

## 6 Apresentação e Análise dos Resultados

No presente Capítulo encontram-se apresentados os resultados dos ensaios triaxiais realizados. Primeiramente serão descritas as características de cada ensaio com subsequente apresentação dos resultados. Será exposto o comportamento mecânico, trajetórias de tensões, bem como a determinação dos Módulos Iniciais para cada ensaio. Ao final do Capítulo é realizada uma análise conjunta dos resultados.

As trajetórias de tensões foram plotadas no diagrama utilizado pelo Massachusetts Institute of Technology (MIT), dos Estados Unidos (Lambe e Whitman, 1979), onde no eixo das abscissas é plotado o valor de  $s'$  e  $t$  nas ordenadas.

$$s = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \quad t = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \quad \text{eqs. 6.1}$$

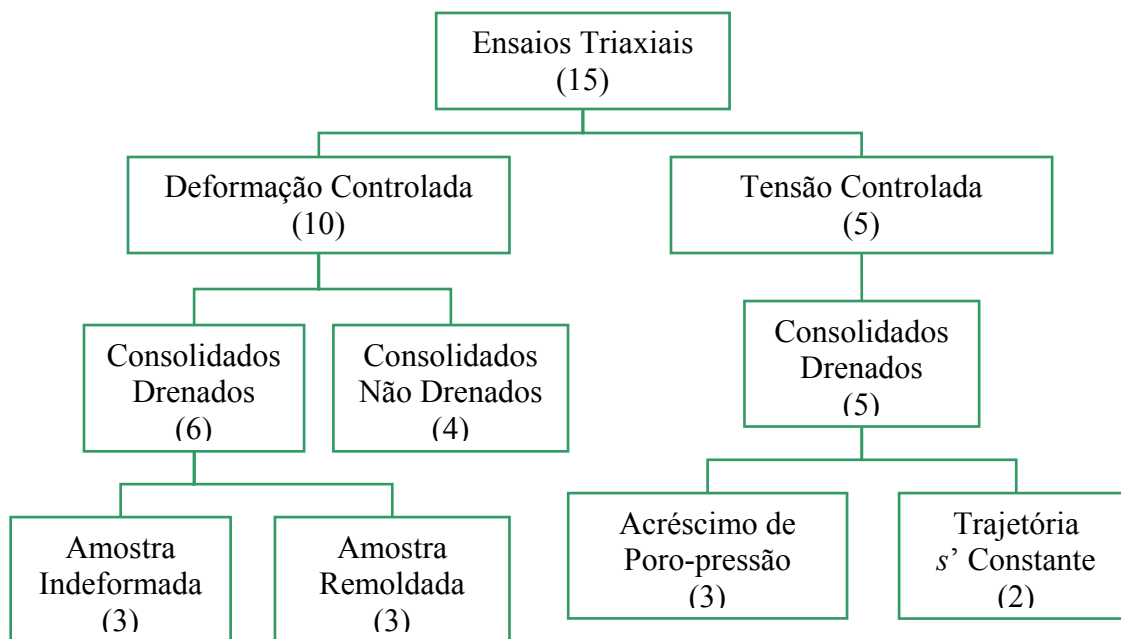
Em termos de tensões efetivas

$$s' = s - u \quad t' = t \quad \text{eqs. 6.2}$$

### 6.1. Ensaio Triaxiais

Como apresentado no Quadro 6.1, foram realizados um total de 15 ensaios Triaxiais, sendo dez executados em prensa com deformação controlada da Wikeham Farrance, e cinco no equipamento tipo Imperial College com controle de trajetória de tensão.

Quadro 6.1 – Organograma dos ensaios triaxiais realizados.



Os ensaios executados com deformação controlada foram divididos em dois grupos. O primeiro grupo compreende seis ensaios consolidados drenados e o segundo quatro não drenados. Dentro ainda dos ensaios drenados foram realizados metade deles com amostras não amolgadas e a outra com corpos de prova remoldados. Ressalta-se que em todos os demais ensaios realizados foram utilizadas amostras não amolgadas.

Utilizando o equipamento com tensão controlada foram realizados cinco ensaios consolidados drenados os quais foram divididos em dois grupos. No primeiro grupo de ensaios três corpos de prova foram solicitados à ruptura através do aumento de poro-pressão a qual conferiu o desenvolvimento de uma trajetória horizontal no sentido do eixo  $t$  até atingir a ruptura. O segundo grupo é composto de dois ensaios, os quais foram solicitados a trajetórias de tensões efetivas verticais, no plano  $s' \times t$ , com o valor de  $s'$  constante após a etapa de adensamento.

A nomenclatura utilizada é apresentada na Tabela 6.1. Para os ensaios realizados sobre condição de deformação controlada, as siglas (CID) e (CIU) indicam respectivamente ensaios consolidados drenados e consolidados não drenados. Os números arábicos apresentam as tensões de adensamento aplicadas e os números romanos indicam a ordem em que os ensaios foram realizados. Para

os ensaios com tensão controlada solicitados a ruptura por aumento de poro-pressão (APP), inicialmente os números arábicos separados por hífen representam respectivamente os valores de  $s'$  e  $t$ . Os números romanos que indicam a ordem do ensaio. Para os ensaios de tensão controlada com  $s'$  constante o índice inicial  $S'$  faz referência ao tipo de ensaio executado. Em números arábicos seguem indicados os valores de  $s'$  que foram mantidos constantes durante o ensaio. Novamente os números romanos indicam a ordem de execução dos ensaios.

Na Tabela 6.1 estão representadas as nomenclaturas referentes aos ensaios de deformação e tensão controlada.

