeno, não tendo, portanto, relação com o início do processo de adensamento e, por este motivo, as demais análises e conclusões pautam-se apenas na TPE. Observa-se ainda que, durante o processo de rompimento do corpo de prova, “ Δu ” atinge o valor zero em momento sempre após a tensão desviatória máxima.

4.4.4 Influência do OCR no padrão de comportamento da Taxa de Poropressão Específica

Com relação à influência do OCR no comportamento da Taxa de Poropressão Específica, observou-se que quanto maior o seu valor mais rápido é a recuperação do equilíbrio da TPE em torno de uma taxa fixa. Essa taxa fixa é de valor zero para os ensaios normalmente adensados, refletindo assim o comportamento da pressão neutra que permanece constante após atingir o estado crítico, onde então o corpo de prova não mais sofre tendência a aumento ou diminuição de volume (ver Figura 4.42 - a). Nos ensaios sobreadensados essa taxa é negativa, próxima de zero refletindo, por sua vez o comportamento da pressão neutra correspondente que, após atingir seu valor máximo, se mantém linearmente decrescente a uma mesma taxa (ver Figura 4.42 - b), refletindo assim a tendência do corpo de prova em aumentar de volume.

A metodologia adotada para a determinação dos momentos em que as TPE's e TPE's em " Δu " atingem o equilíbrio em torno de uma taxa constante, foi visual e, conseqüentemente, sem maior precisão, porém, suficiente para o efeito comparativo a que o presente trabalho se propõe. Para uma melhor percepção do quanto aqui se expõe, resumimos abaixo, na Tabela 4.3, os tempos correspondentes a cada ensaio, tomados visualmente, e reproduzimos gráficos representativos de ensaio normalmente adensado e ensaio sobreadensado, para fins comparativos conforme Figuras 4.41 e 4.42.

Tabela 4.3 - Resumo das deformações que ocorrem desde o início do carregamento axial e o momento em que os ensaios atingem o equilíbrio em torno da taxa zero.

Ensaio	Deformação axial específica entre o início do carregamento axial e o ponto inicial de equilíbrio em torno da taxa fixa (%)	
	TPE	TPE em " Δu "
LM-02/OCR = 1	9,7522	8,8401
CP-03/OCR = 1	5,7469	5,2521
CP-02/OCR = 7	1,6988	1,1632
CPB-03/OCR > 4	1,2932	1,1258
CP-04/OCR = 3,6	1,2636	1,4561

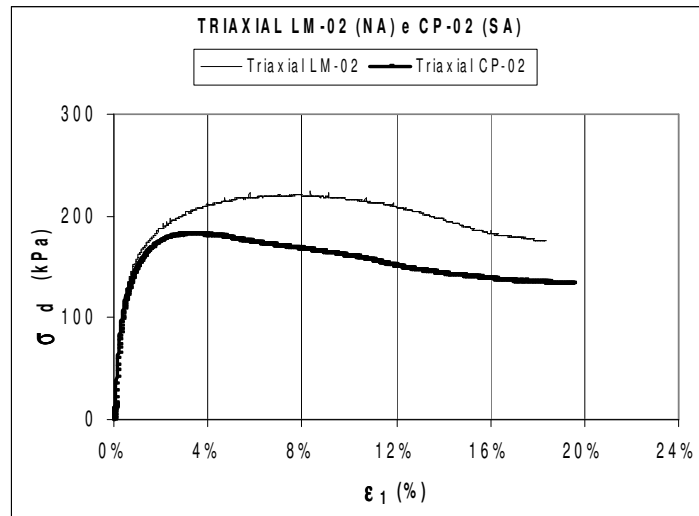
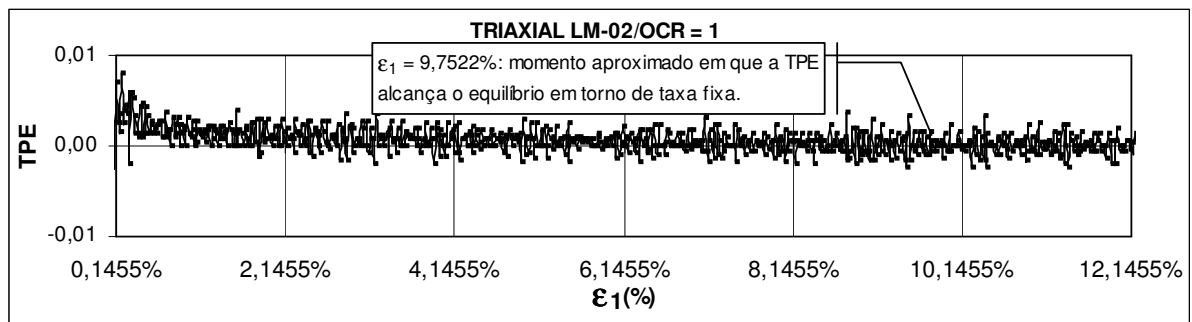
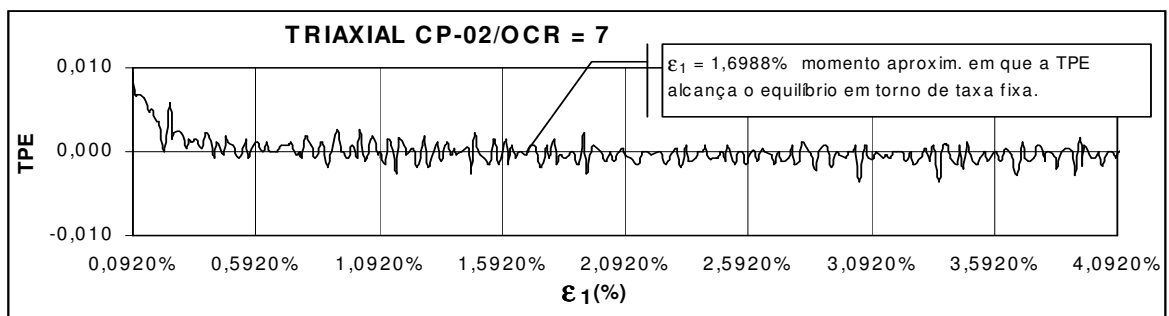


Figura 4.41 - Gráfico σ_d x ϵ_1 comparativo entre os ensaios LM-02 (normalmente adensado) e CP-02 (sobreadensado)

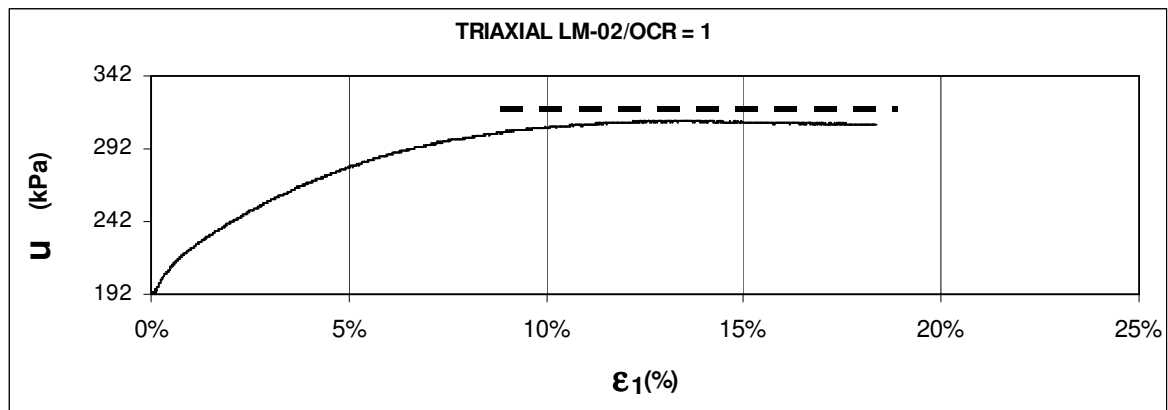


(a)

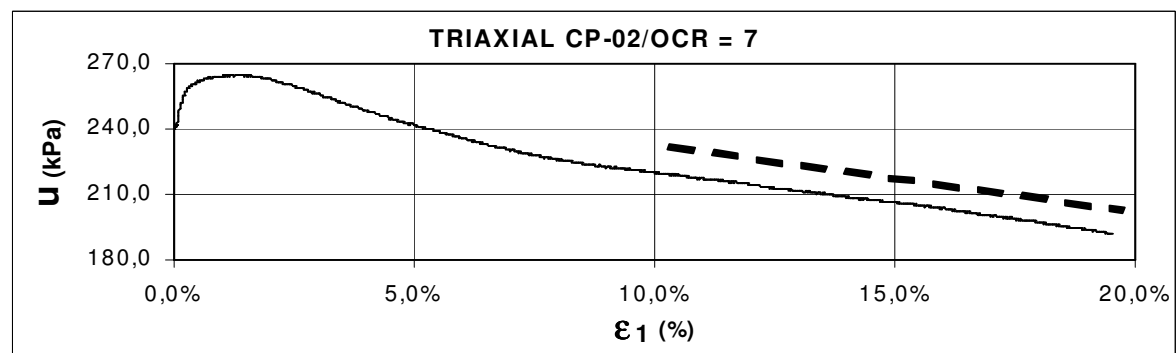


(b)

Figura 4.42 - Gráficos TPE x Tempo referentes aos ensaios LM-02 (normalmente adensado) e CP-02 (sobreadensado), mostrando a tendência de cada um na busca do equilíbrio em torno de uma taxa fixa.



(a)



(b)

Figura 4.43– Representações gráficas correspondentes aos ensaios triaxiais com o LM-02 e com o CP-02 apresentando os desenvolvimentos das pressões neutras que lhes correspondem. Para melhor visualização dos trechos com taxa de desenvolvimento constante utilizaram-se paralelas tracejadas.

4.4.5 Relação entre a Taxa de Poropressão Específica e os valores máximos de σ_d e σ'_1/σ'_3 e outras possíveis relações

Nenhuma relação da Taxa de Poropressão Específica com os momentos de pico das curvas “ $\sigma_d \times \epsilon_1$ ” e “ $\sigma'_1/\sigma'_3 \times \epsilon_1$ ” foi detectada, como pode ser observado no subitem 4.3.2 (f). Entretanto, a Taxa de Poropressão Específica apresenta visualmente, em seu desenvolvimento, alguns comportamentos aparentemente repetitivos que carecem de uma melhor análise. Como exemplos, para melhor elucidar a evidência desses fenômenos, apresentam a seguir gráficos representativos dos ensaios normalmente adensados e sobreadensados conforme Figura 4.44, ressaltando momentos de paralisação na oscilação da TPE.

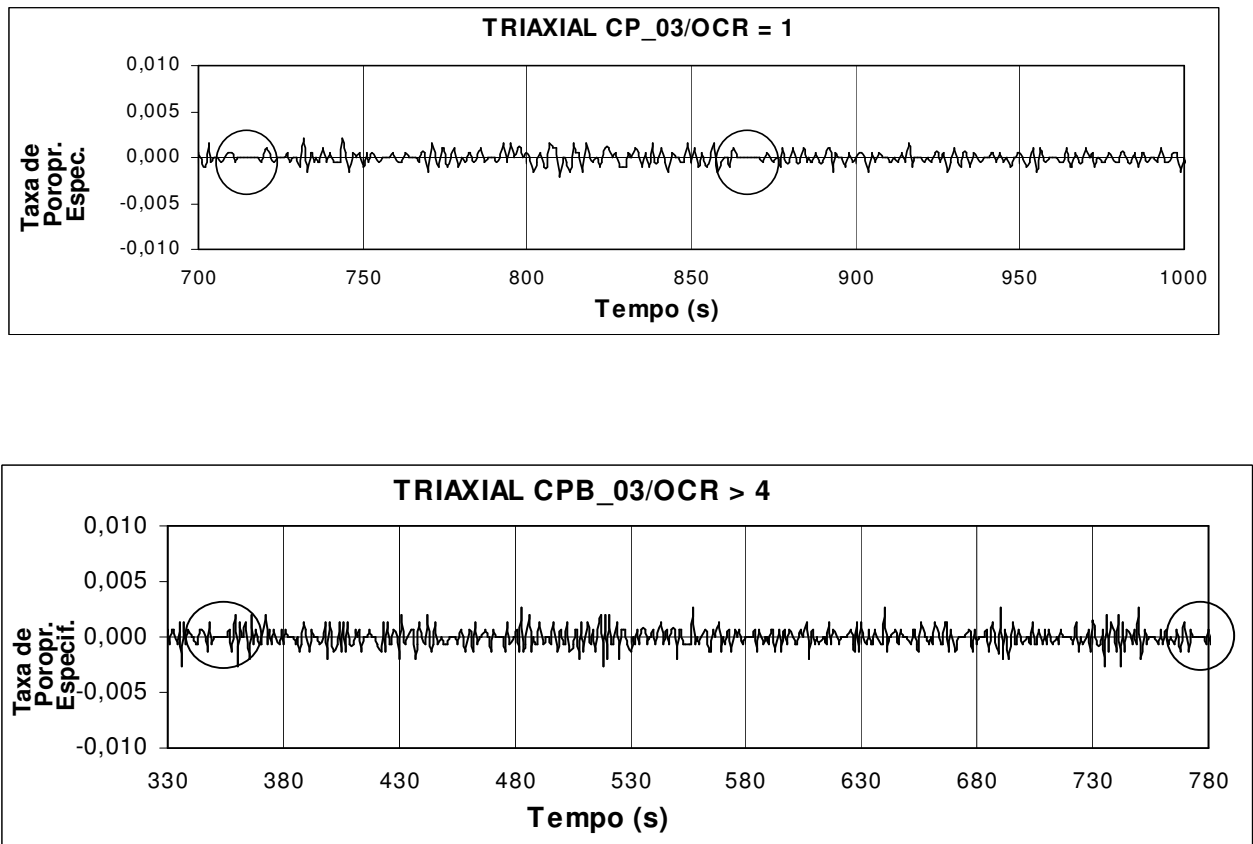


Figura 4.44 - Gráficos TPE x Tempo, onde se observam padrões de comportamento repetidos em que a oscilação da TPE é nula.

4.4.6 Relação da TPE com a região de plastificação do material

Os resultados gráficos das Taxas de Poropressão Específica aqui obtidos apresentam, no seu desenvolvimento, um único pico que ocorre no início imediato da aplicação da carga axial e, logo após, assume valores decrescentes buscando um equilíbrio em torno de uma taxa fixa de valor igual ou próximo a zero. Tal comportamento diferencia-se daquele apresentado nos resultados dos ensaios de laboratório elaborados por Guimarães (2000), conforme exposto no Capítulo 1 - Revisão Bibliográfica da presente dissertação, onde se observa que as taxas das poropressões apresentam picos e vales alternando-se entre um e outro, ou seja, a taxa da poropressão específica sobe rapidamente logo após a imposição do carregamento, caindo logo em seguida para valores que podem ser até negativos, e mantido

este carregamento a taxa da poropressão específica tende a retornar a um novo patamar compatível com a nova tensão desviatória. Cabe observar, mais uma vez, que os ensaios triaxiais realizados por Guimarães (2000) foram tipo carga controlada, enquanto que aqueles cujos resultados são aqui analisados foram do tipo velocidade controlada e, portanto, diferentemente dos primeiros, apresentam um acréscimo de carga axial constante.

Diferentemente da observação visualmente comparativa com base nos gráficos dos comportamentos padrões apresentados na Figura 1.6 constante do Capítulo 1 - Revisão Bibliográfica da presente dissertação, e com base no exposto no item 4.3.3, conclui-se que o desenvolvimento Taxa de Poropressão Específica apresenta características especiais pertinentes à zona de plastificação do material que viabilizam, inclusive, a determinação do ponto de escoamento do solo em estudo. Para tanto se propõe, aqui, um método gráfico, onde o ponto de escoamento corresponde à interseção das tangentes aos dois trechos que compõem a curva inicial do desenvolvimento da TPE, de concavidade acentuada. Adotando o ensaio triaxial com o LM-02 para se exemplificar o método proposto, teremos:

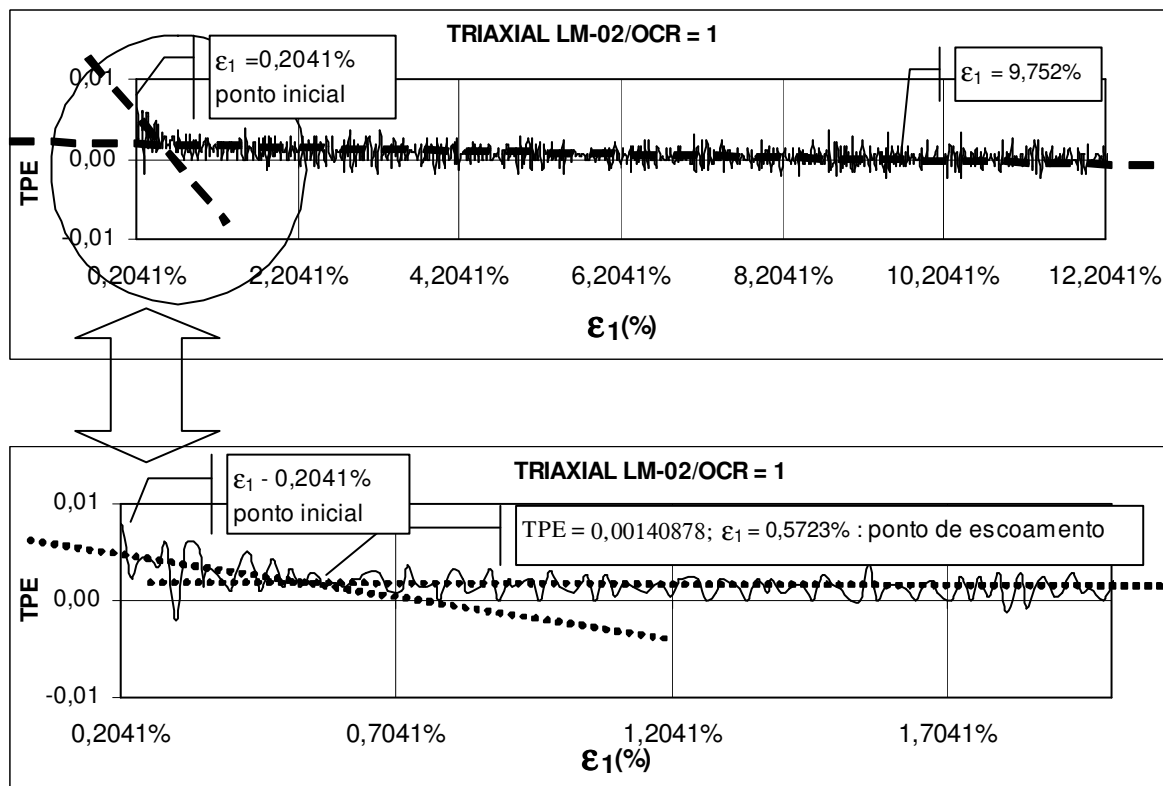


Figura 4.45. Determinação do ponto de escoamento pelo método da Taxa de Poropressão Específica.

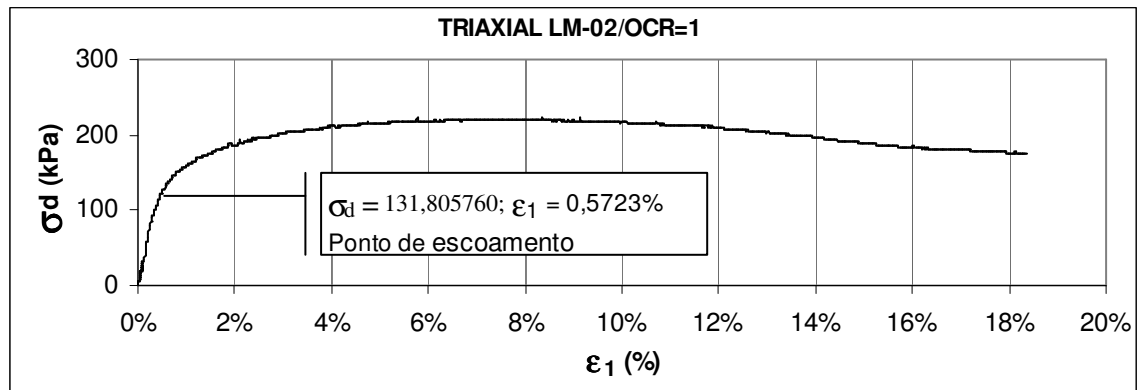


Figura 4.46 - Localização do ponto de escoamento no desenvolvimento da tensão desviatória versus deformação axial.

Assim, tem-se como ponto de escoamento, para o solo aqui em análise, aquele correspondente a $\epsilon_1 = 0,5723\%$.

Utiliza-se agora, o CP-04, tendo em vista que o desenvolvimento de σ_d x ϵ_1 neste caso, proporciona uma fácil determinação do ponto de escoamento pelo método usual o que viabiliza uma comparação mais precisa, com o método gráfico aqui proposto, assim teremos:

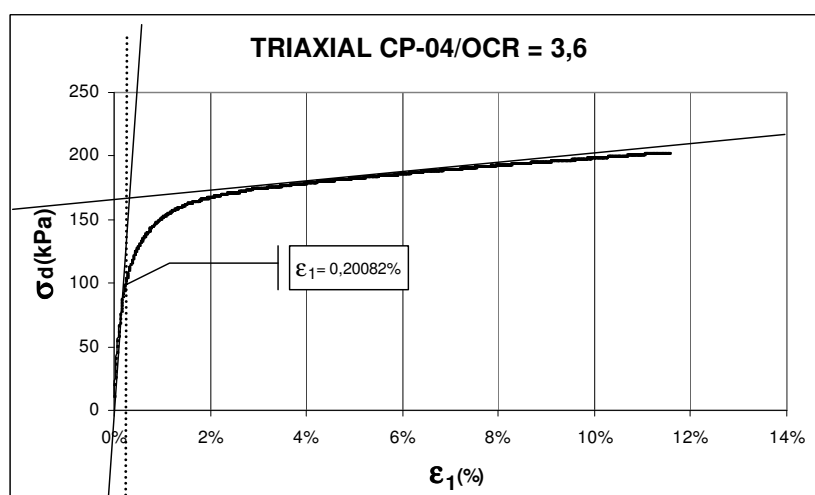


Figura 4.47 – Processo usual de determinação do ponto de escoamento, utilizando-se o ensaio com o CP-04.

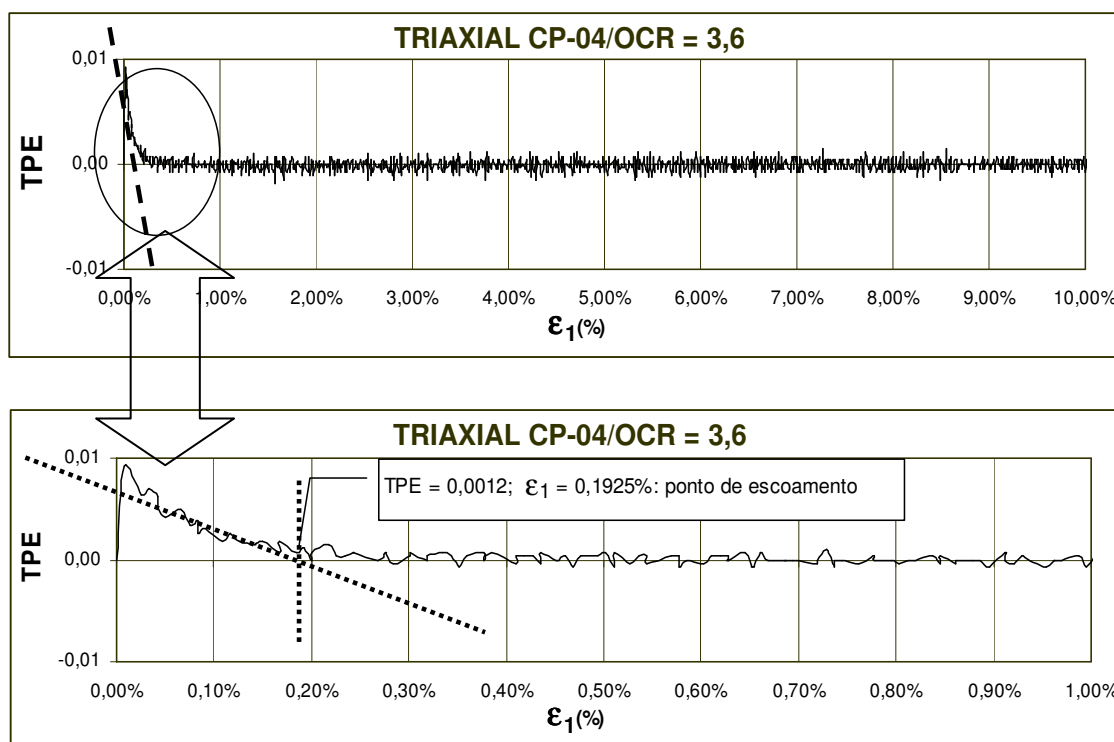


Figura 4.48. Determinação do ponto de escoamento pelo método da Taxa de Poropressão Específica utilizando-se o ensaio com o CP-04.

Observam-se neste caso, alguns aspectos importantes. Primeiro, a fácil determinação do ponto de escoamento pelo método usual, tendo em vista que o desenvolvimento da tensão desviatória correspondente ao ensaio com o CP-04 apresenta uma conformação favorável ao traçado das tangentes necessárias para tanto, vide Figura 4.47. Segundo, quando da determinação do ponto de escoamento com a utilização do gráfico correspondente ao desenvolvimento da Taxa de Poropressão Específica, observa-se a coincidência de uma das tangentes com o eixo de TPE igual a zero, vide Figura 4.48. E, finalmente, que os valores encontrados pelos dois métodos são muito próximos, sendo correspondente a ϵ_1 igual 0,2008% no método usual e ϵ_1 igual 0,1925% no método que utiliza o parâmetro TPE o que se atribuiu à facilidade na utilização do primeiro. Tal fato vem consolidar a proposta de utilização da Taxa de Poropressão Específica como um novo parâmetro na determinação do ponto de escoamento de solos.

A Figura 4.49 a seguir, corresponde à parte daquela constante do subitem 1.2.4 (c) de “Revisão Bibliográfica” e, portanto, os gráficos de “ σ x ϵ ” são oriundos de textos

técnicos especializados, mais especificamente de Head (1983), enquanto que os gráficos “TPE x ϵ ” foram obtidos pelo tratamento daqueles, através da formulação de Guimarães (2000).

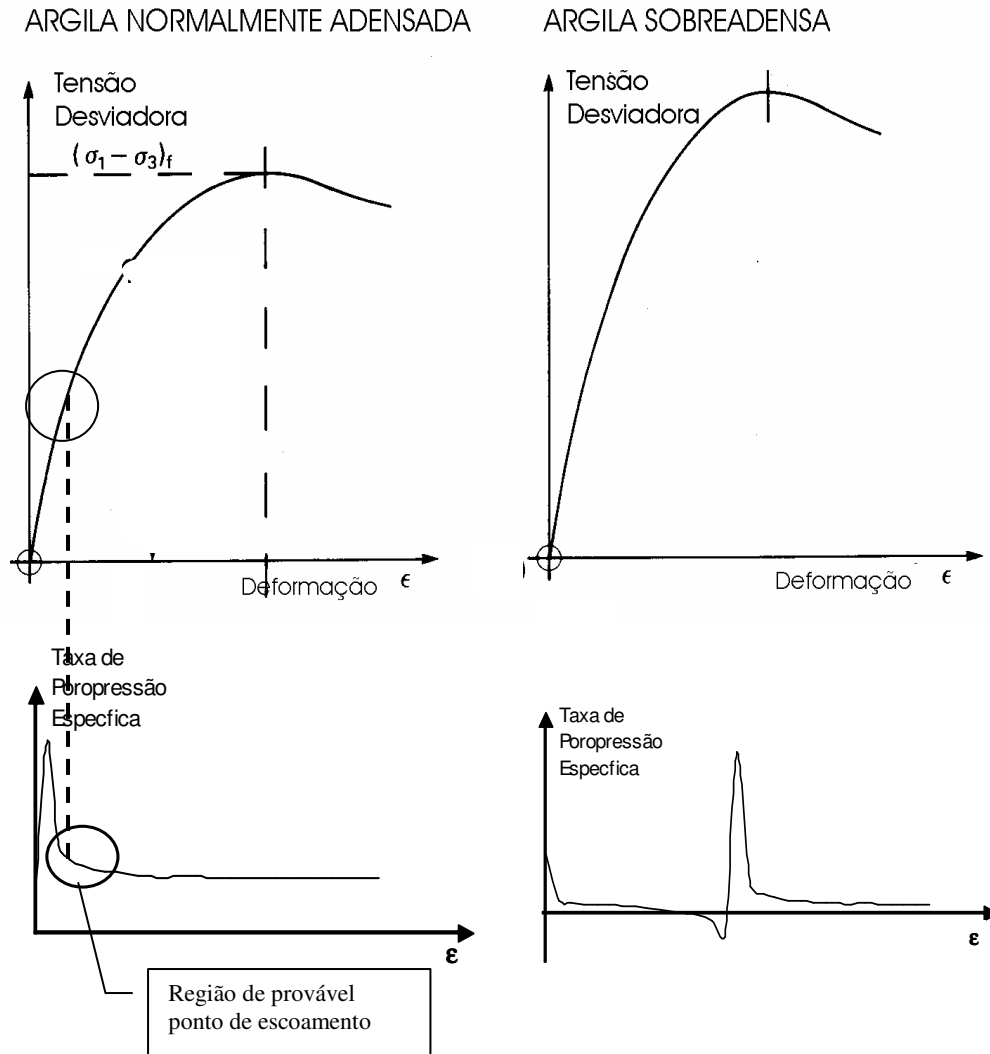


Figura 4.49 – Resultados gráficos obtidos de Head (1983) (vide “Revisão Bibliográfica” subitem 1.2.4 (c)) onde se destaca a região que contém o ponto de escoamento e, observa-se, que esta se localiza em trecho inicial do desenvolvimento da tensão desviatória, inferior, portanto, a 1/3 do mesmo.

Nesta Figura, buscou-se evidenciar que a provável região que contém o ponto de escoamento, obtido no gráfico “TPE x ϵ ”, correspondente à argila normalmente adensada, indica que o mesmo se encontra no primeiro 1/3 (um terço) do desenvolvimento de “ σ x ϵ ”, ou seja, ainda no regime elástico.

5 – CONCLUSÃO FINAL E RECOMENDAÇÕES

As análises efetuadas pautaram-se em resultados de cinco ensaios triaxiais CIU com medida de pressão neutra, em solos saturados, sendo dois ensaios normalmente adensados e três ensaios sobreadensados sendo um com $OCR = 7$, outro com $OCR > 4$ e o terceiro com $OCR = 3,6$. Dos resultados obtidos foram tiradas algumas conclusões e apresentadas algumas recomendações, como a seguir.

A Taxa de Poropressão Específica foi obtida com base nos valores correspondentes à variação da pressão neutra (u), a que se chamou simplesmente de Taxa de Poropressão Específica ou TPE, e com base nos valores correspondentes à variação do excesso da pressão neutra (Δu) a qual se chamou de Taxa de Poropressão Específica em “ Δu ” ou TPE em “ Δu ”. Analisou-se o padrão de comportamento entre a TPE e as Deformações Específicas (ou Tempo) onde se observou, em todos os gráficos, que no início da aplicação do carregamento axial, o desenvolvimento da TPE se dá com valores decrescentes, apresentando uma busca de equilíbrio em torno de uma taxa constante. Em outras palavras, pode-se dizer que a TPE apresenta um decréscimo rápido na fase inicial do ensaio tendendo depois a uns valores estáveis, constantes e próximos a zero. A curva apresenta uma concavidade voltada para cima e encontrou-se uma correlação entre o ponto de maior curvatura (menor raio) e o ponto de escoamento obtido na curva “ $\sigma_d \times \varepsilon_1$ ”.

Com base nas análises dos resultados dos ensaios, onde se procurou correlacionar o desenvolvimento da TPE com as diversas faces do estado de tensões, mais especificamente com o desenvolvimento das tensões desviatórias correspondentes, não foi detectado anomalias ou comportamento diferenciado por ação de forças de cisalhamento máxima nas regiões em torno de $(\sigma'_1/\sigma'_3)_{max}$ e em torno de $\sigma_d \text{ max}$.

Entretanto, concluiu-se que o valor da OCR tem relação direta com a velocidade com que a Taxa de Poropressão Específica busca a zona de equilíbrio em torno de uma taxa constante, ou seja, quanto maior o valor da OCR mais rápido a TPE atinge esse equilíbrio.

Considerando a relação existente entre os desenvolvimentos da TPE e da tensão desviatória, não foi difícil perceber que o trecho de máxima concavidade da primeira, reflete exatamente o desenvolvimento da curva da tensão desviatória na região de plastificação, demonstrando, inclusive, uma relação com o estado de tensões a que o solo correspondente esteja submetido. Assim sendo, e incluindo a aplicação de gráficos defasados como ferramenta auxiliar, concluiu-se pela viabilidade de se adotar o desenvolvimento da TPE como parâmetro para determinação do ponto de escoamento do solo e, se propôs um método, para tanto.

Como dito anteriormente, nenhuma relação da Taxa de Poropressão Específica com os momentos de pico das curvas " $\sigma_d \times \epsilon_1$ " e " $\sigma'_1/\sigma'_3 \times \epsilon_1$ " foi detectada, como pode ser observado no subitem 4.3.2 (f).

A proposta de utilização da TPE como parâmetro de determinação do ponto de escoamento de solos, teve como base os resultados de ensaios triaxiais realizados com corpos de prova de um mesmo tipo de solo e, portanto, recomenda-se que estudos com solos de características distintas sejam realizados com o objetivo de se estudar o grau de generalização do método aqui proposto.

REFERÊNCIAS

ATKINSON, J. H. and BRANSBY, P. L., (1978). **The Mechanics of Soils. An Introduction to Critical State Soil. An Introduction to Critical State Soil Mechanics.**

BARDEN, L. and MCDERMOTT, R. J. W. (1965). Use of Free Ends in Triaxial Testing of Clays. **J. Soil Mechanics' & Foundation Div.**, ASCE, Vol. 91, No. SM6, pp 1-23.

BISHOP, A. W., and D. J. HENKEL, (1962). **The Measurement of Soil Properties in The Triaxial Test**, Edward Arnold Ltda., London, second edition.

CASAGRANDE, A. & WILSON, S. D. (1951). Effect of Rate of Loading on the Strength of Clays and Shales at Constant Water Content. **Geotechnique** Vol. 2(3), p. 253.

DOBES, F. and MILICKA, K. (1976). The Relation Between Minimum Creep Rate and Time to Fracture, **Metal Science (GB)**, Vol. 10, No. 11, pp. 382-384.

FERRA, NELSON e PRADO, CARMEN (1994). **Caos – Uma Introdução**. Ed, Edagard Blücher Ltda., São Paulo, pp 15-26.

FUKOZONO, T. (1985). A New Method Form Predicting the Failure Time of Slope, Proc. **Of 4th I.C.F.L.**, Tokyo, p. 145-150.

FUKOZONO (1989). **A Simple Method for Predicting the Failure Time of – Using Reciprocal of Velocity – Technology for Disaster Prevention**, Science and Technology Agency, Japan & International Cooperation Agency, Japan, Vol. 13, p. 111-128.

FUKOZONO, T. (1990). Recent Studies on Time Prediction of Slope Failure. **Landslide News**, n. 4 –July pp 9-12.

FUKOZONO, T. (1996). Creep Model of Kanto Loam and its Application to Time Prediction of Landslides. In: **Landslide, ed Chacoon**, Irigaray & Fernandez, Balkema, Rotterdam, pp. 221-233

GLEICK, JAMES (1990). **Caos: A Criação de uma nova Ciência**. Tradução de Waltensir Dutra. Rio de Janeiro: Campus, pp 123-156.

GOLDSTEIN, M. and TER-STEPANIAN, G. (1957). The Long-Term Strength of Clays and Depth Creep of Slopes. **Proc. 4th Int. Conf. Soil Mech. And Found. Eng' g.**, II, pp. 311-314. – citado por Saito and Uesawa (1961).

GUIMARÃES, ROBERTO BASTOS, (2000). **Contribuições para o Estudo do Estágio de Fluência Terciária em Solos**, 105 p., Tese em Engenharia Ambiental, Coope/Ufrj, Rio de Janeiro.

HAYASHI, S. et al (1988). A Simple Method for Predicting the Failure Time of Slope Using Reciprocal of Velocity. In: **Technology for Disaster Prevention, Science and Technology Agency**, Japan & International Cooperation Agency, Japan, Vol 13 p. 111-128.

HÖEG, K., ANDERSLAND, O. B. and ROLFSEN, E. N. (1969). Undrained Behavior of Quick Clay Under Load test at Åsrum, **Geotechnique**, Vol. 19:1, pp. 101-115.

IKEN, A. (1977). Movement of a Large Ice Mass Before Breaking Off, **Journal of Glaciology**, Vol. 19, No. 81, pp. 595-605.

LEROUEIL, S., TAVENAS, F., MIEUSSENS, C. and PEIGNAUD, M. (1978). Construction Pore Pressures in Clay Foundations under Embankments, Part II: generalized behavior, **Canadian Geotechnical Journal**. Vol. 15:1, p. 54-65.

LEROUEIL, S., MAGNA, J. P., TAVENAS, F. (1985). **Remblais sur Argiles Molles**, Technique et documentation Lavoisier. Paris, p. 342.

LO, K. Y. (1961). **Stress-Strain Relationship and Pore-Water Pressure Characteristics of Normally Consolidated Clay**, Proc. 5th Int. Conf. Soils Mech., 1:219-224.

MACHADO, S. L. (2002). **Relatório Final – Projeto Purifica – Proposta para Remediação de Áreas Degradadas pela Atividade Extrativa de Chumbo em Santo Amaro da Purificação**, Salvador pp. 1-30.

MITCHELL, R. J., (1970). On the Yielding and Mechanics Strength of Leda Clays, **Canadian Geotechnical Journal**, V. VII, p. 297-312.

MONKMAN, F. C. and GRANT, N. J. (1956). **Na Empirical Relationship Between Rupture Life and Minimum Creep Rate in Creep-Rupture Tests**, Proceedings, American Society for Testing Materials, Vol. 56, pp. 593-605, with discussion, pp. 605-620.

MURYAMA, S. and SHIBATA, T. (1956). **On the Rheological Characteristics of Clay** (in Japanese). Trans. Japan Society of Civil Engineers, 40, pp 1-31.

PACHECO SILVA, F. (1970). Uma Nova Contribuição Gráfica para a Determinação da Pressão de Preadensamento de uma Amostra de Solos. **COBRANSEF**, R. J. Vol II, tomo I, pp. 219-224.

PANDE, G. N., PIETRUSZCZAK, S., (1990). A Rational Interpretation of Pore Pressure Parameters. **Geotechnique** 40 (2). 275-279.

PERIC, D. and AYARI, M. A. (2002). Influence of Lode's Angle on the Pore Pressure Generation in Soils. **International Journal of Plasticity** 18 1039-1059.

QUIN, S. Q., JIAO, J. J. and WANG, S. J. (2001). The Predictable Time Scale of Landslides. **Bull Eng Env** 59: 307-312

ROWE, P. W. and BARDEN, L. (1964). The Importance of Free Ends in Triaxial Testing. **J. Soil Mechanics & Foundation Eng. Div.**, ASCE, Vol. 90, Nl. SM1, pp 1-27.

SAITO M. and UEZAWA (1961). Failure of Soil Due to Creep; Proc. **Fifth International Conference on soil Mechanics and Foundation Engineering**, Vol. 1 pp. 315-318.

SAITO, M. (1965). **Forecasting** the Time of Occurrence of Slope Failure In: Proceedings of the **6th International Congress of soil Mechanics and Foundation Engineering**, Montreal Vol. 2 pp 537-541.

SAITO, M. (1969). Forecasting Time of Slope Failure by Tertiary Creep. Proceedings of the **7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering**, México – Vol 2, pp 677-683.

SAITO, M. (1980). Semi-logarithmic Representation for Forecasting Slope Failure. **In Proceedings 3rd International Symposium on Land-slides**, New Delhi, Vol 1 pp 321-324.

SANDSTRÖM, R. and KONDYR, A. (1980). Model for Tertiary-Creep in Mo- and CrMo-Steels. Proceedings, **3rd International Conference on Mechanical Behavior of Materials Cambridge**, England, 1979, Vol. 2, pp. 275-284.

SIMÕES, P. R. M. (1991). **Mecanismos de Instabilidade dos Taludes Naturais das Formações Expansivas da Bacia Sedimentar do Recôncavo Baiano**, Tese em Engenharia Civil, UFRJ, Rio de Janeiro. pp. 8 – 55.

SKEMPTON, A. W. (1954). **The Pore Pressure Coefficients A and B**. Geotechnique, Vol.4, pp. 143-147.

SCHUMM, S. A. and CHORLEY, R. J. (1964). **The Fail of Threatening Rock**. American Journal of Science, Vol. 262, pp. 1041-1054.

VARNES, D. J. (1982). Time-Deformation Relations in Creep to Failure of Earth Materials. In: Proceedings. **7th Southeast Asian geotechnical Conference**, Hong-Kong, nov 1982, McFeat-smith & P. Lumb (eds), Vol II, pp. 107-130.

VOIGHT, B. (1989). A Relation to Describe Rate-Dependent Material Failure. **Science** Vol. 243 pp. 200-203.

WOOD, D. M., (1990). **Soil Behavior and Critical State Soil Mechanics**. Cambridge University Press.

YANG, P. C., NAKAMORI, K. and SOKOBIKI, H., (1993). Prediction of the Creeping Landslide Deformation, **Seven International Conference and Field Workshop on Landslides**.