Tabela 6.1 – Representação das nomenclaturas utilizadas.

Deformação Controlada	Tensão Controlada	
	APP	$S'$ Constante
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: flex; justify-content: space-around;"> <span>CID</span> <span>R</span> <span>50</span> <span>II</span> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;"> <div style="text-align: center;">↑ Condição de Drenagem</div> <div style="text-align: center;">↑ Remoldado</div> <div style="text-align: center;">↑ Tensão de Adensamento</div> <div style="text-align: center;">↑ Ordem de Execução do Ensaio</div> </div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: flex; justify-content: space-around;"> <span>125</span> <span>-</span> <span>30</span> <span>XI</span> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;"> <div style="text-align: center;">↑ Tensão de Adensamento (<math>S'</math>)</div> <div style="text-align: center;">↑ Valor de <math>t</math> cte até a Ruptura</div> <div style="text-align: center;">↑ Ordem de Execução do Ensaio</div> </div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: flex; justify-content: space-around;"> <span><math>S'</math></span> <span>75</span> <span>XIV</span> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;"> <div style="text-align: center;">↑ Ensaio com <math>S'</math> cte após o adensamento até a ruptura</div> <div style="text-align: center;">↑ Valor de <math>S'</math> cte até a Ruptura</div> <div style="text-align: center;">↑ Ordem de Execução do Ensaio</div> </div>

Na seqüência, serão apresentados os resultados dos ensaios em grupos, conforme o organograma apresentado no Quadro 6.1. Inicialmente serão descritos os ensaios realizados no equipamento triaxial com deformação controlada e na seqüência os realizados na prensa com controle da trajetória de tensões.

A Tabela 6.2 apresenta, de maneira resumida, as características dos ensaios realizados bem como os índices físicos associados a cada uma das amostras ensaiadas.

Tabela 6.2 – Resumo das Propriedades dos Corpos de Prova.

Corpo de Prova	Características dos Ensaios														
	Tipo		Controle		Adensamento	Corpo de Prova / Índices Físicos								Gs= 2.86	
	CID	CIU	Tensão	Deformação	Tensão (kPa)	Remoldado	Indeformado	Massa (g)	wi (%)	wf (%)	S(%)	e <sub>0</sub>	n	γ <sub>sat</sub>	
CIU 300 I		X		X	300		X	155.07	15.46	25.38	57.54	0.72	41.86	1.98	
CIU 200 II		X		X	200		X	139.94	10.67	25.75	34.59	0.83	45.26	1.92	
CIU 50 III		X		X	50		X	144.22	13.29	28.60	41.47	0.85	46.03	1.91	
CIU 25 IV		X		X	25		X	142.65	9.72	24.93	33.53	0.78	43.72	1.95	
CID 150 V	X			X	150		X	137.81	4.24	24.81	15.22	0.75	42.77	1.96	
CID 125 VI	X			X	125		X	145.72	10.36	25.85	38.08	0.73	42.17	1.97	
CID 75 VII	X			X	75		X	136.51	9.01	24.92	28.60	0.84	45.79	1.91	
CIDR 200 VIII	X			X	200	X		144.00	10.90	24.29	37.50	0.78	43.79	1.94	
CIDR 125 IX	X			X	125	X		142.00	10.56	23.61	35.44	0.80	44.40	1.93	
CIDR 50 X	X			X	50	X		143.00	10.67	28.69	36.31	0.79	44.06	1.94	
125-30 XI	X		X		125		X	152.02	11.98	24.03	45.78	0.70	41.23	1.98	
125-60 XII	x		X		125		X	145.00	10.30	23.64	36.46	0.75	43.09	1.95	
220-75 XIII	x		X		225		X	153.48	10.58	24.70	35.46	0.79	44.62	1.93	
S' 75 XIV	x		X		75		X	146.00	12.38	28.35	42.65	0.77	42.65	1.94	
S' 250 XV	x		X		250		X	147.43	10.36	25.85	38.08	0.73	42.17	1.97	

## **6.2. Ensaio Triaxiais com Deformação Controlada**

Dentro deste grupo estão dispostos 11 ensaios triaxiais os quais serão separados em dois grupos para melhor interpretação dos resultados. Para facilitar a análise dos gráficos, eles foram plotados na mesma escala com relação ao eixo das abscissas.

### **6.2.1. Ensaio Consolidados Drenados**

Serão apresentados a seguir os resultados dos ensaios triaxiais consolidados drenados realizados em amostras não amolgadas e remoldadas do solo residual de Gnaiss proveniente do Alto Leblon. A intenção deste procedimento é analisar a influência da cimentação no comportamento mecânico.

A utilização dos eletrônicos nas análises se restringiu somente na determinação dos módulos iniciais. Logo, os gráficos  $\sigma_d : \epsilon_{axial}$  e  $\epsilon_{volumetrica} : \epsilon_{axial}$  apresentados na seqüência estão plotados com valores de deformação axial provenientes das leituras com o LSCDT.

Para que fosse garantida a condição de dissipação de poro-pressão durante estes ensaios drenados foi adotada uma velocidade de cisalhamento de 0.043 mm/min, menor que a computada de acordo com Gibson & Henkel (1954).

#### **6.2.1.1. Amostras Não Amolgadas**

Os referidos ensaios foram executados com valores de consolidação respectivamente de 75, 125 e 150 kPa. Foram monitoradas as deformações axiais, variações volumétricas, tensão desviadora e deformações axiais no corpo de prova. Os resultados do monitoramento das deformações axiais internas serão apresentadas mais adiante.