APÊNDICE A

Procedimentos Gerais Adotados na Coleta das Amostras

Procedimentos Gerais para Coleta das Amostras

Como já descrito anteriormente, para a coleta das amostras usou-se amostradores em que o processo de avanço é por aparamento com o uso de cilindros e anéis biselados e/ou escavações com retirada de “blocos”. Para tanto elaborou-se uma ponteira biselada, de aço, e 13 cilindros de PVC no diâmetro interno de 100 mm e com altura de 200 mm. A ponteira biselada foi elaborada com diâmetro interno menor em 1 mm que o diâmetro interno dos cilindros de PVC.

O procedimento de redução de diâmetro referida acima objetiva reduzir o amolgamento das amostras, pois não só elimina, dentro de certos limites, as deformações do terreno quando da cravação pois fica reduzida a influência do volume da camisa do amostrador (cilindro de PVC) como também reduz o atrito do terreno na parede externa do amostrador. Buscando reduzir o atrito da amostra no interior do tubo usou-se um anel biselado com diâmetro interno (D_a) menor que o diâmetro interno do cilindro (D_c) em 1mm atendendo assim as recomendações de Hvorslev (1948).

Procedimentos na coleta do primeiro grupo de amostras

Nesta primeira coleta procedeu-se a retirada de 13 amostras utilizando-se para tanto os 13 (treze) cilindros de PVC e o anel de aço biselado. Cabe ressaltar que a retirada das 13 (treze) amostras aconteceu mediante processo dinâmico, com golpes relativamente fortes a fim de proporcionar a penetração do anel biselado no solo, apesar de se processar os aparamentos no entorno do anel biselado. Tal procedimento foi de encontro aos cuidados contra o amolgamento das amostras;

Estas treze amostras foram mantidas nos cilindros de PVC que foram envolvidos com papel laminado nas duas extremidades e vedados com parafina, para posteriormente se moldar os corpos de prova correspondentes.

Procedimentos na coleta do segundo grupo de amostras

Na coleta deste segundo grupo de amostras tomou-se o máximo de cuidados com a questão do amolgamento das amostras e, portanto, após a escolha do melhor local, sua limpeza e preparo da bancada, foi realizada da seguinte forma: O cilindro de PVC é acoplado ao anel biselado que por sua vez era colocado sobre a superfície do solo previamente preparada, e, sem uso de golpes, cravava-se o anel no solo retirando-se os excessos de material do entorno do anel e, aplicando-se pressão contínua (de forma estática), repete-se esse procedimento até o total preenchimento do cilindro de PVC com solo. Para a retirada do bloco cavou-se até uma profundidade um pouco maior que a da altura do bloco, aparou-se os excessos e obtivemos assim um bloco e seis cilindros de PVC com amostras.

Tanto o bloco como os cilindros com as amostras foram envolvidos com papel laminado, tela de tecido e envolvidos com parafina de modo a torná-los herméticos.

APÊNDICE B

Procedimentos Adotados na Realização dos Ensaios

PROCEDIMENTOS ADOTADOS NA REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS

Procedimentos gerais

1.1. Preparação dos corpos de prova e colocação dos mesmos nas células de ensaios triaxiais:

- Os corpos de prova foram moldados, envolvidos em papel filtro em toda sua área lateral (cobertura de 100%) com o objetivo de aumentar a velocidade de equalização da umidade e da pressão neutra.. O papel filtro utilizado foi qualitativo 33;
- Os corpos de prova já com papel filtro, foram envolvidos com membrana de látex;
- Os corpos de prova foram colocados na célula com a utilização de graxa de silicone e “o-rings” para garantir a total estanqueidade do sistema;
- Quando colocados nas respectivas células os corpos de prova receberam, na sua base e no seu topo, um sistema composto de duas membranas de borracha cortadas no mesmo diâmetro do corpo de prova intercaladas com graxa de silicone e um disco de acrílico que, nessa ordem, ficarão entre o corpo de prova e a pedra porosa. Tal procedimento tem por objetivo dotar os corpos de prova da condição de “extremos livres” eliminando por consequência as “zonas mortas” nos extremos das amostras prevenindo algum falso aumento na medida da resistência conforme já descrito anteriormente.
- após o fechamento da célula e o seu devido enchimento com água, esta, através de uma árvore de registros, foi ligada a uma coluna de potes com mercúrio que têm a finalidade de transmitir as pressões necessárias ao processo. As variações das pressões foram medidas por transdutores de pressão. Para o registro das variações de volume foi utilizado um aparelho específico que mede a quantidade da água drenada pelo processo de dissipação do excesso de poropressão e que, também, através de um transdutor faz os registros pertinentes. Os transdutores de leitura de pressão e variação de volume são conectados a uma remota que

armazena os dados e os envia ao computador. Este, por sua vez, com a utilização de um programa específico, transforma estes dados em volts para as unidades pertinentes a cada caso, ou seja: kPa (tensão), mm (deslocamento) e cm^3 (variação de volume).

Saturação do sistema de drenagem do aparelho de ensaios triaxiais:

- O sistema de drenagem foi saturado com a aplicação de uma pressão confinante de 20 kPa contra uma pressão interna de 10 kPa aplicada pelo registro da base até o processo de drenagem no interior do sistema se completar. Para tanto se manteve o registro do topo da amostra aberto e, quando a percolação se completa, com o surgimento de água no registro correspondente, este processo está concluído, e, portanto, neste momento, fechou-se o registro. Nos casos em que não se usou drenagem pelo topo (parte superior do corpo de prova) a percolação foi verificada pelo segundo duto de drenagem da base. Após este processo espera-se um mínimo de 2 (duas) horas para permitir que ocorra a equalização da tensão neutra.

Determinação do Parâmetro B/Saturação do Corpo de Prova:

- A seguir se determinou o parâmetro B ($= \Delta u / \Delta \sigma_3$) e, quando necessário, elevou-se o nível de contrapressão até se obter o parâmetro B igual à unidade.

Adensamento:

- O adensamento se processa até uma pressão confinante efetiva no mínimo igual à maior das pressões: de pré-adensamento (obtida nos ensaios edométricos e em um dos ensaios triaxiais) ou pressão confinante referente ao parâmetro B igual à unidade.

Cisalhamento:

- O rompimento de cada corpo de prova foi executado na prensa sob velocidade constante. A velocidade foi escolhida supondo que a amostra iria romper com deformação igual a 20% da sua altura inicial e considerando que o tempo máximo disponível para leitura na remota era de 20 minutos. Assim, temos: $0,20 \times 12 \text{ cm} = 2,40 \text{ cm} = 24 \text{ mm}$. Adotou-se um tempo para rompimento do corpo de prova de 20 minutos em função da limitação da remota que só armazena um máximo de 1280 pontos, assim teremos, $24\text{mm} / 20 \text{ minutos} = 1,2 \text{ mm/minuto}$ (velocidade). A poropressão foi lida a cada segundo.

2. Procedimentos adotados com o primeiro grupo de amostras

2.1. Ensaio Triaxiais

Como já descrito anteriormente, deste primeiro grupo moldaram-se os corpos de prova LM1, LM2, LM3 e LM4. Esses primeiros ensaios foram elaborados pela aluna de Iniciação Científica Luciene Moraes e acompanhados pelo autor da presente dissertação com fins de utilizá-los como ensaios piloto. Estes corpos de prova tinham altura de 11,97 cm e diâmetro de 5,13 cm.

Os quatro corpos de prova foram devidamente preparados na forma descrita no item “procedimentos gerais” e então foram colocados nas células triaxiais. Não se utilizou a drenagem pelo extremo superior do corpo de prova (topo), isolando-se assim o registro correspondente que permaneceu fechado durante todo o ensaio. Portanto, a saturação do sistema de drenagem e do próprio corpo de prova foi processada utilizando-se apenas o registro da célula e os registros da base.

O LM1 partiu quando do fechamento da célula correspondente ao ensaio triaxial e, portanto, foi abandonado.

O LM3 foi utilizado com o objetivo de verificar as condições dos equipamentos, reconhecer as suas condições, verificar possíveis problemas necessários a corrigir e familiarizar com os equipamentos principalmente com as células, colunas de pote com mercúrio, transdutores e leitura no programa de computador

O LM4, quando do adensamento, apresentou vazamento e mesmo corrigido esse vazamento não deu respostas coerentes, mostrando que provavelmente a membrana de borracha que o envolvia estava furada. Pelo exposto este ensaio foi abandonado.

O ensaio com o LM2 foi totalmente concluído e, portanto, faremos uma explanação do comportamento na condução do mesmo.

Ensaio LM2:

- Este ensaio teve início em 15/01/2002 e conclusão em 15/02/2002.
- Iniciamos o processo de saturação do sistema e, em seguida iniciamos um processo de contrapressão com o objetivo de chegarmos ao parâmetro $B = 1$ (um). Isto ocorreu quando tínhamos uma pressão na célula de 200 kPa. Na realidade a poropressão, nesta condição, respondeu com 189 kPa. Como se tinha, anteriormente, uma pressão na célula de 150 kPa e a contra pressão oscilava entre 139 e 140 kPa, considerou-se o $B \cong 1$.
- Este ensaio ficou paralisado por 10 (dez) dias enquanto outras providências eram tomadas. Assim, dez dias após, instalou-se o medidor de variação de volume e iniciou-se o processo de adensamento.
- Com uma contrapressão de 190 kPa aplicou-se quatro estágios de pressão na célula, ou seja: no dia 29/01/02 aplicou-se 250 kPa ($\sigma'_3 = 60$ kPa); no dia 01/02/02 aplicou-se 290 kPa ($\sigma'_3 = 100$ kPa); no dia 02/02/02 aplicou-se 390kPa ($\sigma'_3 = 200$ kPa) e no dia 06/02/02 aplicou-se 500 kPa ($\sigma'_3 = 310$ kPa). Portanto o processo de adensamento foi de 08 (oito) dias.

- Apenas 07 (sete) dias depois, ou seja em 15.02.02, procedeu-se o rompimento do corpo de prova na prensa sob velocidade constante. A velocidade foi escolhida supondo que a amostra iria romper com deformação igual a 20% da sua altura inicial. Assim, temos: $0,20 \times 12 \text{ cm} = 2,40 \text{ cm} = 24 \text{ mm}$. Adotou-se um tempo para rompimento do corpo de prova de 20 minutos em função da limitação da remota, equipamento de armazenamento dos dados, que só armazena 1280 um máximo de 1280 pontos, assim teremos, $24\text{mm} / 20 \text{ minutos} = 1,2 \text{ mm/minuto}$ (velocidade). A poropressão foi lida a cada segundo.

3. Procedimentos adotados com o segundo grupo de amostras

3.1. Ensaios Edométricos:

Em 27.06.02, moldaram-se dois corpos de prova, CPE-01 e CPE-02, para ensaios edométricos e, no dia 28.06.02 iniciaram-se os ensaios de adensamento unidimensionais.

O processo de adensamento desenvolveu-se na forma convencional. Os corpos de prova foram moldados com 2,0 cm de altura e 7,14 cm de diâmetro, portanto com o diâmetro superior a três vezes a altura buscando assim reduzir o atrito lateral durante os carregamentos. Os carregamentos foram feitos por etapas, variando 6 kPa, com o objetivo de provocar a acomodação da amostra, a 784 kPa, sempre dobrando as cargas em cada etapa em relação ao valor correspondente à etapa anterior. Para este procedimento foi considerado o braço de alavanca do equipamento para se determinar os pesos utilizados correspondentes a cada carregamento sobre o corpo de prova. Para cada carga aplicada, registrou-se a deformação específica vertical no primeiro segundo de tempo e prosseguiu-se sempre dobrando o tempo anterior até se observar a estabilização das deformações.

O processo de adensamento unidimensional durou um total de 14 (quatorze) dias e teve como principal objetivo determinar a tensão de pré-adensamento do solo em análise. No ensaio de adensamento após a fase de carregamento dos corpos de prova, iniciou-se a fase de descarregamento para posterior recarregamento, retirando e recolocando os mesmos pesos

utilizados na fase de carregamento, com o objetivo de complementar as informações quanto às características do solo em carga e descarga.

A fase de carregamento, correspondente ao adensamento dos corpos de prova, durou 14 (quatorze) dias, o descarregamento durou 32 (trinta e dois) dias e o recarregamento durou 08 (oito) dias.

Os gráficos correspondentes às estes dois ensaios estão representados no Apêndice C onde se pode observar que as curvas de adensamento iniciais não estão muito bem definidas, dificultando e, em alguns casos até impedindo o cálculo do C_v .

Para determinação da tensão de preadensamento utilizou-se o método de Pacheco Silva (1970) conforme se pode observar no item 4.2.

3.2. Ensaio Triaxiais CIU com medida da poropressão:

Em 26.06.02, com já descrito anteriormente, moldaram-se quatro corpos de prova de amostras de cilindros de PVC, sendo CP-01, CP-02, CP-03 e CP-04, sendo que uma parte restante do material destas amostras foi utilizada para os ensaios de caracterização. As suas dimensões, a exemplo dos corpos de prova moldados do primeiro grupo de amostras, foram de 5,13 cm e altura de 11,97 cm. Logo após a moldagem, foram colocados na câmara úmida, tendo em vista que os serviços de execução de piso do laboratório e de pintura, iniciados em março/02 ainda estavam em conclusão e, conseqüentemente, as colunas dos potes com mercúrio ainda estavam desmontadas.

a) Triaxial correspondente ao CP-01:

Em 15.07.02, com a liberação de uma parte de uma das colunas de potes com mercúrio, preparamos o CP-01 para iniciar o ensaio triaxial. Dotou-se o CP-01 de extremos livres. Utilizou-se drenagem pela extremidade superior deste corpo de prova (pelo topo) durante a fase de saturação do sistema.

Quando se iniciou a saturação do sistema, ao colocar uma pressão na célula de 20 kPa e uma contra pressão de 10 kPa quase de imediato saiu água no registro correspondente ao extremo superior do corpo de prova (topo). Fechamos o registro correspondente à contra pressão (base do corpo de prova) e a água continuou a sair. Tal fato obrigou a se abrir a célula para se efetuar uma investigação e logo observou-se que o CP-01 estava rompido num plano de aproximadamente 45°.

Observou-se que o pistão, mesmo totalmente elevado, não apresentava folga em relação ao “cap” e, portanto, uma primeira hipótese de causa do fato citado no parágrafo antecedente, é que uma conseqüente pressão pode ter sido a causa deste acontecimento prematuro. Outra hipótese levantada é a possibilidade de uma anisotropia do solo, sob as pressões de 20 kPa na célula e 10 kPa de contra pressão, para fins de saturação do sistema, tenha levado à uma ruptura num plano de maior fragilidade, entretanto parece ser muita coincidência esta ruptura se dar num plano de 45° .

Pelo exposto o CP-01 foi abandonado.

b) Ensaio Triaxial correspondente ao CP-02:

Em 15.07.02 preparou-se o CP-02 e, a exemplo do CP-01, dotou-se o mesmo de extremos livres. Também foi utilizada drenagem pela extremidade superior deste corpo de prova (pelo topo) durante a fase de saturação do sistema.

O CP-02 foi colocado em célula distinta daquela usada no CP-01, entretanto, ao fechar a célula, observou-se que o pistão não apresentava folga. Abriu-se rapidamente a célula, observou-se criteriosamente o corpo de prova (envolvido no papel filtro e na membrana de borracha) sendo que, na sua aparência visual, não apresentava nenhuma irregularidade. Mudou-se a célula e, nesta oportunidade, o pistão apresentou uma pequena folga.

Para a saturação deste corpo de prova utilizou-se o processo de contra-pressão obtendo-se o parâmetro B igual a 1 (um) após 03 (três) dias de ensaio com uma pressão na célula de 250 kPa e uma contra-pressão de 240 kPa.

Por motivos operacionais do Laboratório no tocante ao medidor de variação de volume, só se iniciou o adensamento 07 (sete) dias após se conseguir o parâmetro B igual a unidade. O adensamento durou 10 (dez) dias, quando então chegamos a uma pressão na célula de 1010 kPa o que nos proporcionou um σ'_3 equivalente a 770 kPa.

Quatorze dias depois, iniciou-se um processo de descarregamento com o objetivo de obtermos um OCR elevado e, para tanto passamos pelos mesmos estágios de tensões quando do carregamento. O descarregamento foi efetuado até uma tensão na célula de 350 kPa correspondente a um σ'_3 de 110 kPa. Esta etapa do ensaio durou 10 (dez) dias em função da espera de uma estabilização da variação do volume do corpo de prova. Em seguida, procedeu-se a fase de corte do corpo de prova com um OCR equivalente a 7.

Após a ruptura do corpo de prova, este apresentava um plano de fraturamento com inclinação superior a 45° . Não apresentava esbojamento, a não ser um pequeno abaulamento no terço superior da parte inferior do plano de fraturamento. Na parte superior do início do plano de fraturamento se deu próximo ao topo, aproximadamente 1 cm abaixo.

Para determinação do teor de umidade, dividiu-se o corpo de prova em três partes (topo, centro e base), as amostras eram colocadas o tempo necessário na estufa, a 110° C, constatando-se os seguintes percentuais de umidade: topo = 23,89%; centro = 23,37% e base = 21,03%.

c) Ensaio Triaxial correspondente ao CP-03:

No ensaio correspondente ao CP-03, também se adotou os extremos livres. Também foi utilizada drenagem pela extremidade superior deste corpo de prova (pelo topo) durante a fase de saturação do sistema.

Conseguiu-se o parâmetro B igual a 1 (um) após 05 (cinco) dias de ensaio com uma pressão na célula de 200 kPa e uma contra-pressão de 190 kPa.

Sete dias após, concluiu-se o adensamento com uma tensão na célula de 600 kPa e procedeu-se a ruptura com esta mesma tensão obtendo, conseqüentemente, um OCR igual à unidade.

Após a ruptura o corpo de prova estava flambado com flecha máxima próxima à parte central mais para o topo e não apresentou plano de ruptura definido.

Após a divisão do corpo de prova em três partes (topo, centro e base) e decorrido o tempo necessário na estufa, a 110°, constatou-se, para o solo, os seguintes teores de umidade: topo = 24,05%; centro = 24,24% e base = 18,82%.

d) Ensaio Triaxial correspondente ao CPB-01:

Neste ensaio, também se adotou os extremos livres. Diferentemente dos ensaios descritos acima, foi utilizada drenagem pela base do corpo de prova durante a fase de saturação do sistema.

Conseguiu-se o parâmetro B igual a 1 (um) após 13 (treze) dias de ensaio, com uma pressão na célula de 400 kPa e uma contra-pressão de 390 kPa.

Vinte e dois dias após, iniciamos o processo de adensamento com quatro estágios de tensão, e este processo foi concluído após 03 (três) dias com uma tensão na célula de 600 kPa e procedeu-se a ruptura com esta mesma tensão obtendo, conseqüentemente, um OCR igual à unidade.

Após a ruptura o corpo de prova não apresentou plano de ruptura definido e nem vestígio claro de ruptura, apresentou uma pequena curvatura em relação ao seu eixo maior.

Este ensaio apresentou gráficos completamente distintos em relação aos demais, apresentando um comportamento completamente diferente dos resultados obtidos em ensaios similares apresentado pela literatura técnica pertinente. Este ensaio não foi aproveitado e o corpo de prova não foi dividido em três partes como os demais e, após secagem em estufa, apresentou um teor de umidade de 18,46%.

e) Ensaio Triaxial correspondente ao CPB-02:

Também neste ensaio se adotou os extremos livres. A exemplo do ensaio correspondente ao CPB-01 foi adotado drenagem pela base do corpo de prova durante a fase de saturação do sistema.

O parâmetro B igual a 1 (um) foi conseguido após 10 (dez) dias de ensaio com uma pressão na célula de 350 kPa e uma contra-pressão de 340 kPa.

Por falta de equipamentos disponíveis, em virtude dos serviços de reforma do laboratório, desconectou-se a célula da coluna de mercúrio reconectando-a apenas dezoito dias depois, quando, nesta oportunidade, a tensão na célula e a contrapressão estavam iguais no valor de 308 kPa e, portanto, corrigiu-se para os valores anteriores. Apenas vinte e sete dias depois (perfazendo um total de quarenta e cinco dias) iniciou-se o processo de adensamento. Esta fase foi prevista ocorrer com 05 (cinco) estágios de tensões, porém no primeiro estágio o gráfico “variação de volume x log do tempo” apresentou um comportamento incoerente com o processo normal, ou seja, o desenvolvimento decrescente da curva correspondente mudou repentinamente para crescente, o que teoricamente significa que o volume, que vinha de forma natural reduzindo-se, passou repentinamente a aumentar. Observou-se ainda que, nesta oportunidade, a tensão na célula aumentou sozinha. Após as correções pertinentes, iniciou-se um novo estágio de adensamento porém, a tensão na célula, mais uma vez, começou a aumentar sozinha. A contrapressão também começou a variar sozinha. Entendeu-se que a membrana de borracha deveria estar furada. Em consequência do exposto desistiu-se deste ensaio. Após abrir a célula, observou-se que o corpo de prova não apresentou, visualmente, nenhuma irregularidade.

f) Ensaio Triaxial correspondente ao CPB-03:

Como nos demais ensaios, neste adotou-se os extremos livres. A exemplo dos ensaios correspondentes a todos os corpos de prova CPB, neste também se utilizou drenagem pela base durante a fase de saturação do sistema.

Conseguiu-se o parâmetro B igual a 1 (um) após 14 (quartoze) dias de ensaio com uma pressão na célula de 350 kPa e uma contra-pressão de 340 kPa.

Ainda por falta de disponibilidade de equipamentos iniciou-se o processo de adensamento 33 (trinta e três) dias depois. Este processo ocorreu com a aplicação de tensões na célula em 05 (cinco) estágios, Diferentemente dos demais ensaios, neste decidiu-se adotar rigorosamente 24 horas para cada estágio de tensão perfazendo, portanto, um total de 05 (cinco) dias de adensamento. Tal fato levou a se ter um processo de adensamento, em alguns casos, interrompido antes de se iniciar a sua estabilização. Por conseqüência, tornou-se impraticável se determinar o valor do OCR quando do cisalhamento do corpo de prova. Apesar disto processou-se um descarregamento, em dois estágios, buscado-se garantir um OCR elevado, o suficiente para proporcionar, durante o cisalhamento, uma alteração na variação da pressão neutra de positiva para negativa ou seja, que o corpo de prova passe de tendência a reduzir o seu volume à tendência de aumentá-lo. Na fase de descarregamento esperou-se, em cada estágio, o tempo suficiente para que o corpo de prova estabilizasse com relação à variação do seu volume e, portanto, este processo durou 14 (quatorze) dias.

Após a ruptura o corpo de prova não apresentou plano de ruptura bem definido. Apresentou pequena flambagem com flecha máxima no seu um terço superior.

Após a divisão do corpo de prova em três partes (topo, centro e base) e utilizando o tempo necessário na estufa, a 110°, constatou-se os seguintes teores de umidade: topo = 25,68%; centro = 24,60% e base = 22,10%.

3.3. Ensaio Triaxial Complementar (CP-04):

Os gráficos oriundos dos ensaios triaxiais, apresentaram um pequeno trecho inicial com um desenvolvimento diferenciado. Esse fato, que foi observado nos gráficos apresentados, provavelmente decorreu da acomodação do pistão no topo quando do início do processo de cisalhamento. Cabe ressaltar que o cabeçote disponível e até então utilizado, não possui guia para acoplamento da ponta do pistão durante o processo de adensamento do corpo de prova, então, durante esta fase ocorre um pequeno desvio entre o eixo longitudinal do corpo de prova e o eixo longitudinal do pistão. Isso provoca, conseqüentemente, durante o início do cisalhamento, uma acomodação da ponta abaulada do pistão à cavidade do cabeçote próprio para recebê-lo.

Posteriormente às análises dos resultados pertinentes aos corpos de prova LM-02, CP-02, CP-03 e CPB-03, realizados com o objetivo de examinar a relação do desenvolvimento diferenciado do trecho inicial que foram observados nos gráficos “ $\sigma_d \times \epsilon_1$ ”, conforme citado no parágrafo anterior, com a acomodação do pistão no cabeçote quando do início do processo de cisalhamento, optou-se pela realização de um novo ensaio, com base nos procedimentos gerais descritos no item 3.1 acima, porém com as adequações descritas a seguir.

Buscando eliminar a provável acomodação do pistão no cabeçote, durante o ensaio triaxial, resolveu-se fabricar um novo cabeçote de acrílico, idêntico ao anterior, porém dotado de um guia, também em acrílico, que tem a função de envolver a ponta do pistão desde antes do início do processo. Para tanto, fabricou-se, também, uma nova ponta de pistão mais comprida o suficiente para se acoplar no interior do guia do novo cabeçote. As células de acrílico dos aparelhos de ensaio triaxial existentes no laboratório já não possuem a condição translúcida necessária à boa visualização interna durante o processo do ensaio. Diante disso resolveu-se fabricar também novas células de acrílico, totalmente translúcidas, porém com emenda por limitação técnica do fabricante nacional. Após a elaboração de um ensaio em uma das células, onde se adaptaram três anéis de aço, abraçando a célula, para reforçar a emenda, chegou-se a uma pressão máxima no seu interior, de aproximadamente 1100 kPa tendo em vista que neste limite, durante um teste inicial, ocorreu a ruptura da emenda.

Moldou-se um novo Corpo de Prova, o CP-04, na mesma medida dos anteriores, ou seja, com diâmetro de 5,13 cm e altura de 11,97 cm. Entretanto, para adaptá-lo ao novo cabeçote com guia e ao pistão com ponta mais comprida, fez-se necessário reduzir a altura do corpo de prova para 10 cm.

Como nos demais ensaios, neste também se adotou os extremos livres e, durante a fase de saturação do sistema, utilizou-se drenagem pelo topo.

Conseguiu-se o parâmetro B igual a 1 (um) após onze dias de ensaio com uma pressão na célula de 425 kPa e uma contra-pressão de 390 kPa.

O adensamento foi realizado até uma pressão máxima na célula de 750 kPa por precaução quanto ao possível rompimento da emenda da célula, atingindo assim um σ'_3 de 360 kPa. O descarregamento foi elaborado por etapas, esperando-se a estabilização da variação do volume em cada uma delas, até atingir uma pressão na célula de 490 kPa que corresponde a um σ'_3 de 100 kPa o que nos dá um OCR equivalente a 3,6. Esta etapa durou 33 (trinta e três) dias.

Após ruptura, o corpo de prova também não apresentou plano de ruptura bem definido, apresentando, entretanto, pequena flambagem com flexa máxima no terço superior.

APÊNDICE C

Resultados do Ensaio Edométrico CPE 01

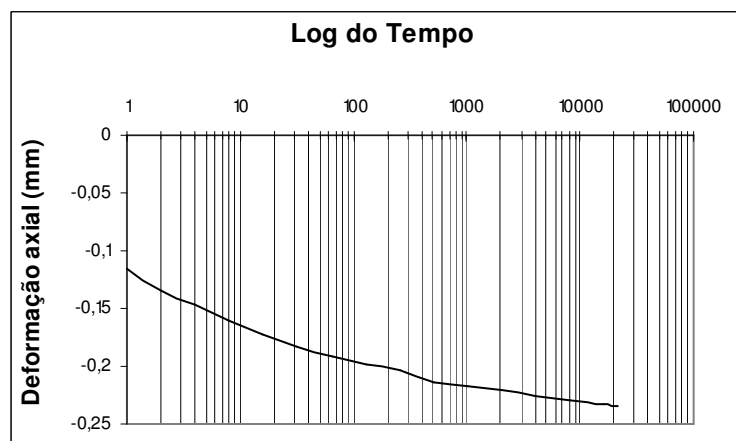
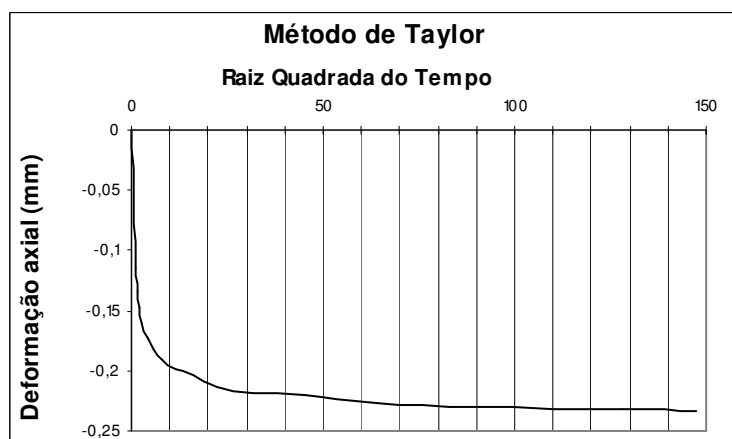
Ensaio: Adensamento / 0,0625 kg/cm²

Arquivo: r:\ASAS0060.096

Usuario: Medici (Edométrico CPE-01)

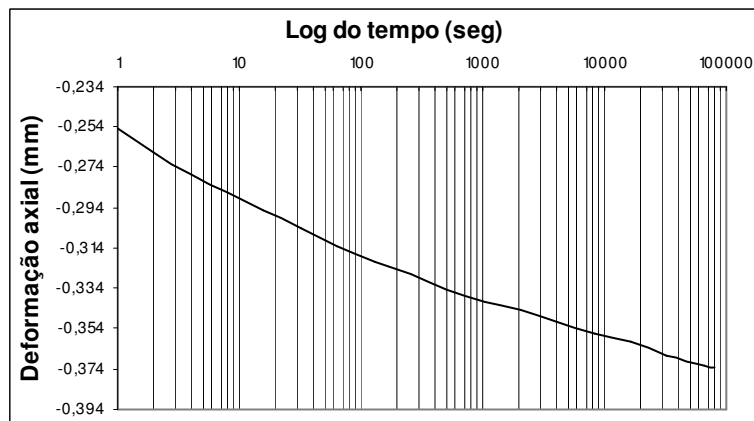
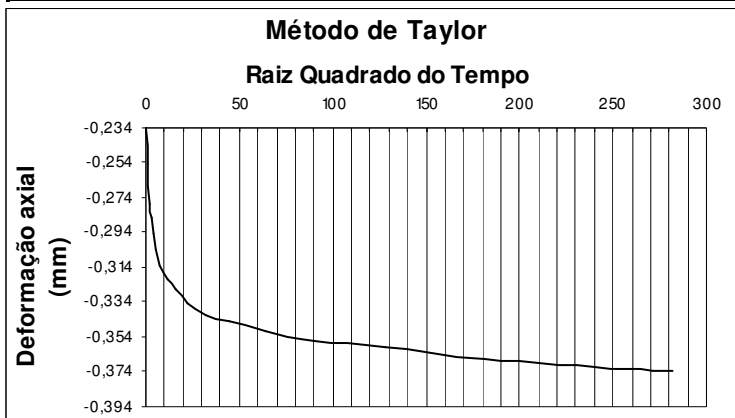
H.Inic.: 10:17:12

Leitura	Tempo (seg)	Raiz do Tempo	Deformação Axial (mm)	Carga Axial (ADC)
0	0	0,000	0	0
1	1	1,000	-0,115	0
2	2	1,414	-0,134	0
3	4	2,000	-0,147	0
4	8	2,828	-0,16	0
5	16	4,000	-0,172	0
6	32	5,657	-0,182	0
7	64	8,000	-0,191	0
8	128	11,314	-0,198	0
9	256	16,000	-0,204	0
10	512	22,627	-0,213	0
11	1024	32,000	-0,218	0
12	2048	45,255	-0,221	0
13	4096	64,000	-0,226	0
14	8192	90,510	-0,23	0
15	16384	128,000	-0,232	0
16	21663	147,184	-0,234	0



Ensaio: Adensamento / 0,125 kg/cm²
 Arquivo: r:\ASAS0120.096
 Usuario: Medici (Edométrico CPE-01)
 H.Inic.: 16:20:04

Leitura	Tempo (seg)	Raiz do Tempo	Deformação Axial (mm)	Carga Axial (ADC)
0	0	0,000	-0,234	0
1	1	1,000	-0,255	0
2	2	1,414	-0,267	0
3	4	2,000	-0,277	0
4	8	2,828	-0,286	0
5	16	4,000	-0,295	0
6	32	5,657	-0,304	0
7	64	8,000	-0,313	0
8	128	11,314	-0,321	0
9	256	16,000	-0,327	0
10	512	22,627	-0,335	0
11	1024	32,000	-0,341	0
12	2048	45,255	-0,345	0
13	4096	64,000	-0,351	0
14	8192	90,510	-0,356	0
15	16384	128,000	-0,36	0
16	32768	181,019	-0,367	0
17	65536	256,000	-0,372	0
18	79280	281,567	-0,373	0



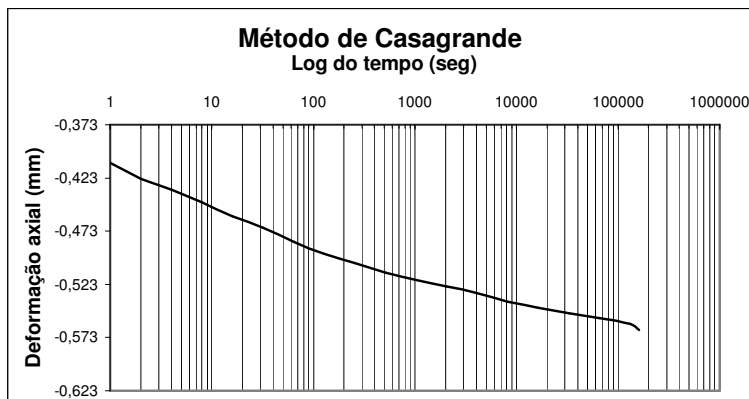
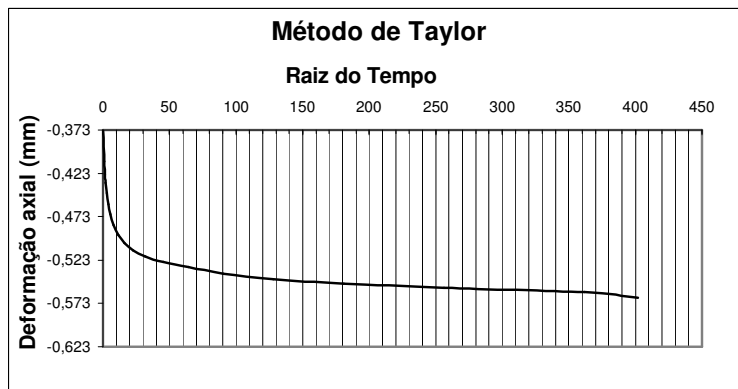
Ensaio: Adensamento / 0,250 kg/cm²

Arquivo: r:\ASAS0250.096

Usuario: Medici (Edométrico CPE-01)

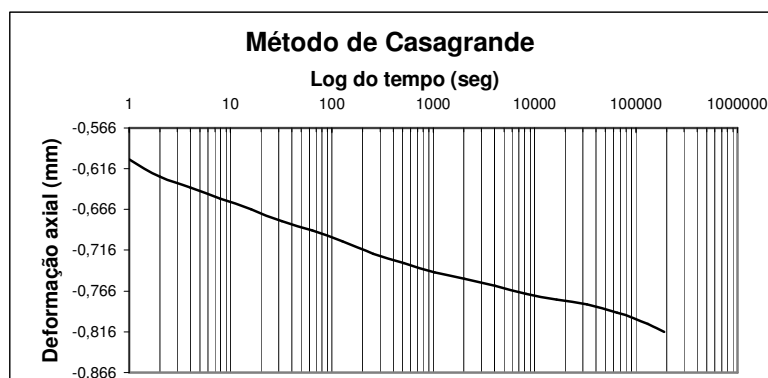
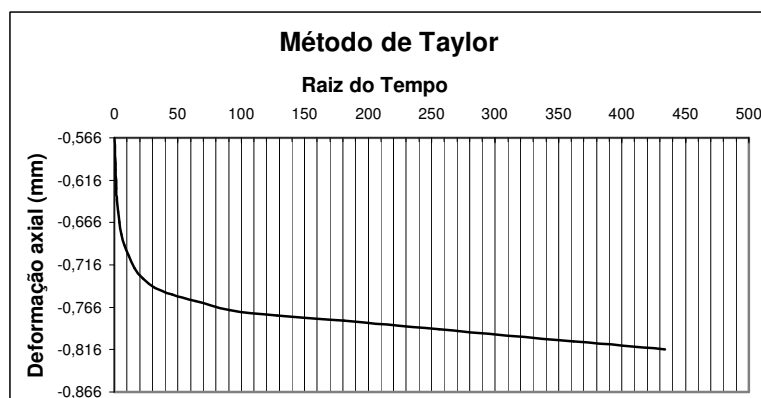
H.Inic.: 14:23:46

Leitura	Tempo (seg)	Raiz do Tempo	Deformação Axial (mm)	Carga Axial (ADC)
0	0	0,000	-0,373	0
1	1	1,000	-0,409	0
2	2	1,414	-0,424	0
3	4	2,000	-0,434	0
4	8	2,828	-0,446	0
5	16	4,000	-0,459	0
6	32	5,657	-0,47	0
7	64	8,000	-0,483	0
8	128	11,314	-0,494	0
9	256	16,000	-0,503	0
10	512	22,627	-0,512	0
11	1024	32,000	-0,519	0
12	2048	45,255	-0,525	0
13	4096	64,000	-0,531	0
14	8192	90,510	-0,539	0
15	16384	128,000	-0,545	0
16	32768	181,019	-0,55	0
17	65536	256,000	-0,555	0
18	131072	362,039	-0,56	0
19	161646	402,052	-0,566	0



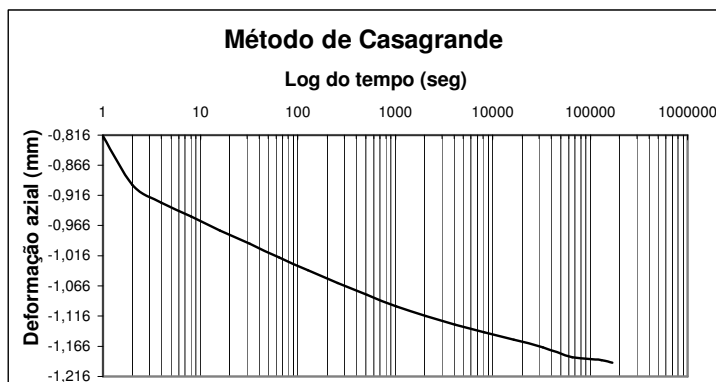
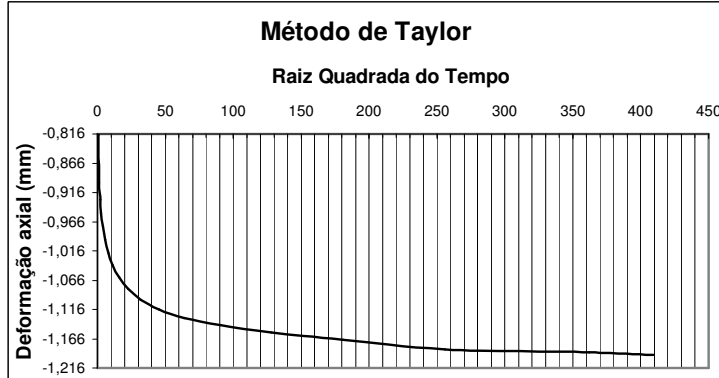
Ensaio: Adensamento / 0,50 kg/cm²
 Arquivo: r:\ASAS0500.096
 Usuario: Medici (Edométrico CPE-01)
 H.Inic.: 11:19:07

Leitura	Tempo (seg)	Raiz do Tempo	Deformação Axial (mm)	Carga Axial (ADC)
0	0	0,000	-0,566	0
1	1	1,000	-0,604	0
2	2	1,414	-0,626	0
3	4	2,000	-0,639	0
4	8	2,828	-0,653	0
5	16	4,000	-0,666	0
6	32	5,657	-0,68	0
7	64	8,000	-0,692	0
8	128	11,314	-0,705	0
9	256	16,000	-0,72	0
10	512	22,627	-0,732	0
11	1024	32,000	-0,743	0
12	2048	45,255	-0,751	0
13	4096	64,000	-0,759	0
14	8192	90,510	-0,769	0
15	16384	128,000	-0,776	0
16	32768	181,019	-0,782	0
17	65536	256,000	-0,792	0
18	131072	362,039	-0,806	0
19	188462	434,122	-0,816	0



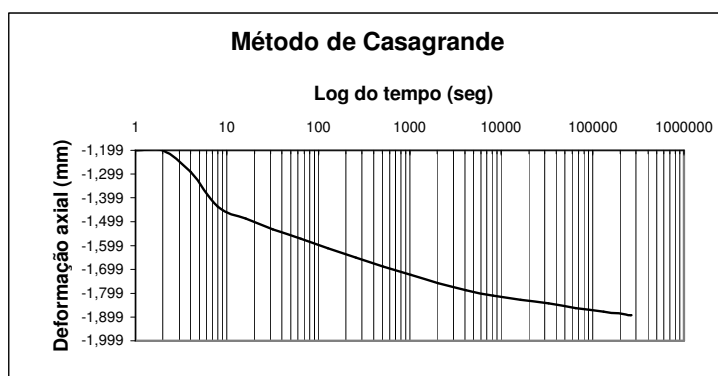
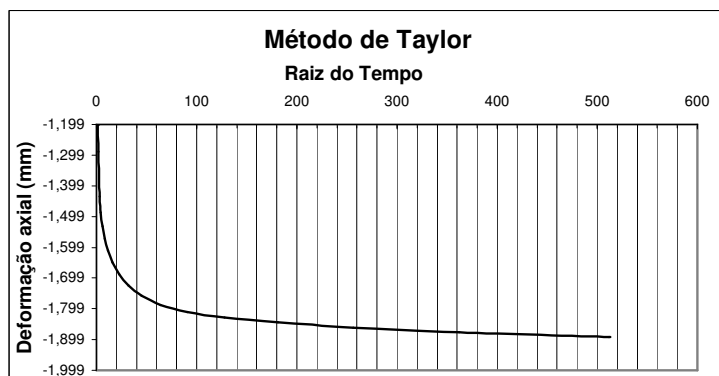
Ensaio: Adensamento / 1,0 kg/cm²
 Arquivo: r:\ASAS1000.096
 Usuario: Medici (Edométrico CPE-01)
 H.Inic.: 15:41:02