São apresentados os resultados dos ensaios na Figura 6.1, que relacionam a deformação axial com a tensão desviadora (a) e deformação volumétrica (b).

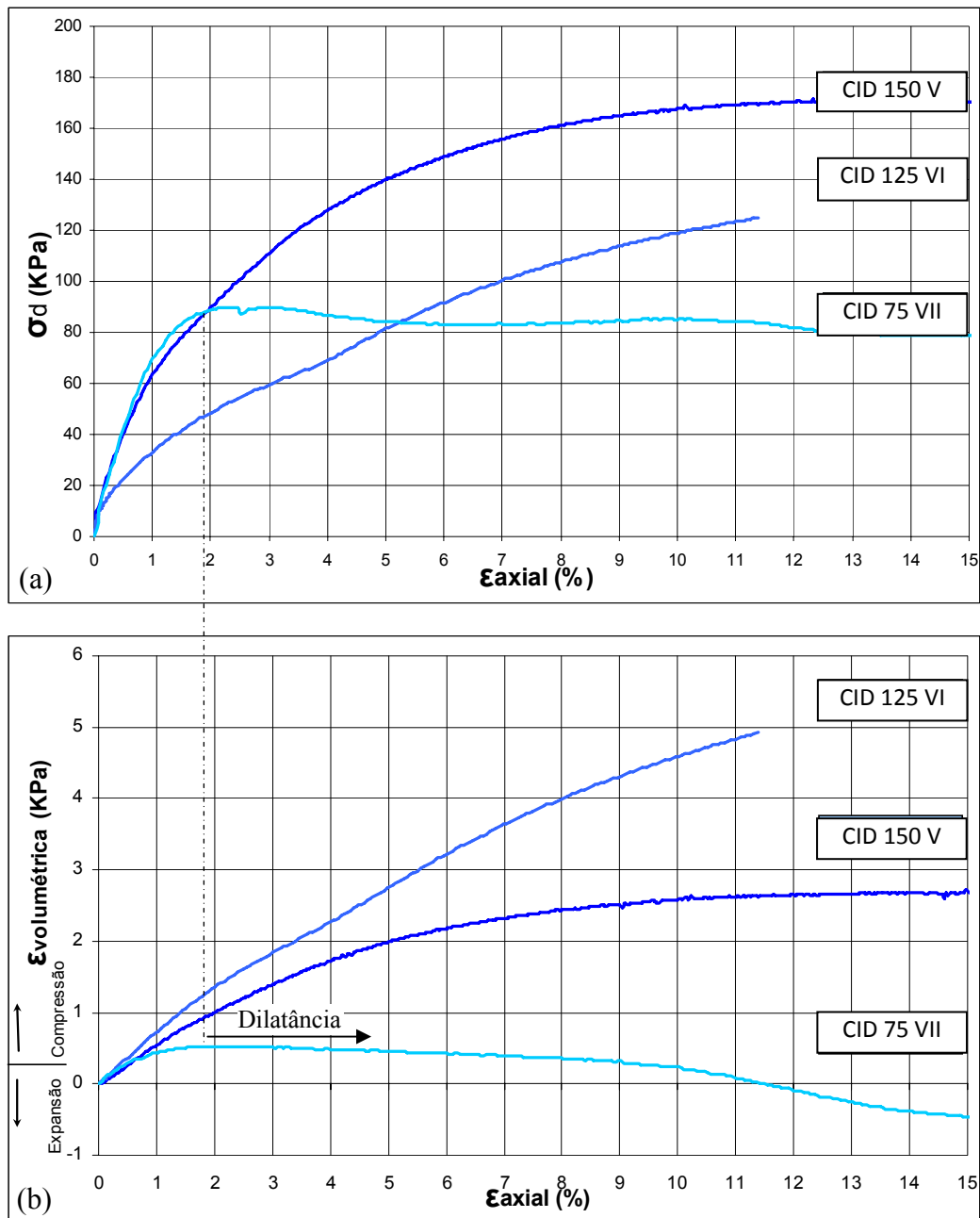


Figura 6.1 – Comparação entre as curvas  $\sigma_d : \epsilon_{axial}$  com  $\epsilon_{volumétrica} : \epsilon_{axial}$  (Ensaaios Triaxiais Consolidados Drenados em amostras Não amolgadas).

Os ensaios 150 CID e 125 CID fornecem curvas com ausência de picos, diferentemente do ensaio 75 CID. O pico apresentado no ensaio 75CID está atribuído ao efeito de dilatância como pode ser observado na Figura 6.1 (b).

A Figura 6.2 representa as trajetórias de tensões obtidas quando solicitados ao cisalhamento na condição drenada. A análise quanto à resistência será realizada de forma conjunta aos outros ensaios triaxiais mais adiante no item 6.5.1.

Conforme indicado na Figura 6.2 (linha tracejada), uma envoltória não linear (ou bi-linear) poderia estar associada a estes resultados. Tal seria decorrente da cimentação do material indeformado. Entretanto, conforme se verá adiante, isto não corresponde ao encontrado ao final do trabalho.

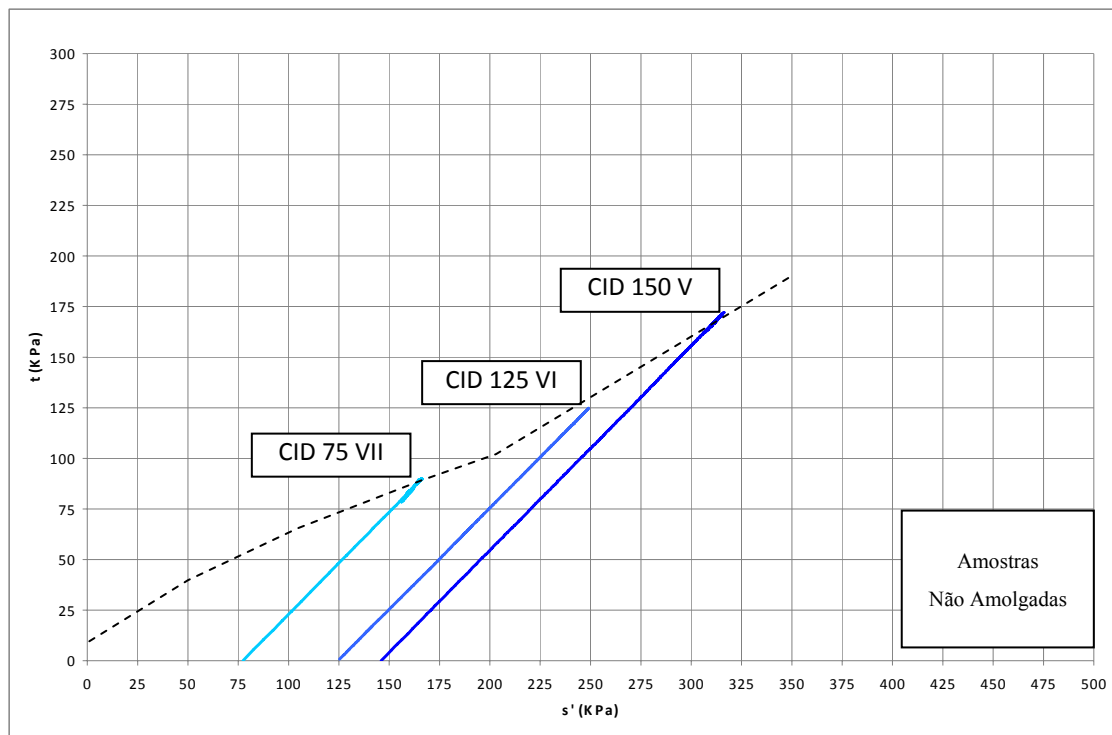


Figura 6.2 – Trajetória de Tensão (Ensaio Triaxiais Consolidados Drenados em amostras Não amolgadas).

### 6.2.1.2. Amostras Remoldadas

Três corpos de prova remoldados, através do método descrito no Capítulo 4 item 4.3.2.1, foram submetidos ao cisalhamento triaxial na condição drenada para as tensões de adensamento de 200, 125 e 50 kPa. Os resultados são apresentados na Figura 6.3.

De maneira distinta aos ensaios anteriormente descritos no item 6.2.1.1., a medição da deformação axial interna não foi realizada. Isto se deu em função do fato da prensa em que estes ensaios foram realizados não possuir câmara com dimensões adequadas à instalação de tal instrumento.