Leitura	Tempo (seg)	Raiz do Tempo	Deformação Axial (mm)	Carga Axial (ADC)
0	0	0,000	-0,816	0
1	1	1,000	-0,818	0
2	2	1,414	-0,899	0
3	4	2,000	-0,928	0
4	8	2,828	-0,951	0
5	16	4,000	-0,974	0
6	32	5,657	-0,996	0
7	64	8,000	-1,019	0
8	128	11,314	-1,04	0
9	256	16,000	-1,061	0
10	512	22,627	-1,081	0
11	1024	32,000	-1,1	0
12	2048	45,255	-1,116	0
13	4096	64,000	-1,13	0
14	8192	90,510	-1,143	0
15	16384	128,000	-1,155	0
16	32768	181,019	-1,168	0
17	65536	256,000	-1,184	0
18	131072	362,039	-1,189	0
19	167291	409,012	-1,193	0



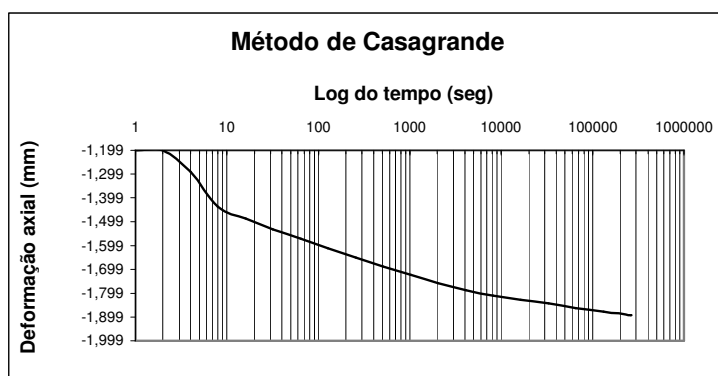
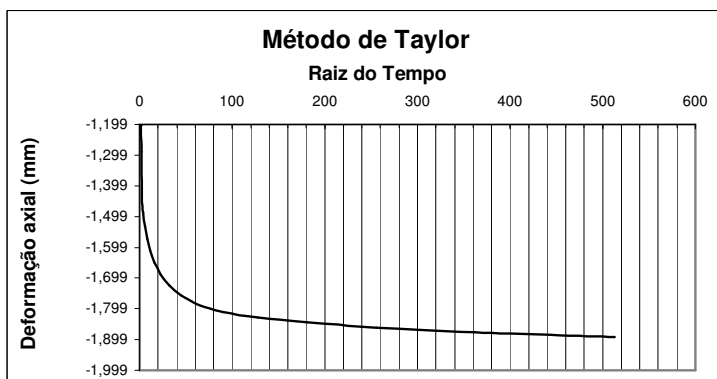
Ensaio: Adensamento / 2,0 kg/cm²
 Arquivo: r:\ASAS2000.096
 Usuario: Medici (Edométrico CPE-01)
 H.Inic.: 14:11:52

Leitura	Tempo (seg)	Raiz do Tempo	Deformação Axial (mm)	Carga Axial (ADC)
0	0	0,000	-1,199	0
1	1	1,000	-1,2	0
2	2	1,414	-1,2	0
3	4	2,000	-1,288	0
4	8	2,828	-1,435	0
5	16	4,000	-1,486	0
6	32	5,657	-1,53	0
7	64	8,000	-1,571	0
8	128	11,314	-1,609	0
9	256	16,000	-1,649	0
10	512	22,627	-1,687	0
11	1024	32,000	-1,723	0
12	2048	45,255	-1,757	0
13	4096	64,000	-1,786	0
14	8192	90,510	-1,81	0
15	16384	128,000	-1,828	0
16	32768	181,019	-1,843	0
17	65536	256,000	-1,861	0
18	131072	362,039	-1,876	0
19	262144	512,000	-1,892	0
20	263190	513,020	-1,892	0



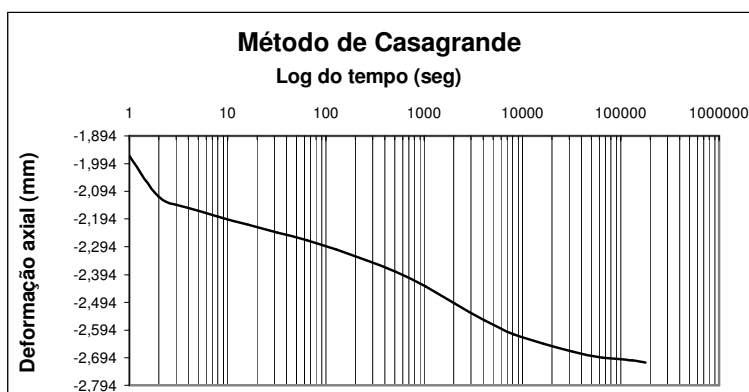
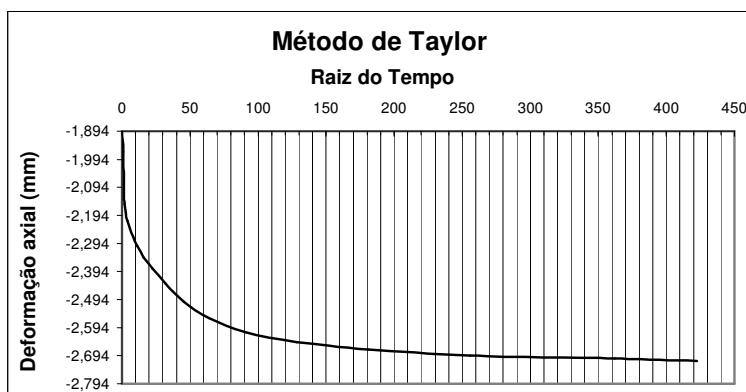
Ensaio: Adensamento / 2,0 kg/cm²
 Arquivo: r:\ASAS2000.096
 Usuario: Medici (Edométrico CPE-01)
 H.Inic.: 14:11:52

Leitura	Tempo (seg)	Raiz do Tempo	Deformação Axial (mm)	Carga Axial (ADC)
0	0	0,000	-1,199	0
1	1	1,000	-1,2	0
2	2	1,414	-1,2	0
3	4	2,000	-1,288	0
4	8	2,828	-1,435	0
5	16	4,000	-1,486	0
6	32	5,657	-1,53	0
7	64	8,000	-1,571	0
8	128	11,314	-1,609	0
9	256	16,000	-1,649	0
10	512	22,627	-1,687	0
11	1024	32,000	-1,723	0
12	2048	45,255	-1,757	0
13	4096	64,000	-1,786	0
14	8192	90,510	-1,81	0
15	16384	128,000	-1,828	0
16	32768	181,019	-1,843	0
17	65536	256,000	-1,861	0
18	131072	362,039	-1,876	0
19	262144	512,000	-1,892	0
20	263190	513,020	-1,892	0



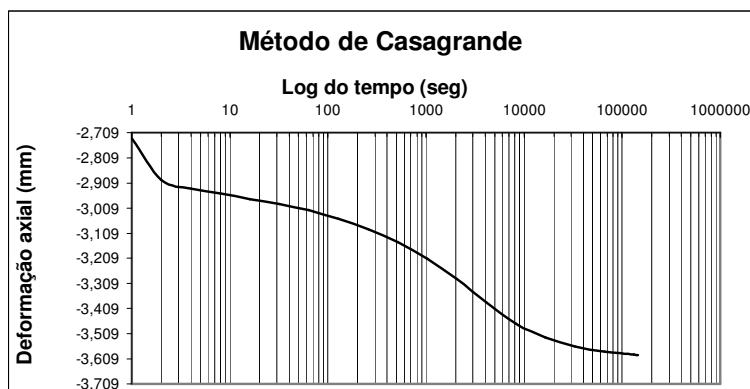
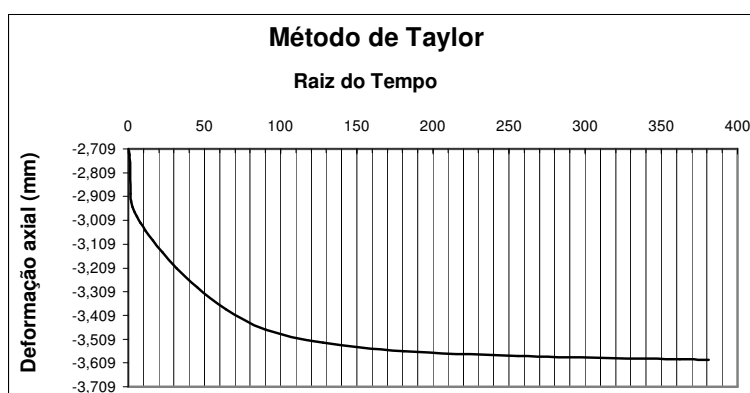
Ensaio: Adensamento / 4,0 kg/cm²
 Arquivo: r:\ASAS4000.096
 Usuario: Medici (Edométrico CPE-01)
 H.Inic.: 15:20:21

Leitura	Tempo (seg)	Raiz do Tempo	Deformação Axial (mm)	Carga Axial (ADC)
0	0	0,000	-1,894	0
1	1	1,000	-1,966	0
2	2	1,414	-2,113	0
3	4	2,000	-2,153	0
4	8	2,828	-2,185	0
5	16	4,000	-2,213	0
6	32	5,657	-2,242	0
7	64	8,000	-2,271	0
8	128	11,314	-2,304	0
9	256	16,000	-2,342	0
10	512	22,627	-2,385	0
11	1024	32,000	-2,438	0
12	2048	45,255	-2,5	0
13	4096	64,000	-2,559	0
14	8192	90,510	-2,611	0
15	16384	128,000	-2,644	0
16	32768	181,019	-2,672	0
17	65536	256,000	-2,694	0
18	131072	362,039	-2,704	0
19	178615	422,629	-2,712	0



Ensaio: Adensamento / 8,0 kg/cm²
 Arquivo: r:\ASAS8000.096
 Usuario: Medici (Edométrico CPE-01)
 H.Inic.: 16:58:12

Leitura	Tempo (seg)	Raiz do Tempo	Deformação Axial (mm)	Carga Axial (ADC)
0	0	0,000	-2,709	0
1	1	1,000	-2,732	0
2	2	1,414	-2,897	0
3	4	2,000	-2,931	0
4	8	2,828	-2,952	0
5	16	4,000	-2,973	0
6	32	5,657	-2,993	0
7	64	8,000	-3,018	0
8	128	11,314	-3,052	0
9	256	16,000	-3,093	0
10	512	22,627	-3,144	0
11	1024	32,000	-3,209	0
12	2048	45,255	-3,291	0
13	4096	64,000	-3,383	0
14	8192	90,510	-3,469	0
15	16384	128,000	-3,522	0
16	32768	181,019	-3,559	0
17	65536	256,000	-3,58	0
18	131072	362,039	-3,592	0
19	145112	380,936	-3,595	0



Ensaio: Descarregamento / 4,0 kg/cm2
 Arquivo: r:\ASAS4001.096
 Usuario: Medici (Edométrico CPE-01)
 H.Inic.: 9:18:37

Leitura	Hora (seg)	Deformação Axial (mm)	Carga Axial
0	0	-3,595	0
1	1	-3,567	0
2	2	-3,541	0
3	4	-3,54	0
4	8	-3,534	0
5	16	-3,53	0
6	32	-3,526	0
7	64	-3,52	0
8	128	-3,515	0
9	256	-3,507	0
10	512	-3,497	0
11	1024	-3,483	0
12	2048	-3,466	0
13	4096	-3,453	0
14	8192	-3,442	0
15	16384	-3,436	0
16	32768	-3,431	0
17	65536	-3,423	0
18	131072	-3,418	0
19	262144	-3,419	0
20	279395	-3,42	0

Ensaio: Descarregamento / 2,0 kg/cm2
 Arquivo: r:\ASAS2001.096
 Usuario: Medici (Edométrico CPE-01)
 H.Inic.: 14:57:45

Leitura	Hora (seg)	Deformação Axial (mm)	Carga Axial
0	0	-3,595	0
1	1	-3,372	0
2	2	-3,371	0
3	4	-3,369	0
4	8	-3,367	0
5	16	-3,364	0
6	32	-3,359	0
7	64	-3,353	0
8	128	-3,347	0
9	256	-3,35	0
10	512	-3,34	0
11	1024	-3,324	0
12	2048	-3,304	0
13	4096	-3,28	0
14	8192	-3,257	0
15	16384	-3,238	0
16	32768	-3,217	0
17	65536	-3,209	0
18	131072	-3,2	0
19	237855	-3,198	0

Ensaio: Descarregamento / 1,0 kg/cm2
 Arquivo: r:\ASAS1001.096
 Usuario: Medici (Edométrico CPE-01)
 H.Inic.: 9:04:36

Leitura	Hora (seg)	Deformação Axial (mm)	Carga Axial
0	0	-3,198	0
1	1	-3,178	0
2	2	-3,175	0
3	4	-3,17	0
4	8	-3,168	0
5	16	-3,165	0
6	32	-3,161	0
7	64	-3,157	0
8	128	-3,152	0
9	256	-3,145	0
10	512	-3,136	0
11	1024	-3,121	0
12	2048	-3,105	0
13	4096	-3,083	0
14	8192	-3,052	0
15	16384	-3,021	0
16	32768	-2,991	0
17	65536	-2,97	0
18	131072	-2,954	0
19	262144	-2,943	0
20	347199	-2,942	0

Ensaio: Descarregamento / 0,5 kg/cm2
 Arquivo: r:\ASAS0501.096
 Usuario: Medici (Edométrico CPE-01)
 H.Inic.: 9:39:07

Leitura	Hora (seg)	Deformação Axial (mm)	Carga Axial
0	0	-2,943	0
1	1	-2,929	0
2	2	-2,928	0
3	4	-2,927	0
4	8	-2,925	0
5	16	-2,924	0
6	32	-2,922	0
7	64	-2,92	0
8	128	-2,916	0
9	256	-2,912	0
10	512	-2,908	0
11	1024	-2,901	0
12	2048	-2,889	0
13	4096	-2,875	0
14	8192	-2,855	0
15	16384	-2,831	0
16	32768	-2,802	0
17	65536	-2,775	0
18	131072	-2,754	0
19	262144	-2,737	0
20	524288	-2,722	0
21	602531	-2,719	0

"Ensaio: Descarregamento/0,25kg/cm2"

"Arquivo: r:\ASAS0251.096"

Usuario: Medici (Edométrico CPE-01)

"H.Inic.: 9:04:20"

Leitura	Hora (seg)	Deformação Axial (mm)	Carga Axial
1	1	-2,713	0
2	2	-2,712	0
3	4	-2,712	0
4	8	-2,711	0
5	16	-2,71	0
6	32	-2,709	0
7	64	-2,708	0
8	128	-2,706	0
9	256	-2,705	0
10	512	-2,703	0
11	1024	-2,699	0
12	2048	-2,694	0
13	4096	-2,686	0
14	8192	-2,676	0
15	16384	-2,662	0
16	32768	-2,642	0
17	65536	-2,616	0
18	131072	-2,595	0
19	262144	-2,573	0
20	359547	-2,562	0

"Ensaio: Descarregament/0,125kg/cm2"

"Arquivo: r:\ASAS0121.096"

Usuario: Medici (Edométrico CPE-01)

"H.Inic.: 13:06:56"

Leitura	Hora (seg)	Deformação Axial (mm)	Carga Axial
1	1	-2,559	0
2	2	-2,556	0
3	4	-2,556	0
4	8	-2,555	0
5	16	-2,555	0
6	32	-2,554	0
7	64	-2,553	0
8	128	-2,552	0
9	256	-2,551	0
10	512	-2,548	0
11	1024	-2,546	0
12	2048	-2,541	0
13	4096	-2,535	0
14	8192	-2,526	0
15	16384	-2,513	0
16	32768	-2,492	0
17	65536	-2,47	0
18	131072	-2,445	0
19	262144	-2,426	0
20	524288	-2,401	0
21	850215	-2,379	0

"Ensaio: Descarregam/0,0625kg/cm2"

"Arquivo: r:\ASAS0061.096"

Usuario: Medici (Edométrico CPE-01)

"H.Inic.: 9:01:27"

Leitura	Hora (seg)	Deformação Axial (mm)	Carga Axial
1	1	-2,376	0
2	2	-2,376	0
3	4	-2,376	0
4	8	-2,376	0
5	16	-2,376	0
6	32	-2,376	0
7	64	-2,375	0
8	128	-2,375	0
9	256	-2,374	0
10	512	-2,373	0
11	1024	-2,372	0
12	2048	-2,37	0
13	4096	-2,369	0
14	8192	-2,366	0
15	16384	-2,363	0
16	32768	-2,36	0
17	65536	-2,346	0
18	1E+05	-2,333	0
19	3E+05	-2,315	0

"Ensaio: Recarreg. / 0,125kg/cm2"

"Arquivo: r:\ASAS0122.096"

Usuario: Medici (Edométrico CPE-01)

"H.Inic.: 9:39:05"

Leitura	Hora (seg)	Deformação Axial (mm)		Carga Axial
1	1	-0,005	-2,320	0
2	2	-0,005	-2,320	0
3	4	-0,005	-2,320	0
4	8	-0,006	-2,321	0
5	16	-0,006	-2,321	0
6	32	-0,006	-2,321	0
7	64	-0,006	-2,321	0
8	128	-0,007	-2,322	0
9	256	-0,007	-2,322	0
10	512	-0,008	-2,323	0
11	1024	-0,009	-2,324	0
12	2048	-0,01	-2,325	0
13	4096	-0,01	-2,325	0
14	8192	-0,01	-2,325	0
15	16384	-0,011	-2,326	0
16	32768	-0,011	-2,326	0
17	65536	-0,009	-2,324	0
18	131072	-0,007	-2,322	0
19	262144	-0,007	-2,322	0
20	282573	-0,007	-2,322	0

Ensaio: Recarreg. / 0,500kg/cm2

Arquivo: r:\ASAS0502.096

Usuario: Medici (Edométrico CPE-01)

H.Inic.: 15:37:19

Leitura	Hora (seg)	Deformação Axial (mm)		Carga Axial
0	0	-0,027	-2,342	0
1	1	-0,032	-2,347	0
2	2	-0,037	-2,352	0
3	4	-0,038	-2,353	0
4	8	-0,039	-2,354	0
5	16	-0,04	-2,355	0
6	32	-0,042	-2,357	0
7	64	-0,045	-2,36	0
8	128	-0,048	-2,363	0
9	256	-0,051	-2,366	0
10	512	-0,056	-2,371	0
11	1024	-0,063	-2,378	0
12	2048	-0,07	-2,385	0
13	4096	-0,078	-2,393	0
14	8192	-0,086	-2,401	0
15	16384	-0,09	-2,405	0
16	32768	-0,094	-2,409	0
17	65536	-0,098	-2,413	0

"Ensaio: Recarreg. / 0,250kg/cm2"

"Arquivo: r:\ASAS0252.096"

Usuario: Medici (Edométrico CPE-01)

"H.Inic.: 16:18:07"

Leitura	Hora (seg)	Deformação Axial (mm)		Carga Axial
1	1	-0,015	-2,330	0
2	2	-0,015	-2,330	0
3	4	-0,015	-2,330	0
4	8	-0,015	-2,330	0
5	16	-0,015	-2,330	0
6	32	-0,015	-2,330	0
7	64	-0,016	-2,331	0
8	128	-0,017	-2,332	0
9	256	-0,016	-2,331	0
10	512	-0,018	-2,333	0
11	1024	-0,019	-2,334	0
12	2048	-0,021	-2,336	0
13	4096	-0,022	-2,337	0
14	8192	-0,023	-2,338	0
15	16384	-0,022	-2,337	0
16	32768	-0,023	-2,338	0
17	65536	-0,027	-2,342	0
18	131072	-0,026	-2,341	0
19	170287	-0,027	-2,342	0