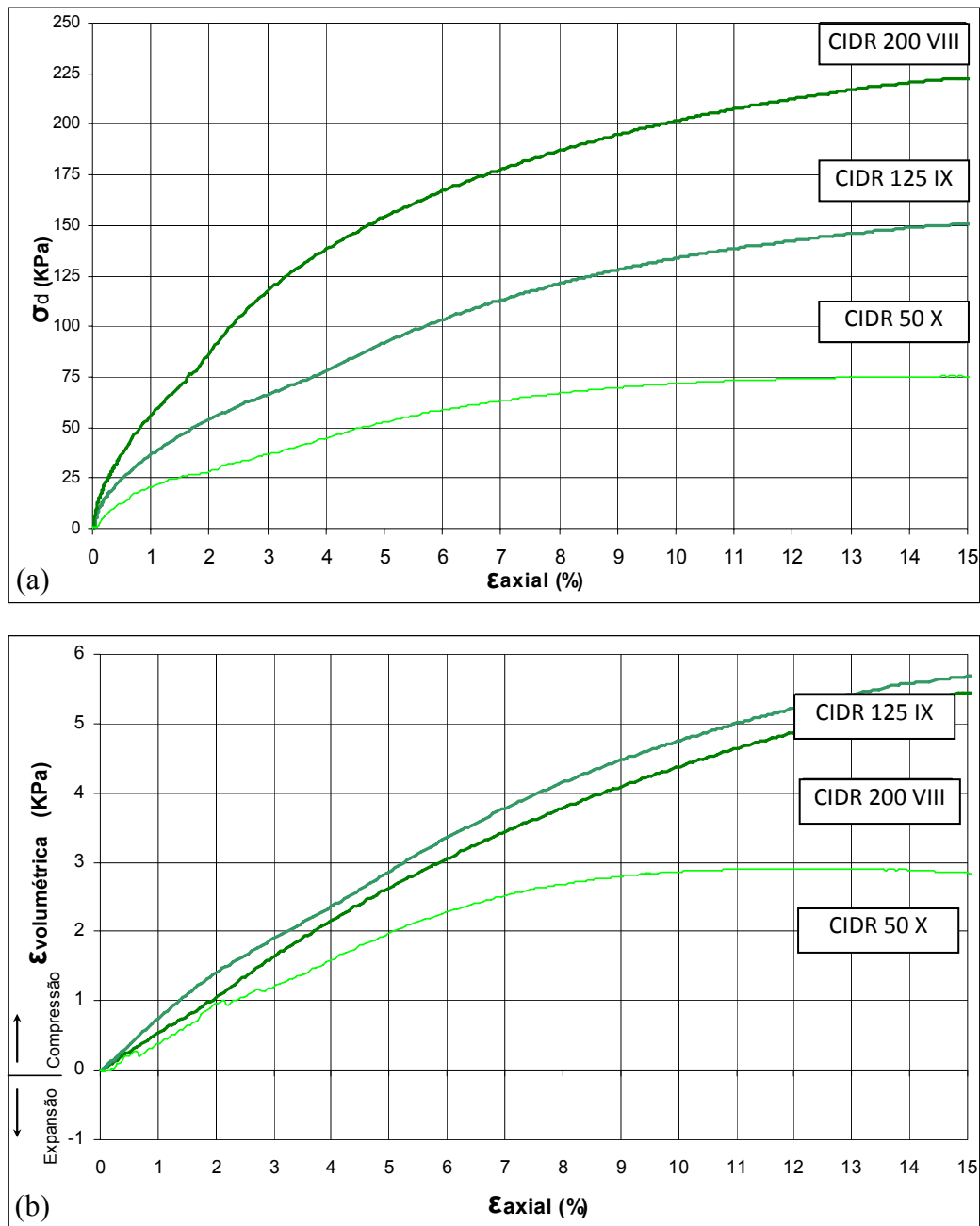


Figura 6.3 – Comparação entre as curvas  $\sigma_d : \epsilon_{axial}$  com  $\epsilon_{volumétrica} : \epsilon_{axial}$  (Ensaio Triaxiais Consolidados Drenados em amostras Remoldadas).

Como esperado, o comportamento apresentado pelas 3 amostras remoldadas foi bastante semelhante não indicando a presença de picos. Isto deve à reorganização da estrutura o que confere ao solo a perda da cimentação conforme evidenciado por Vaughan et al, 1988.

O comportamento das curvas da Figura 6.3 (b) retrata o comportamento típico de amostras remoldadas caracterizado pela deformação volumétrica de compressão.



Na seqüência são apresentadas as trajetórias de tensões para os referidos ensaios.

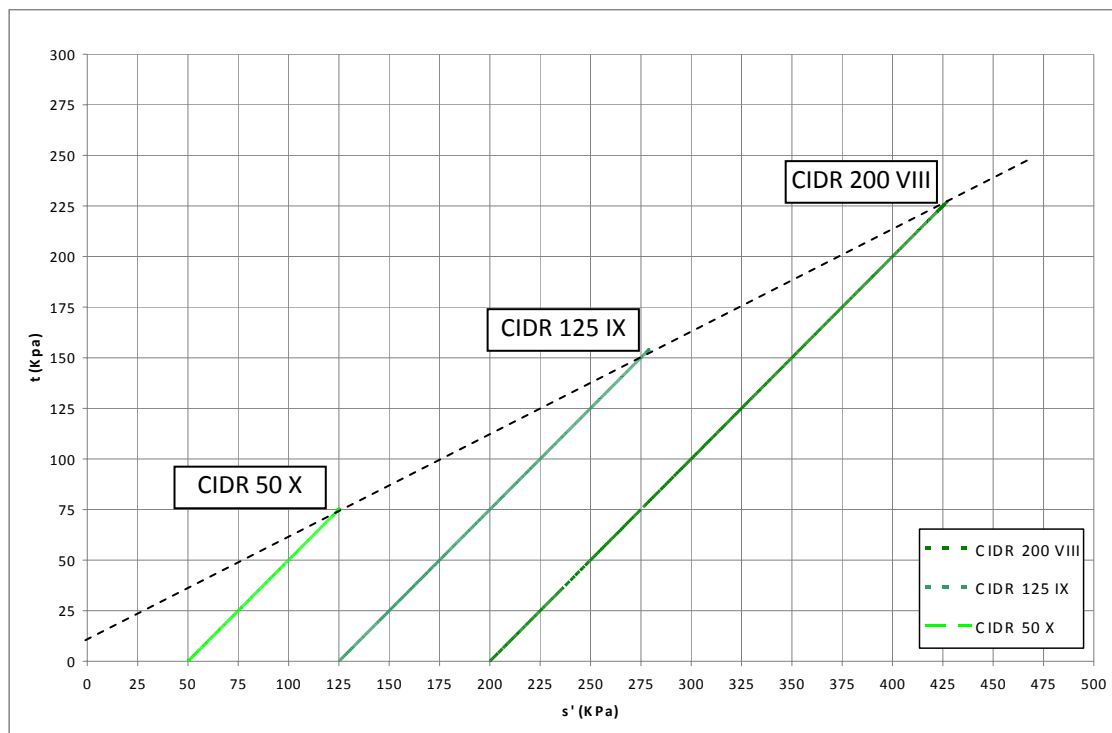


Figura 6.4 – Trajetória de Tensão (Ensaio Triaxiais Consolidados Drenados em amostras Remoldadas).

Como era esperada, em função da desestruturação sofrida no processo de remoldagem (i.e. quebra da cimentação), a envoltória de resistência apresenta um comportamento linear (linha pontilhada da Figura 6.4)

### 6.2.2. Ensaio Consolidados Não Drenados (CIU)

Um total de cinco ensaios consolidados não drenados foi executado. Na etapa de cisalhamento, todos mostraram curvas tensão-deformação sem a presença de pico de resistência, como pode-se observar na Fig.6.6. No entanto na Figura 6.5 (b) o ensaio CIU 50 mostrou um comportamento distinto dos demais apresentando uma variação de poro-pressão negativa.

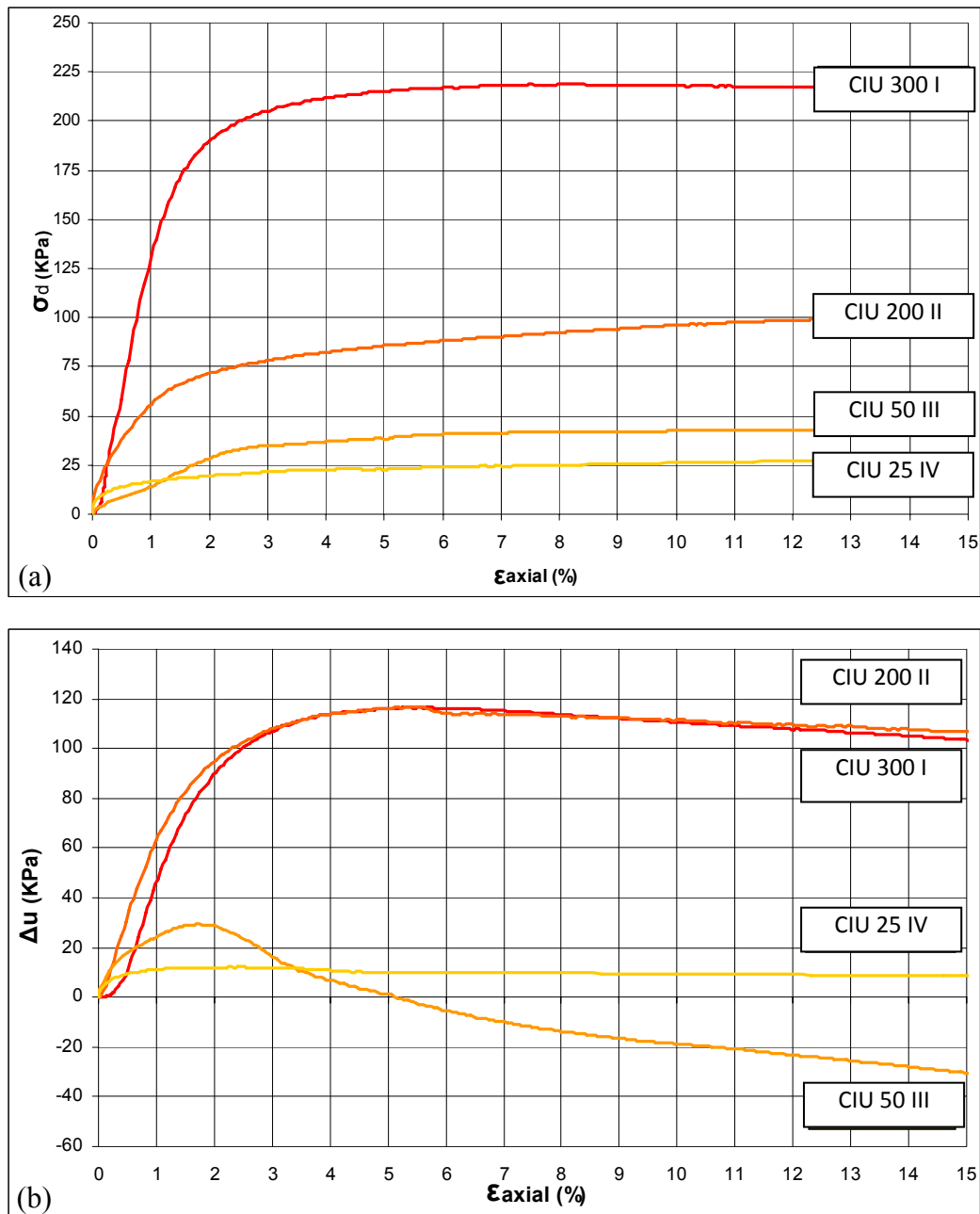


Figura 6.5 – Comparação entre as curvas  $\sigma_d : \epsilon_{axial}$  com  $\Delta u : \epsilon_{axial}$  (Ensaio Triaxiais Consolidados Não Drenados).

Da mesma forma que nos ensaios drenados apresentados no item (6.2.1). Nos ensaios não drenados, não foi notada a presença de picos de resistência, indo de encontro ao esperado devido ao fato de terem sido observadas cimentações nas análises de microscopia óptica. Acredita-se que tal cimentação tenha sido danificada pelo processo de secagem a que o material foi submetido durante a estocagem do mesmo na câmara úmida do Laboratório de Geotecnia e Meio

Ambiente da PUC-Rio, no período de 1999 (data de amostragem) e 2007 (início dos presentes ensaios).

Seguem representadas na Figura 6.6 as trajetórias de tensões dos ensaios triaxiais de cisalhamento sob condição não drenada com um ajuste linear para a envoltória de resistência.