Ensaio: Recarreg. / 1,000kg/cm2

Arquivo: r:\ASAS1002.096

Usuario: Medici

H.Inic.: 9:11:53

Leitura	Hora (seg)	Deformação Axial (mm)		Carga Axial
0	0	-0,104	-2,419	0
1	1	-0,11	-2,425	0
2	2	-0,119	-2,434	0
3	4	-0,121	-2,436	0
4	8	-0,123	-2,438	0
5	16	-0,126	-2,441	0
6	32	-0,129	-2,444	0
7	64	-0,134	-2,449	0
8	128	-0,141	-2,456	0
9	256	-0,149	-2,464	0
10	512	-0,162	-2,477	0
11	1024	-0,174	-2,489	0
12	2048	-0,195	-2,510	0
13	4096	-0,217	-2,532	0
14	8192	-0,237	-2,552	0
15	16384	-0,251	-2,566	0
16	32768	-0,261	-2,576	0
17	65536	-0,267	-2,582	0
18	131072	-0,273	-2,588	0
19	262144	-0,285	-2,600	0
20	278467	-0,285	-2,600	0

Ensaio: Recarreg. / 2,000kg/cm2
 Arquivo: r:\ASAS2002.096
 Usuario: Medici (Edométrico CPE-01)
 H.Inic.: 14:35:42

Leitura	Hora (seg)	Deformação Axial (mm)		Carga Axial
0	0	-0,286	-2,601	0
1	1	-0,309	-2,624	0
2	2	-0,313	-2,628	0
3	4	-0,315	-2,630	0
4	8	-0,317	-2,632	0
5	16	-0,321	-2,636	0
6	32	-0,326	-2,641	0
7	64	-0,333	-2,648	0
8	128	-0,342	-2,657	0
9	256	-0,355	-2,670	0
10	512	-0,375	-2,690	0
11	1024	-0,398	-2,713	0
12	2048	-0,429	-2,744	0
13	4096	-0,468	-2,783	0
14	8192	-0,502	-2,817	0
15	16384	-0,522	-2,837	0
16	32768	-0,531	-2,846	0
17	65536	-0,544	-2,859	0
18	66526	-0,545	-2,860	0

Ensaio: Recarreg. / 8,000kg/cm2
 Arquivo: r:\ASAS8002.096
 Usuario: Medici (Edométrico CPE-01)
 H.Inic.: 18:17:35

Leitura	Hora (seg)	Deformação Axial (mm)		Carga Axial
0	0	-0,906	-3,221	0
1	1	-0,971	-3,286	0
2	2	-0,974	-3,289	0
3	4	-0,977	-3,292	0
4	8	-0,982	-3,297	0
5	16	-0,988	-3,303	0
6	32	-0,997	-3,312	0
7	64	-1,011	-3,326	0
8	128	-1,031	-3,346	0
9	256	-1,059	-3,374	0
10	512	-1,098	-3,413	0
11	1024	-1,153	-3,468	0
12	2048	-1,218	-3,533	0
13	4096	-1,280	-3,595	0
14	8192	-1,330	-3,645	0
15	16384	-1,362	-3,677	0
16	32768	-1,382	-3,697	0
17	65536	-1,406	-3,721	0
18	65747	-1,406	-3,721	0

Ensaio: Recarreg. / 4,000kg/cm2
 Arquivo: r:\ASAS4002.096
 Usuario: Medici (Edométrico CPE-01)
 H.Inic.: 9:06:22

Leitura	Hora (seg)	Deformação Axial (mm)		Carga Axial
0	0	-0,545	-2,860	0
1	1	-0,583	-2,898	0
2	2	-0,586	-2,901	0
3	4	-0,589	-2,904	0
4	8	-0,594	-2,909	0
5	16	-0,600	-2,915	0
6	32	-0,607	-2,922	0
7	64	-0,617	-2,932	0
8	128	-0,632	-2,947	0
9	256	-0,653	-2,968	0
10	512	-0,682	-2,997	0
11	1024	-0,721	-3,036	0
12	2048	-0,771	-3,086	0
13	4096	-0,827	-3,142	0
14	8192	-0,866	-3,181	0
15	16384	-0,885	-3,200	0
16	32768	-0,901	-3,216	0
17	32928	-0,901	-3,216	0

Ensaio: Recarreg. / 10,000kg/cm2
 Arquivo: r:\ASAS1012.096
 Usuario: Medici (Edométrico CPE-01)
 H.Inic.: 12:33:09

Leitura	Hora (seg)	Deformação Axial (mm)		Carga Axial
0	0	-1,406	-3,721	0
1	1	-1,429	-3,744	0
2	2	-1,431	-3,746	0
3	4	-1,432	-3,747	0
4	8	-1,434	-3,749	0
5	16	-1,434	-3,749	0
6	32	-1,437	-3,752	0
7	64	-1,441	-3,756	0
8	128	-1,444	-3,759	0
9	256	-1,452	-3,767	0
10	512	-1,463	-3,778	0
11	1024	-1,479	-3,794	0
12	2048	-1,499	-3,814	0
13	4096	-1,524	-3,839	0
14	8192	-1,551	-3,866	0
15	16384	-1,571	-3,886	0
16	32768	-1,591	-3,906	0
17	65536	-1,609	-3,924	0
18	131072	-1,622	-3,937	0

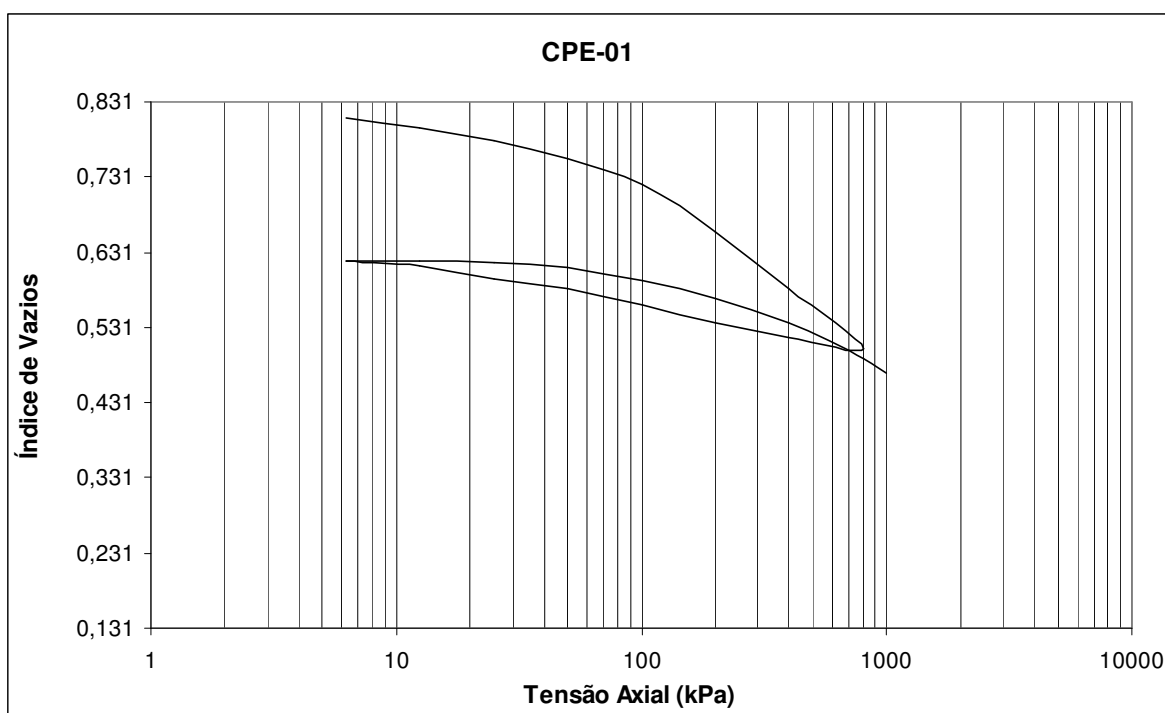
Dados iniciais:

Umidade inicial do material			
Amostra úmida + Tara (g)	81,500	83,02	82,88
Amostra seca + Tara (g)	70,340	71,68	70,82
Tara (g)	30,340	30,20	27,26
Teor de umidade - w%	27,900	27,34	27,69
Teor de umidade média - w%	27,641		

Corpo de Prova	
Altura do Corpo de Prova (cm):	2,000
Diâmetro do Corpo de Prova (cm)	7,140
Solo úmido + anel (g)	186,640
Massa do anel (g)	42,600
Volume (cm ³)	80,079
γ (g/cm ³)	1,799
γ_d (g/cm ³)	1,409
γ_s (g/cm ³)	2,580
e	0,831

Ps = Ms (g):	112,847
Hs (cm)	1,092

Tensão Axial (kPa)	Deformação Axial (mm)	H (mm)	e
0,000	0,000	20,000	0,831
6,250	-0,234	19,766	0,809
12,500	-0,373	19,627	0,797
25,000	-0,566	19,434	0,779
50,000	-0,816	19,184	0,756
100,000	-1,193	18,807	0,722
200,000	-1,892	18,108	0,658
400,000	-2,712	17,288	0,583
800,000	-3,595	16,405	0,502
400,000	-3,420	16,580	0,518
200,000	-3,198	16,802	0,538
100,000	-2,942	17,058	0,562
50,000	-2,719	17,281	0,582
25,000	-2,562	17,438	0,596
12,500	-2,379	17,621	0,613
6,250	-2,315	17,685	0,619
12,500	-2,322	17,678	0,618
25,000	-2,342	17,658	0,616
50,000	-2,413	17,587	0,610
100,000	-2,600	17,400	0,593
200,000	-2,860	17,140	0,569
400,000	-3,216	16,784	0,536
800,000	-3,721	16,279	0,490
1000,000	-3,937	16,063	0,470



APÊNDICE D

Resultados do Ensaio Edométrico CPE 02

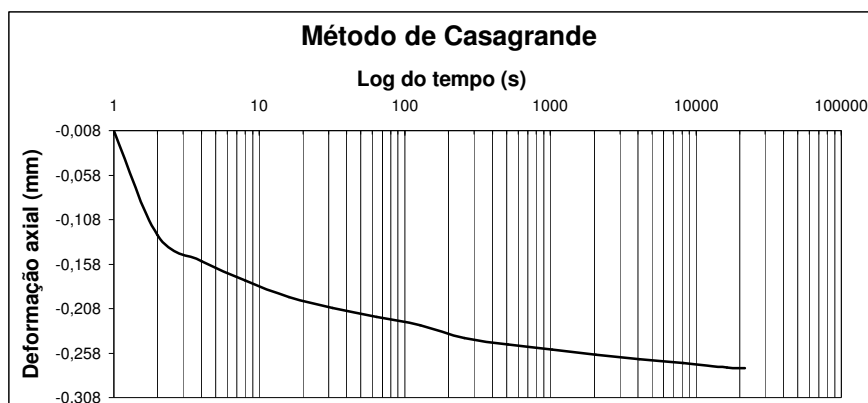
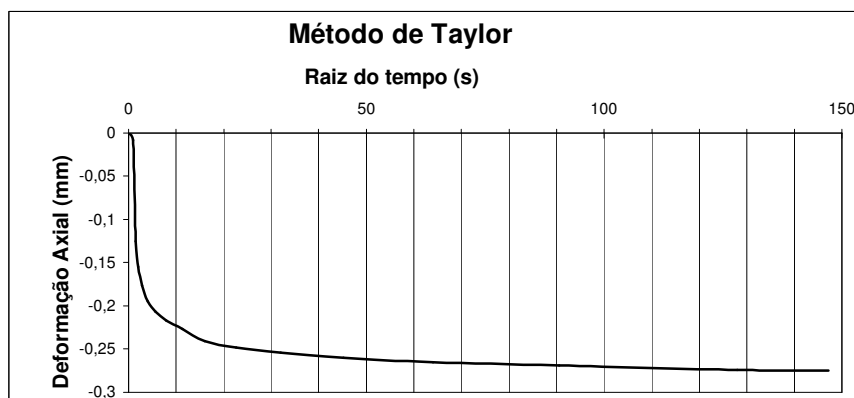
Ensaio: Adensamento / 0,0625 kgf/cm²

Arquivo: r:\ASAS0060.961

Usuario: Medici (Edometrico CPE-02)

H.Inic.: 10:20:27

Leitura	Tempo (seg)	Raiz do Tempo	Deformação Axial (mm)	Carga Axial (ADC)
0	0	0,000	0	0
1	1	1,000	-0,008	0
2	2	1,414	-0,125	0
3	4	2,000	-0,155	0
4	8	2,828	-0,176	0
5	16	4,000	-0,195	0
6	32	5,657	-0,207	0
7	64	8,000	-0,217	0
8	128	11,314	-0,227	0
9	256	16,000	-0,241	0
10	512	22,627	-0,248	0
11	1024	32,000	-0,254	0
12	2048	45,255	-0,26	0
13	4096	64,000	-0,265	0
14	8192	90,510	-0,269	0
15	16384	128,000	-0,274	0
16	21658	147,167	-0,275	0



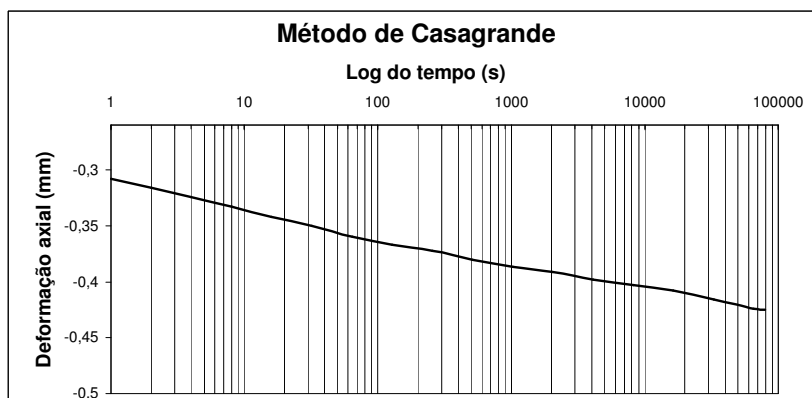
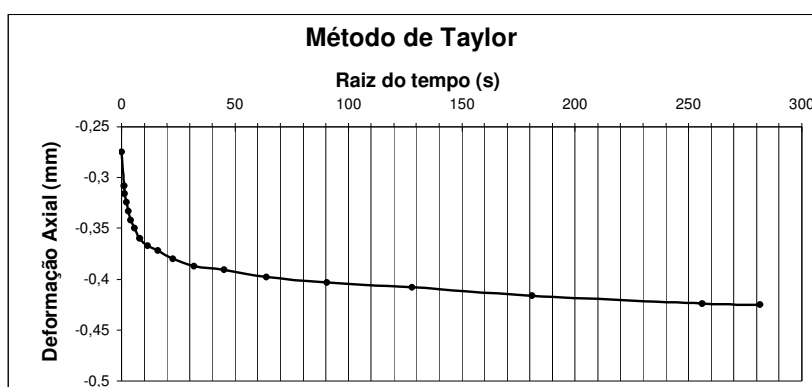
Ensaio: Adensamento / 0,125 kgf/cm²

Arquivo: r:\ASAS0120.961

Usuario: Medici (Edometrico CPE-02)

H.Inic.: 16:22:40

Leitura	Tempo (seg)	Raiz do Tempo	Deformação Axial (mm)	Carga Axial (ADC)
0	0	0,000	-0,275	0
1	1	1,000	-0,308	0
2	2	1,414	-0,316	0
3	4	2,000	-0,324	0
4	8	2,828	-0,333	0
5	16	4,000	-0,342	0
6	32	5,657	-0,35	0
7	64	8,000	-0,36	0
8	128	11,314	-0,367	0
9	256	16,000	-0,372	0
10	512	22,627	-0,38	0
11	1024	32,000	-0,387	0
12	2048	45,255	-0,391	0
13	4096	64,000	-0,398	0
14	8192	90,510	-0,403	0
15	16384	128,000	-0,408	0
16	32768	181,019	-0,416	0
17	65536	256,000	-0,424	0
18	79295	281,594	-0,425	0



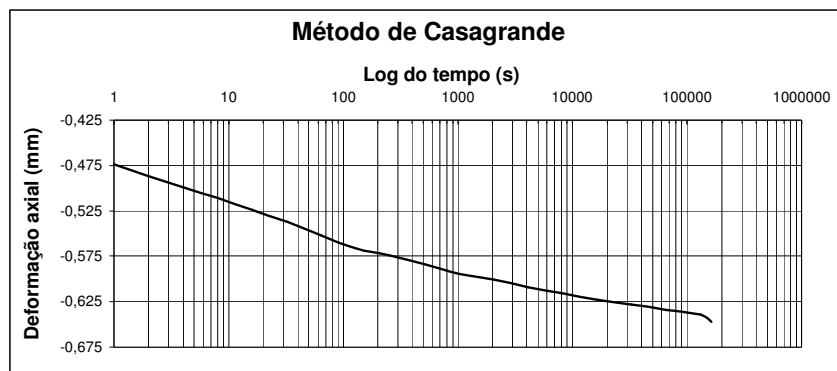
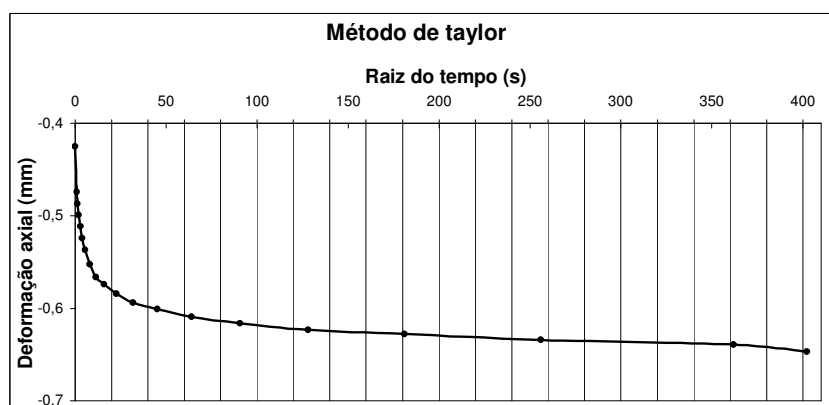
Ensaio: Adensamento / 0,250 kgf/cm²

Arquivo: r:\ASAS0250.961

Usuario: Medici (Edometrico CPE-02)

H.Inic.: 14:25:00

Leitura	Tempo (seg)	Raiz do Tempo	Deformação Axial	Carga Axial (ADC)
0	0	0,000	-0,425	0
1	1	1,000	-0,474	0
2	2	1,414	-0,487	0
3	4	2,000	-0,499	0
4	8	2,828	-0,511	0
5	16	4,000	-0,524	0
6	32	5,657	-0,537	0
7	64	8,000	-0,552	0
8	128	11,314	-0,566	0
9	256	16,000	-0,574	0
10	512	22,627	-0,584	0
11	1024	32,000	-0,594	0
12	2048	45,255	-0,601	0
13	4096	64,000	-0,609	0
14	8192	90,510	-0,616	0
15	16384	128,000	-0,623	0
16	32768	181,019	-0,628	0
17	65536	256,000	-0,634	0
18	131072	362,039	-0,639	0
19	161637	402,041	-0,647	0



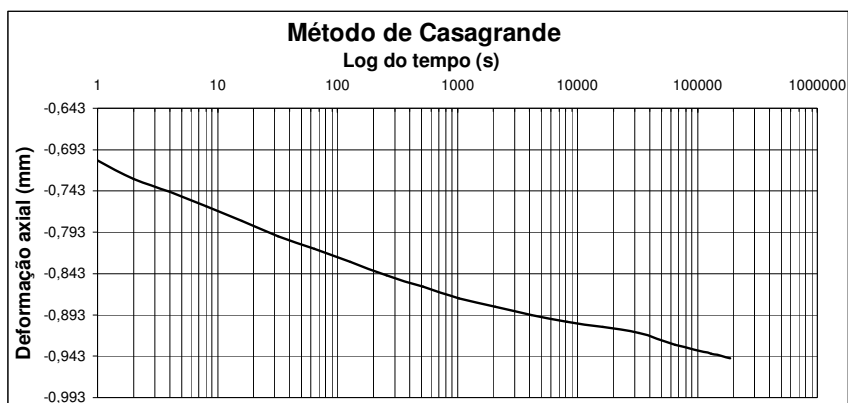
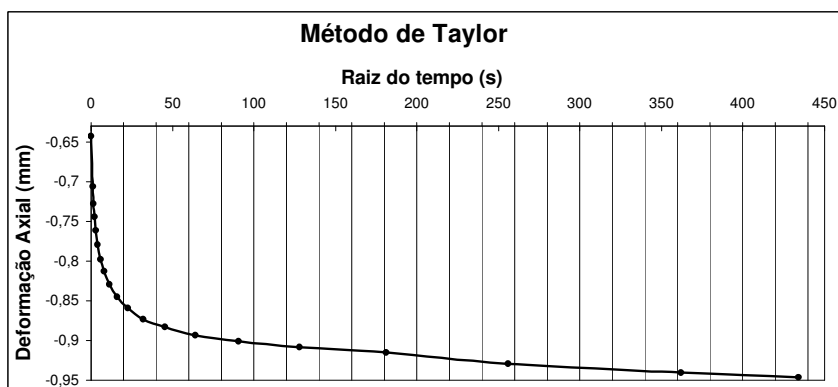
Ensaio: Adensamento / 0,50 kgf/cm²