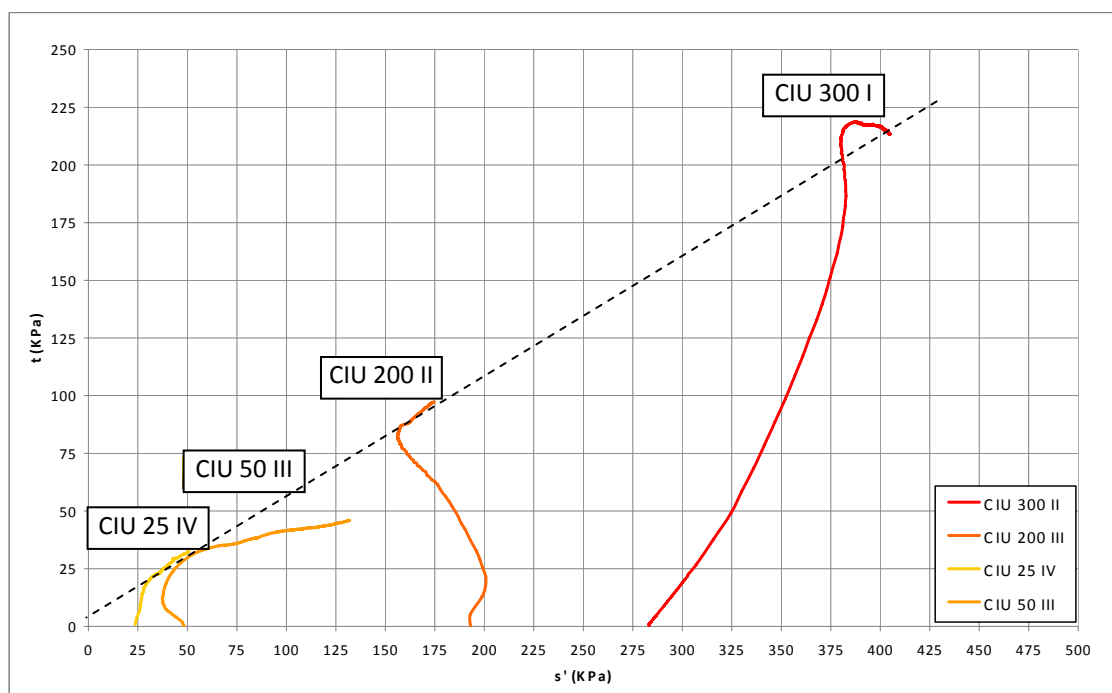


Figura 6.6 – Trajetória de Tensão (Ensaio Triaxiais Consolidados Não Drenados).

### 6.3. Ensaio Triaxiais Realizados com Controle de Tensões

Todos os cinco ensaios realizados no equipamento triaxial com controle de trajetórias de tensões foram executados na condição drenada.

Duas condições de carregamento foram estudadas, para tanto foi realizada uma série de três ensaios de carregamento axial seguido de aumento de poro pressão até a ruptura, e outros dois ensaios, com trajetória de tensão vertical no plano  $s':t$  ( $s'$  constante).

Para melhor análise dos resultados será apresentado separadamente cada grupo de ensaios.

### 6.3.1.

#### Ensaio Trajetória de Tensão – Aumento de Poro-pressão

Para execução destes ensaios foi programada uma rotina de aplicação de pressões, a qual em seu estágio inicial aplicou um aumento de tensão desviadora na condição de  $s'$  constante. Após o valor de  $t$  ter alcançado, para os referentes ensaios, os valores de 30, 60 e 75 kPa dava-se início ao novo estágio onde ocorria a aplicação de poro-pressão, seguindo uma taxa que possibilitava o controle de  $t$  na condição de constância até a ruptura.

Na Figura 6.7 estão representadas as curvas referentes à  $\sigma_d : \epsilon_{axial}$  e, respectivamente, à  $\epsilon_{volumétrica} : \epsilon_{axial}$ .

O comportamento do solo às trajetórias de tensões programadas pode ser observado na Figura 6.8. Os “picos” de tensão e de deformação volumétrica não indicam a ruptura dos corpos de prova e sim o momento em que o equipamento para de aplicar acréscimos de tensão desviadora e inicia o estágio de aumento de poro-pressão até a ruptura com tensão desviadora constante.