Arquivo: r:\ASAS0500.961

Usuario: Medici (Edometrico CPE-02)

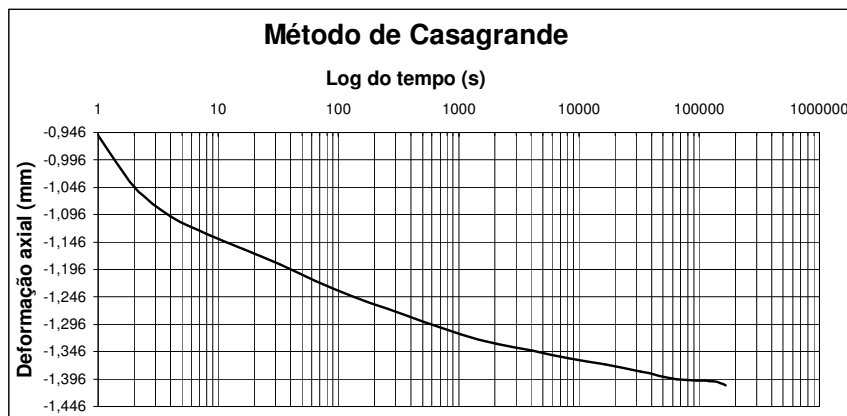
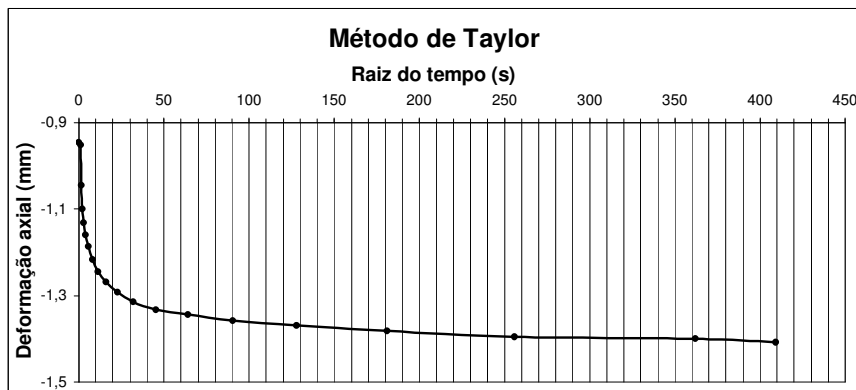
H.Inic.: 11:20:18

Leitura	Tempo(seg)	Raiz do Tempo	Deformação Axial (mm)	Carga Axial (ADC)
0	0	0,000	-0,643	0
1	1	1,000	-0,706	0
2	2	1,414	-0,728	0
3	4	2,000	-0,744	0
4	8	2,828	-0,761	0
5	16	4,000	-0,779	0
6	32	5,657	-0,798	0
7	64	8,000	-0,813	0
8	128	11,314	-0,829	0
9	256	16,000	-0,845	0
10	512	22,627	-0,859	0
11	1024	32,000	-0,873	0
12	2048	45,255	-0,883	0
13	4096	64,000	-0,893	0
14	8192	90,510	-0,901	0
15	16384	128,000	-0,908	0
16	32768	181,019	-0,915	0
17	65536	256,000	-0,929	0
18	131072	362,039	-0,94	0
19	188388	434,037	-0,946	0



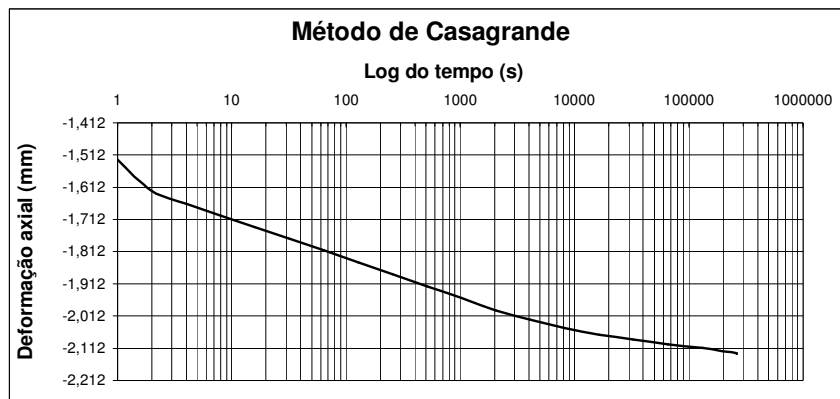
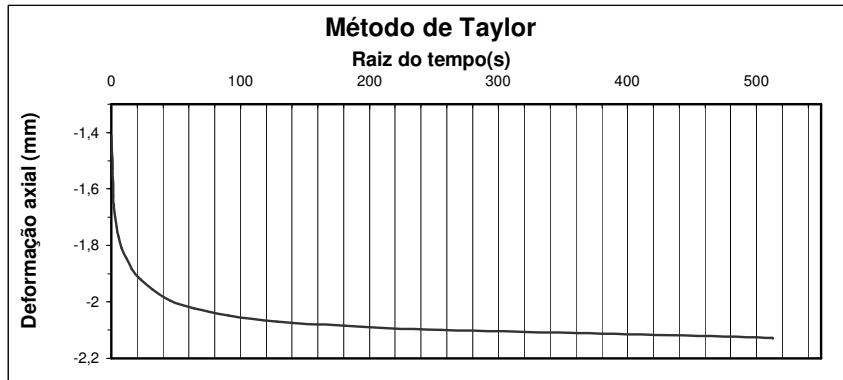
Ensaio: Adensamento / 1,0 kgf/cm²
 Arquivo: r:\ASAS1000.961
 Usuario: Medici (Edometrico CPE-02)
 H.Inic.: 15:43:40

Leitura	Tempo (seg)	Raiz do Tempo	Deformação Axial (mm)	Carga Axial (ADC)
0	0	0,000	-0,946	0
1	1	1,000	-0,951	0
2	2	1,414	-1,045	0
3	4	2,000	-1,099	0
4	8	2,828	-1,131	0
5	16	4,000	-1,159	0
6	32	5,657	-1,186	0
7	64	8,000	-1,217	0
8	128	11,314	-1,244	0
9	256	16,000	-1,268	0
10	512	22,627	-1,292	0
11	1024	32,000	-1,314	0
12	2048	45,255	-1,332	0
13	4096	64,000	-1,344	0
14	8192	90,510	-1,358	0
15	16384	128,000	-1,369	0
16	32768	181,019	-1,382	0
17	65536	256,000	-1,396	0
18	131072	362,039	-1,4	0
19	167589	409,376	-1,408	0



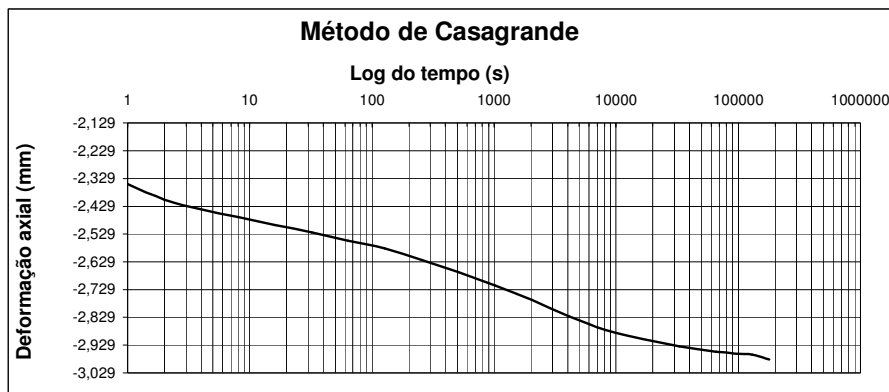
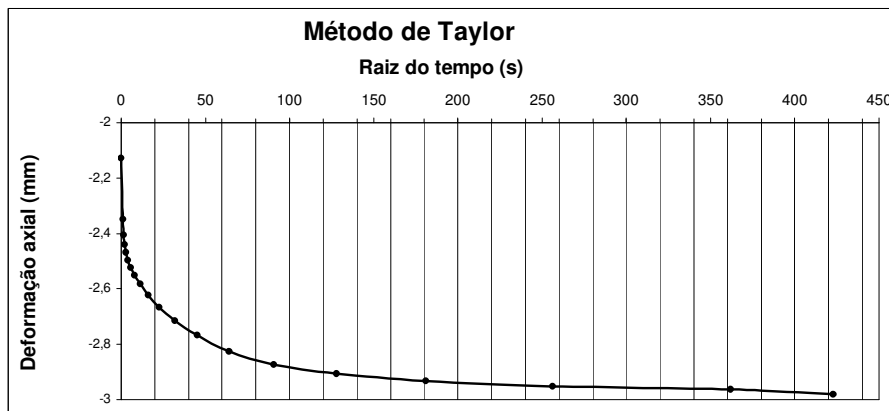
Ensaio: Adensamento / 2,0 kgf/cm²
 Arquivo: r:\ASAS2000.961
 Usuario: Medici (Edometrico CPE-02)
 H.Inic.: 14:18:37

Leitura	Tempo (seg)	Raiz do Tempo	Deformação Axial (mm)	Carga Axial (ADC)
0	0	0,000	-1,412	0
1	1	1,000	-1,526	0
2	2	1,414	-1,623	0
3	4	2,000	-1,663	0
4	8	2,828	-1,7	0
5	16	4,000	-1,736	0
6	32	5,657	-1,771	0
7	64	8,000	-1,808	0
8	128	11,314	-1,844	0
9	256	16,000	-1,883	0
10	512	22,627	-1,919	0
11	1024	32,000	-1,956	0
12	2048	45,255	-1,994	0
13	4096	64,000	-2,023	0
14	8192	90,510	-2,049	0
15	16384	128,000	-2,069	0
16	32768	181,019	-2,085	0
17	65536	256,000	-2,099	0
18	131072	362,039	-2,111	0
19	262144	512,000	-2,128	0
20	262938	512,775	-2,129	0



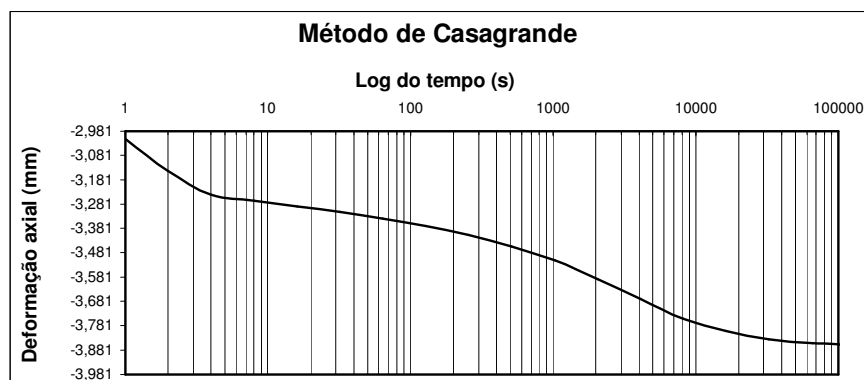
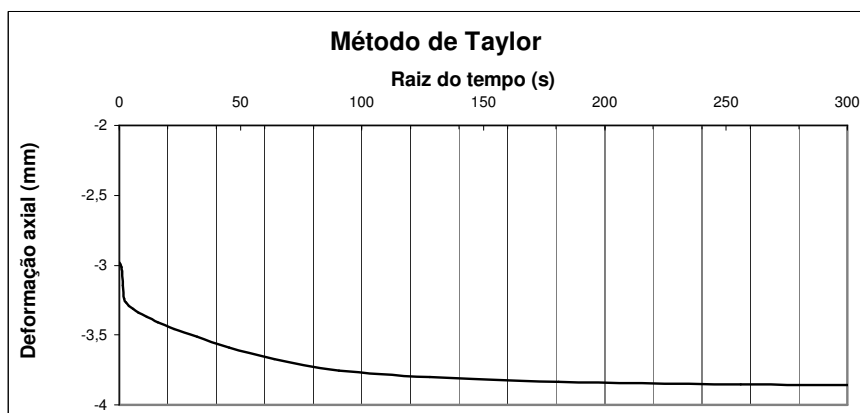
Ensaio: Adensamento / 4,0 kgf/cm²
 Arquivo: r:\ASAS4000.961
 Usuario: Medici (Edometrico CPE-02)
 H.Inic.: 15:22:34

Leitura	Tempo (seg)	Raiz do Tempo	Deformação Axial (mm)	Carga Axial (ADC)
0	0	0,000	-2,129	0
1	1	1,000	-2,348	0
2	2	1,414	-2,405	0
3	4	2,000	-2,44	0
4	8	2,828	-2,469	0
5	16	4,000	-2,497	0
6	32	5,657	-2,523	0
7	64	8,000	-2,552	0
8	128	11,314	-2,582	0
9	256	16,000	-2,623	0
10	512	22,627	-2,666	0
11	1024	32,000	-2,714	0
12	2048	45,255	-2,766	0
13	4096	64,000	-2,825	0
14	8192	90,510	-2,874	0
15	16384	128,000	-2,907	0
16	32768	181,019	-2,933	0
17	65536	256,000	-2,952	0
18	131072	362,039	-2,964	0
19	178602	422,613	-2,981	0



Ensaio: Adensamento / 8,0 kgf/cm²
 Arquivo: r:\ASAS8000.961
 Usuario: Medici (Edometrico CPE-02)
 H.Inic.: 16:59:50

Leitura	Tempo (seg)	Raiz do Tempo	Deformação Axial (mm)	Carga Axial (ADC)
0	0	0,000	-2,981	0
1	1	1,000	-3,014	0
2	2	1,414	-3,145	0
3	4	2,000	-3,241	0
4	8	2,828	-3,267	0
5	16	4,000	-3,29	0
6	32	5,657	-3,314	0
7	64	8,000	-3,34	0
8	128	11,314	-3,371	0
9	256	16,000	-3,409	0
10	512	22,627	-3,454	0
11	1024	32,000	-3,513	0
12	2048	45,255	-3,59	0
13	4096	64,000	-3,671	0
14	8192	90,510	-3,752	0
15	16384	128,000	-3,802	0
16	32768	181,019	-3,836	0
17	65536	256,000	-3,852	0
18	131072	362,039	-3,862	0
19	145320	381,209	-3,864	0



Ensaio: Descarregamento/4,0 kgf/cm²
 Arquivo: r:\ASAS4001.961
 Usuario: Medici (Edometrico CPE-02)
 H.Inic.: 9:23:49

Leitura	Tempo (s)	Deformação Axial (mm)	Carga Axial (ADC)
0	0	-3,864	0
1	1	-3,79	0
2	2	-3,79	0
3	4	-3,785	0
4	8	-3,782	0
5	16	-3,777	0
6	32	-3,773	0
7	64	-3,769	0
8	128	-3,762	0
9	256	-3,755	0
10	512	-3,745	0
11	1024	-3,731	0
12	2048	-3,716	0
13	4096	-3,701	0
14	8192	-3,693	0
15	16384	-3,688	0
16	32768	-3,685	0
17	65536	-3,678	0
18	131072	-3,672	0
19	262144	-3,676	0
20	279319	-3,684	0

Ensaio: Descarregamento/1,0 kgf/cm²
 Arquivo: r:\ASAS1001.961
 Usuario: Medici (Edometrico CPE-02)
 H.Inic.: 9:05:49

Leitura	Tempo (s)	Deformação Axial (mm)	Carga Axial (ADC)
0	0	-3,444	0
1	1	-3,399	0
2	2	-3,4	0
3	4	-3,397	0
4	8	-3,394	0
5	16	-3,391	0
6	32	-3,387	0
7	64	-3,383	0
8	128	-3,376	0
9	256	-3,369	0
10	512	-3,359	0
11	1024	-3,347	0
12	2048	-3,332	0
13	4096	-3,308	0
14	8192	-3,278	0
15	16384	-3,252	0
16	32768	-3,224	0
17	65536	-3,207	0
18	131072	-3,193	0
19	262144	-3,185	0
20	347763	-3,166	0

Ensaio: Descarregamento/2,0 kgf/cm²
 Arquivo: r:\ASAS2001.961
 Usuario: Medici (Edometrico CPE-02)
 H.Inic.: 15:01:05

Leitura	Tempo (s)	Deformação Axial (mm)	Carga Axial (ADC)
0	0	-3,677	0
1	1	-3,605	0
2	2	-3,609	0
3	4	-3,606	0
4	8	-3,605	0
5	16	-3,601	0
6	32	-3,597	0
7	64	-3,591	0
8	128	-3,586	0
9	256	-3,578	0
10	512	-3,566	0
11	1024	-3,553	0
12	2048	-3,532	0
13	4096	-3,513	0
14	8192	-3,487	0
15	16384	-3,47	0
16	32768	-3,46	0
17	65536	-3,455	0
18	131072	-3,445	0
19	237855	-3,444	0

Ensaio: Descarregamento/0,5 kgf/cm²
 Arquivo: r:\ASAS0501.961
 Usuario: Medici (Edometrico CPE-02)
 H.Inic.: 9:43:00

Leitura	Tempo (s)	Deformação Axial (mm)	Carga Axial (ADC)
0	0	-3,166	0
1	1	-3,137	0
2	2	-3,136	0
3	4	-3,136	0
4	8	-3,135	0
5	16	-3,133	0
6	32	-3,13	0
7	64	-3,126	0
8	128	-3,123	0
9	256	-3,119	0
10	512	-3,112	0
11	1024	-3,104	0
12	2048	-3,094	0
13	4096	-3,078	0
14	8192	-3,057	0
15	16384	-3,029	0
16	32768	-3,003	0
17	65536	-2,976	0
18	131072	-2,954	0
19	262144	-2,942	0
20	524288	-2,944	0
21	602583	-2,939	0

Ensaio: Descarregamento/0,25kgf/cm2
 Arquivo: r:\ASAS0251.961
 Usuario: Medici (Edometrico CPE-02)
 H.Inic.: 9:07:52

Leitura	Tempo (s)	Deformação Axial (mm)	Carga Axial (ADC)
0	0	-2,939	0
1	1	-2,918	0
2	2	-2,918	0
3	4	-2,917	0
4	8	-2,915	0
5	16	-2,914	0
6	32	-2,913	0
7	64	-2,911	0
8	128	-2,909	0
9	256	-2,907	0
10	512	-2,904	0
11	1024	-2,9	0
12	2048	-2,894	0
13	4096	-2,886	0
14	8192	-2,877	0
15	16384	-2,864	0
16	32768	-2,845	0
17	65536	-2,824	0
18	131072	-2,807	0
19	262144	-2,792	0
20	360509	-2,782	0

Ensaio: Descarregament/0,125kgf/cm2
 Arquivo: r:\ASAS0121.961
 Usuario: Medici (Edometrico CPE-02)
 H.Inic.: 13:15:39

Leitura	Tempo (s)	Deformação Axial	Carga Axial
0	0	-2,782	0
1	1	-2,771	0
2	2	-2,769	0
3	4	-2,769	0
4	8	-2,767	0
5	16	-2,767	0
6	32	-2,765	0
7	64	-2,764	0
8	128	-2,764	0
9	256	-2,762	0
10	512	-2,76	0
11	1024	-2,756	0
12	2048	-2,752	0
13	4096	-2,746	0
14	8192	-2,736	0
15	16384	-2,725	0
16	32768	-2,707	0
17	65536	-2,688	0
18	131072	-2,667	0
19	262144	-2,649	0
20	524288	-2,623	0
21	850023	-2,606	0

Ensaio: Descarregam/0,0625kgf/cm2
 Arquivo: r:\ASAS0061.961
 Usuario: Medici (Edometrico CPE-02)
 H.Inic.: 9:05:29

Leitura	Tempo (s)	Deformação Axial (mm)	Carga Axial (ADC)
0	0	-2,606	0
1	1	-2,6	0
2	2	-2,6	0
3	4	-2,6	0
4	8	-2,599	0
5	16	-2,599	0
6	32	-2,598	0
7	64	-2,598	0
8	128	-2,596	0
9	256	-2,595	0
10	512	-2,595	0
11	1024	-2,594	0
12	2048	-2,592	0
13	4096	-2,59	0
14	8192	-2,589	0
15	16384	-2,585	0
16	32768	-2,581	0
17	65536	-2,568	0
18	131072	-2,56	0
19	262144	-2,549	0

Ensaio: Recarreg. / 0,125kgf/cm²
 Arquivo: r:\ASAS0122.961
 Usuario: Medici (Edometrico CPE-02)
 H.Inic.: 9:40:44

Leitura	Tempo (s)	Deformação Axial (mm)		Carga Axial
0	0	-0,003	-2,552	0
1	1	-0,010	-2,559	0
2	2	-0,010	-2,559	0
3	4	-0,011	-2,560	0
4	8	-0,011	-2,560	0
5	16	-0,011	-2,560	0
6	32	-0,011	-2,560	0
7	64	-0,012	-2,561	0
8	128	-0,012	-2,561	0
9	256	-0,013	-2,562	0
10	512	-0,013	-2,562	0
11	1024	-0,014	-2,563	0
12	2048	-0,014	-2,563	0
13	4096	-0,015	-2,564	0
14	8192	-0,015	-2,564	0
15	16384	-0,016	-2,565	0
16	32768	-0,016	-2,565	0
17	65536	-0,012	-2,561	0
18	131072	-0,012	-2,561	0
19	262144	-0,015	-2,564	0
20	283063	-0,016	-2,565	0

Ensaio: Recarreg. / 0,500kgf/cm²
 Arquivo: r:\ASAS0002.961
 Usuario: Medici (Edometrico CPE-02)
 H.Inic.: 15:38:50

Leitura	Tempo (s)	Deformação Axial (mm)		Carga Axial (ADC)
0	0	-0,052	-2,601	0
1	1	-0,077	-2,626	0
2	2	-0,077	-2,626	0
3	4	-0,078	-2,627	0
4	8	-0,079	-2,628	0
5	16	-0,081	-2,63	0
6	32	-0,082	-2,631	0
7	64	-0,083	-2,632	0
8	128	-0,088	-2,637	0
9	256	-0,091	-2,64	0
10	512	-0,096	-2,645	0
11	1024	-0,102	-2,651	0
12	2048	-0,108	-2,657	0
13	4096	-0,114	-2,663	0
14	8192	-0,119	-2,668	0
15	16384	-0,123	-2,672	0
16	32768	-0,127	-2,676	0
17	65536	-0,133	-2,682	0

Ensaio: Recarreg. / 0,250kgf/cm²
 Arquivo: r:\ASAS2502.961
 Usuario: Medici (Edometrico CPE-02)
 H.Inic.: 16:20:48

Leitura	Tempo (s)	Deformação Axial (mm)		Carga Axial
0	0	-0,016	-2,565	0
1	1	-0,023	-2,572	0
2	2	-0,032	-2,581	0
3	4	-0,034	-2,583	0
4	8	-0,034	-2,583	0
5	16	-0,035	-2,584	0
6	32	-0,036	-2,585	0
7	64	-0,036	-2,585	0
8	128	-0,037	-2,586	0
9	256	-0,039	-2,588	0
10	512	-0,04	-2,589	0
11	1024	-0,042	-2,591	0
12	2048	-0,043	-2,592	0
13	4096	-0,043	-2,592	0
14	8192	-0,044	-2,593	0
15	16384	-0,042	-2,591	0
16	32768	-0,043	-2,592	0
17	65536	-0,049	-2,598	0
18	131072	-0,046	-2,595	0
19	170274	-0,052	-2,601	0

Ensaio: Recarreg. / 1,000kgf/cm²
 Arquivo: r:\ASAS1002.961
 Usuario: Medici (Edometrico CPE-02)
 H.Inic.: 9:17:45

Leitura	Tempo (s)	Deformação Axial (mm)		Carga Axial (ADC)
0	0	-0,13	-2,679	0
1	1	-0,164	-2,713	0
2	2	-0,17	-2,719	0
3	4	-0,171	-2,72	0
4	8	-0,173	-2,722	0
5	16	-0,175	-2,724	0
6	32	-0,178	-2,727	0
7	64	-0,183	-2,732	0
8	128	-0,189	-2,738	0
9	256	-0,196	-2,745	0
10	512	-0,204	-2,753	0
11	1024	-0,218	-2,767	0
12	2048	-0,235	-2,784	0
13	4096	-0,255	-2,804	0
14	8192	-0,268	-2,817	0
15	16384	-0,28	-2,829	0
16	32768	-0,29	-2,839	0
17	65536	-0,296	-2,845	0
18	131072	-0,307	-2,856	0
19	262144	-0,314	-2,863	0
20	278342	-0,316	-2,865	0

Ensaio: Recarreg. / 2,000kgf/cm2
 Arquivo: r:\ASAS2002.961
 Usuário: Medici (Edometrico CPE-02)
 H.Inic.: 14:38:38

Leitura	Tempo (s)	Deformação Axial (mm)		Carga Axial (ADC)
0	0	-0,316	-2,865	0
1	1	-0,345	-2,894	0
2	2	-0,366	-2,915	0
3	4	-0,368	-2,917	0
4	8	-0,371	-2,92	0
5	16	-0,374	-2,923	0
6	32	-0,378	-2,927	0
7	64	-0,386	-2,935	0
8	128	-0,395	-2,944	0
9	256	-0,409	-2,958	0
10	512	-0,423	-2,972	0
11	1024	-0,449	-2,998	0
12	2048	-0,48	-3,029	0
13	4096	-0,514	-3,063	0
14	8192	-0,544	-3,093	0
15	16384	-0,562	-3,111	0
16	32768	-0,572	-3,121	0
17	65536	-0,584	-3,133	0
18	66505	-0,584	-3,133	0

Ensaio: Recarreg. / 8,000kgf/cm2
 Arquivo: r:\ASAS8002.961
 Usuário: Medici (Edometrico CPE-02)
 H.Inic.: 18:20:34

Leitura	Tempo (s)	Deformação Axial (mm)		Carga Axial (ADC)
0	0	-0,953	-3,502	0
1	1	-0,964	-3,513	0
2	2	-1,038	-3,587	0
3	4	-1,045	-3,594	0
4	8	-1,051	-3,600	0
5	16	-1,059	-3,608	0
6	32	-1,069	-3,618	0
7	64	-1,082	-3,631	0
8	128	-1,102	-3,651	0
9	256	-1,128	-3,677	0
10	512	-1,167	-3,716	0
11	1024	-1,219	-3,768	0
12	2048	-1,284	-3,833	0
13	4096	-1,345	-3,894	0
14	8192	-1,387	-3,936	0
15	16384	-1,411	-3,960	0
16	32768	-1,427	-3,976	0
17	65536	-1,443	-3,992	0
18	65709	-1,443	-3,992	0

Ensaio: Recarreg. / 4,000kgf/cm2
 Arquivo: r:\ASAS4002.961
 Usuário: Medici (Edometrico CPE-02)
 H.Inic.: 9:08:25

Leitura	Tempo (s)	Deformação Axial (mm)		Carga Axial
0	0	-0,584	-3,133	0
1	1	-0,619	-3,168	0
2	2	-0,664	-3,213	0
3	4	-0,667	-3,216	0
4	8	-0,673	-3,222	0
5	16	-0,678	-3,227	0
6	32	-0,686	-3,235	0
7	64	-0,696	-3,245	0
8	128	-0,71	-3,259	0
9	256	-0,728	-3,277	0
10	512	-0,753	-3,302	0
11	1024	-0,792	-3,341	0
12	2048	-0,841	-3,39	0
13	4096	-0,888	-3,437	0
14	8192	-0,922	-3,471	0
15	16384	-0,939	-3,488	0
16	32768	-0,952	-3,501	0
17	33026	-0,947	-3,496	0

Ensaio: Recarreg. / 10,000kgf/cm2
 Arquivo: r:\ASAS1012.961
 Usuário: Medici (Edometrico CPE-02)
 H.Inic.: 12:34:50

Leitura	Tempo (s)	Deformação Axial (mm)		Carga Axial (ADC)
0	0	-1,443	-3,992	0
1	1	-1,478	-4,027	0
2	2	-1,476	-4,025	0
3	4	-1,477	-4,026	0
4	8	-1,480	-4,029	0
5	16	-1,482	-4,031	0
6	32	-1,485	-4,034	0
7	64	-1,489	-4,038	0
8	128	-1,493	-4,042	0
9	256	-1,501	-4,050	0
10	512	-1,512	-4,061	0
11	1024	-1,529	-4,078	0
12	2048	-1,551	-4,100	0
13	4096	-1,578	-4,127	0
14	8192	-1,604	-4,153	0
15	16384	-1,622	-4,171	0
16	32768	-1,637	-4,186	0
17	65536	-1,656	-4,205	0
18	131072	-1,669	-4,218	0

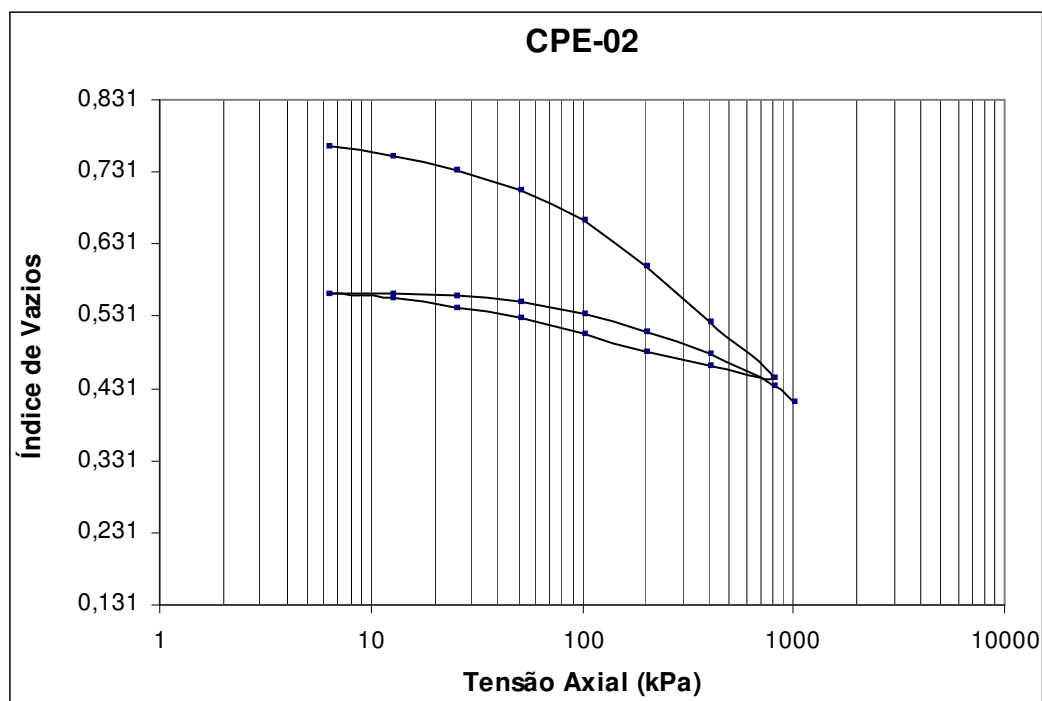
Dados iniciais:

Umidade inicial do material			
Amostra úmida + Tara (g)	89,460	93,01	91,02
Amostra seca + Tara (g)	76,930	79,88	78,55
Tara (g)	29,560	30,72	31,07
Teor de umidade - w%	26,451	26,71	26,26
Teor de umidade média - w%	26,475		

Corpo de Prova	
Altura do Corpo de Prova (cm):	2,000
Diâmetro do Corpo de Prova (cm)	7,140
Solo úmido + anel (g)	189,920
Massa do anel (g)	44,090
Volume (cm ³)	80,079
γ (g/cm ³)	1,821
γ_d (g/cm ³)	1,440
γ_s (g/cm ³)	2,580
e	0,792

Ps = Ms (g):	115,304
Hs (cm)	1,116

Tensão Axial (kPa)	Deformação Axial (mm)	H (mm)	e
0,000	0,000	20,000	0,792
6,250	-0,275	19,725	0,767
12,500	-0,425	19,575	0,754
25,000	-0,647	19,353	0,734
50,000	-0,946	19,054	0,707
100,000	-1,408	18,592	0,666
200,000	-2,129	17,871	0,601
400,000	-2,981	17,019	0,525
800,000	-3,864	16,136	0,446
400,000	-3,684	16,316	0,462
200,000	-3,444	16,556	0,483
100,000	-3,166	16,834	0,508
50,000	-2,939	17,061	0,529
25,000	-2,782	17,218	0,543
12,5	-2,606	17,394	0,558
6,25	-2,549	17,451	0,563
12,5	-2,565	17,435	0,562
25	-2,601	17,399	0,559
50	-2,682	17,318	0,552
100	-2,865	17,135	0,535
200	-3,133	16,867	0,511
400	-3,496	16,504	0,479
800	-3,992	16,008	0,434
1000,000	-4,218	15,782	0,414



APÊNDICE E

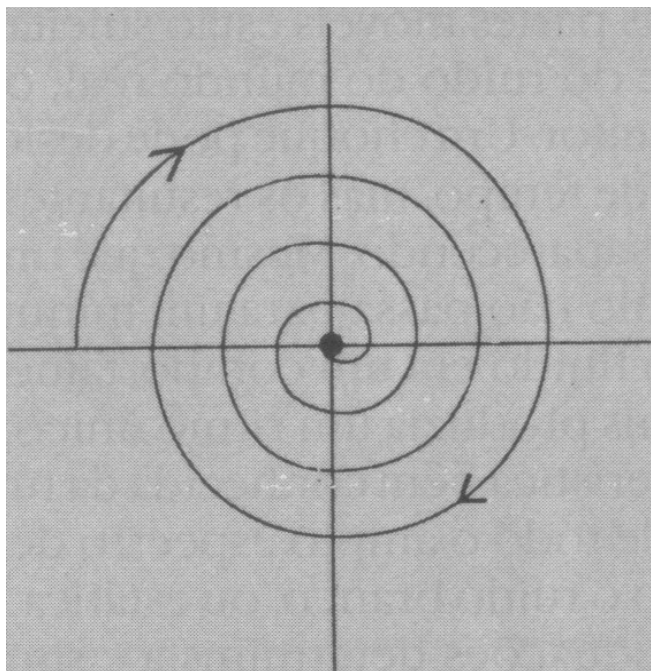
Gráficos defasados e Atratores

Gráfico Defasado e Atrator

Com o objetivo de melhor elucidar a adoção do que se chamou de “gráfico defasado” e “atrator” conforme item 4.3.3 desta dissertação apresenta-se neste Apêndice procedimentos que forneceram a inspiração necessária à adoção deste mecanismo como ferramenta auxiliar na visualização do comportamento da Taxa de Poropressão Específica.

Assim, buscando uma melhor compreensão observa-se que Gleike (1990) expõe que o espaço de fase proporciona uma maneira de transformar números em imagens e que os físicos já trabalhavam com dois tipos de “atratores” simples representando o comportamento que chegava a um regime estacionário ou se repetia continuamente. Diz ainda, que em um sistema oscilante, sem atrito, uma variável é a posição, e a outra, a velocidade, e, considerando que elas mudam constantemente, o sistema traça um *loop*, que se repete sempre, em círculos.

Ao considerar o atrito no sistema de pêndulo, ele observa que a tendência óbvia é que o movimento circular acabe em zero, no centro (posição zero e velocidade zero). Observa ainda que este local fixo “atrai” as órbitas. Ou seja, a energia ao se dissipar por conta do atrito atua como uma pressão em direção ao centro, das regiões externas de alta energia para as regiões internas de baixa energia constituindo-se assim, num atrator simples que, segundo o autor funciona como um ímã.



O atrator pode ser um único ponto. Para um pêndulo que perde constantemente a energia com o atrito, todas as trajetórias espiralam para dentro na direção de um ponto que representa um regime estacionário – neste caso, o regime estacionário de total ausência de movimento – Fonte Gleick (1990).

Por outro lado, Ferrara e Prado (1994) coloca que o estudo qualitativo de equações diferenciais busca identificar características importantes da mesma sem, entretanto, resolvê-las e que se apóia num razoável esforço de computação numérica. Para tanto, apresenta, também, o pêndulo simples como exemplo. Neste exemplo eles aplicam o *diagrama de fases* como ferramenta para o entendimento qualitativo dos possíveis movimentos deste sistema. Apresentam a figura a seguir como representativa do digrama de fases para o pêndulo simples em que a energia total se conserva e o sistema é dito Hamiltoniano ou conservativo.

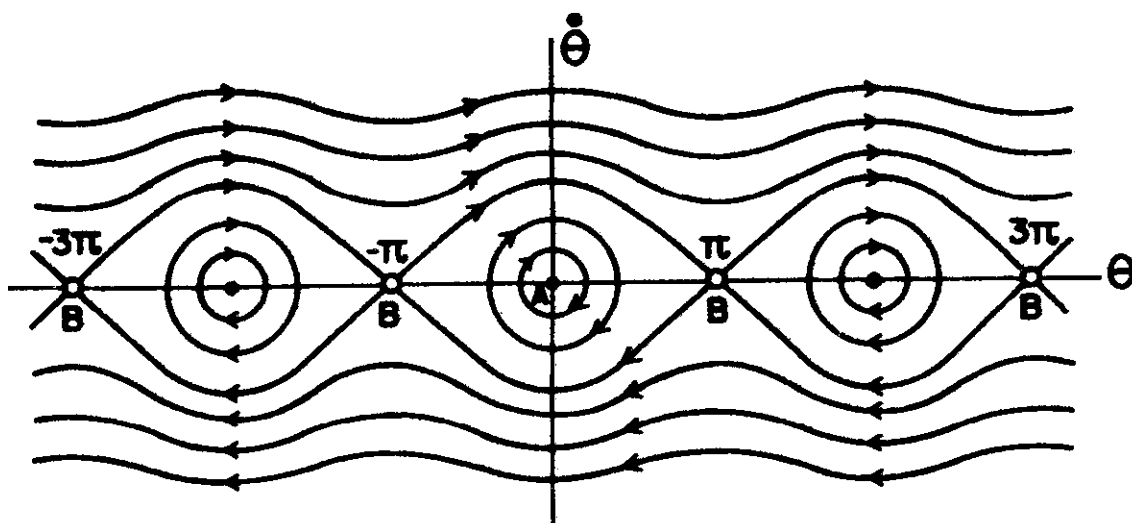


Diagrama de fases para pêndulo simples - Fonte Ferrara e Prado (1994)

Ao tratar de um Oscilador Harmônico Amortecido, Ferrara e Prado (1994) consideram que se trata de um sistema dissipativo e que o ponto para o qual convergem as trajetórias depois de um tempo suficientemente longo é dito um *atrator*.

Por fim, sob a inspiração da Teoria do Caos, mais especificamente no tocante ao descrito acima, adotou-se o gráfico defasado de forma análoga ao diagrama de fases, como ferramenta auxiliar na análise do comportamento da TPE, onde se observa que, neste caso, a tendência da mesma em oscilar em torno de um valor fixo (atrator), se deve à velocidade constante do ensaio de compressão.

Para a elaboração do gráfico defasado ou diagrama de fases no presente estudo, em lugar das duas variáveis (velocidade e tempo) consideradas no estudo do pêndulo, adotou-se aqui, uma relação entre uma série de dados em um dado instante “ t_i ”, e esta mesma série de dados em um instante anterior “ t_{i-1} ” ou “ t_{i-2} ” ou “ t_{i-n} ”.

A título de exemplo do procedimento aqui adotado apresentamos a seguir, através de uma tabela de dados e da figura que lhe corresponde, o processo de elaboração do diagrama de fase correspondente à série de dados inicial (nove dos primeiros pontos) da Taxa de Poropressão Específica do ensaio com o LM-02, relacionada a si mesma, porém, neste caso, defasada em um segundo, assim teremos:

Tabela de uma mesma série de dados repetida em duas colunas, porém, com valores defasados em um segundo.

Tempo (s)	Taxa de Poropressão Específica no tempo “ t_{i-1} ”	Taxa de Poropressão Específica no tempo “ t_i ”
1	0	
2	0,001039501	0
3	0,001038422	0,001039501
4	-0,001038422	0,001038422
5	-0,001039501	-0,001038422
6	0,003633532	-0,001039501
7	-0,001555613	0,003633532
8	-0,002598077	-0,001555613
9	0,004153686	-0,002598077
10		0,004153686

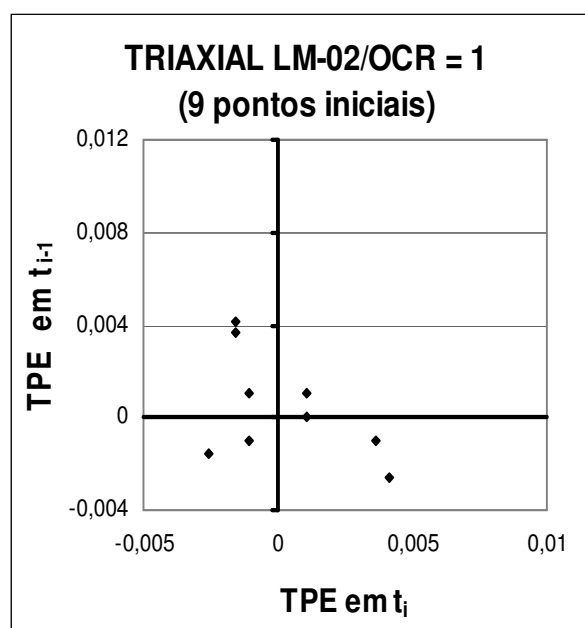


Figura apresentando os pontos resultantes, sem a linha que os ligam, da relação entre os dados de uma mesma série, porém, defasados entre si em um segundo, conforme a Tabela.

Os pontos obtidos conforme a Figura acima, não apresentam, evidentemente, as linhas correspondentes que os interligam.

Finalmente, este foi o procedimento auxiliar que se adotou na presente dissertação.