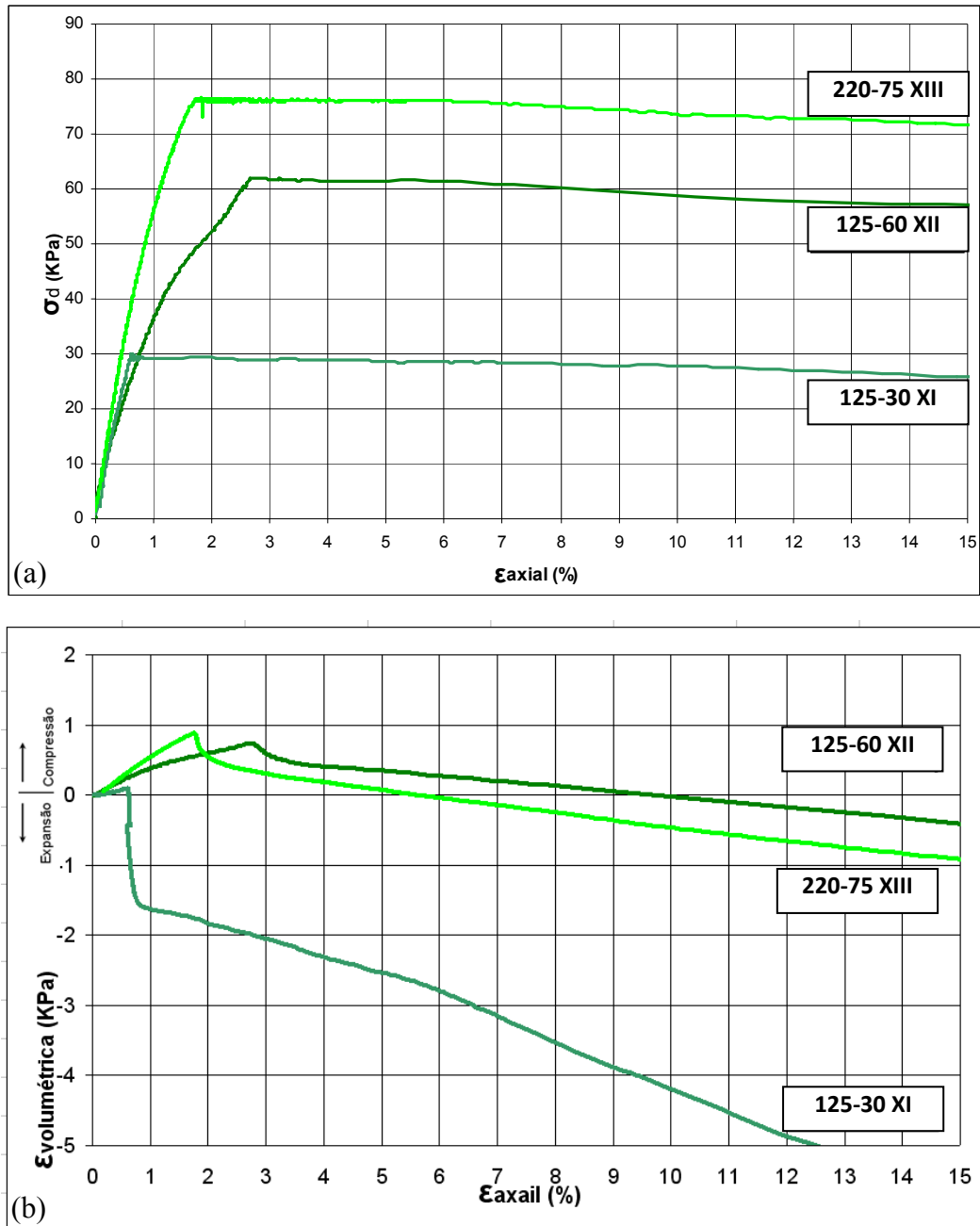


Figura 6.7 – Comparação entre as curvas  $\sigma_d : \epsilon_{axial}$  com  $\epsilon_{volumétrica} : \epsilon_{axial}$  (Ensaio Triaxiais Consolidados Drenados com Controle da Trajetória de Tensões).

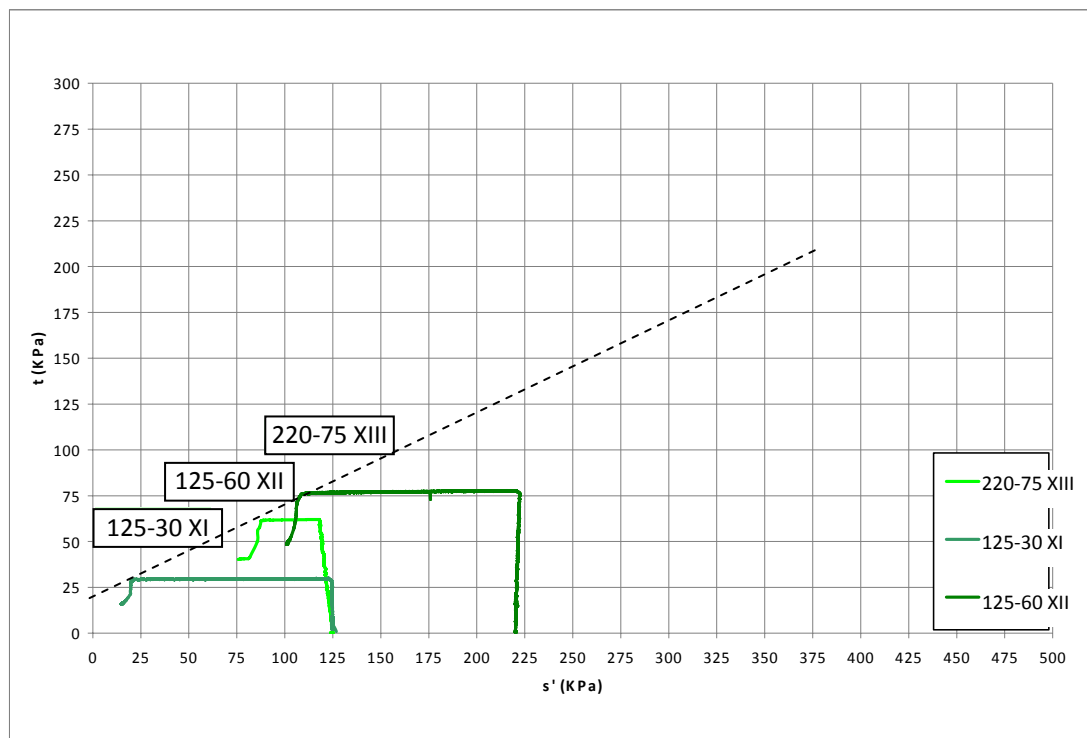


Figura 6.8 – Trajetória de Tensão (Ensaio Triaxiais Consolidados Drenados com Controle da Trajetória de Tensões).

Analisando as deformações volumétricas apresentadas nestes ensaios (Figura 6.7-b) é possível notar que no primeiro estágio (i.e. aumento de  $t$ ), as amostras indicam um comportamento compressivo enquanto que no estágio seguinte apresentam expansão. Este último comportamento se deve à trajetória de aumento de poro-pressão aplicada, que impõe um aumento do volume de água no corpo de prova.

Através das trajetórias de tensões dispostas na Figura 6.8 é possível o ajuste de uma envoltória de resistência linear.

### 6.3.2. Ensaio Trajetória de Tensão – $s'$ Constante

Nestes ensaios foi buscada a condição de acréscimo de  $t$  mantendo-se o valor de  $s'$  constante até a ruptura. A trajetória vertical representa um descarregamento lateral com aumento de tensão desviadora, mantendo-se constante o nível médio de tensões.

Na Figura 6.9 são apresentados o comportamento mecânico em termos de tensão desviadora e deformação volumétrica relacionados à deformação axial.

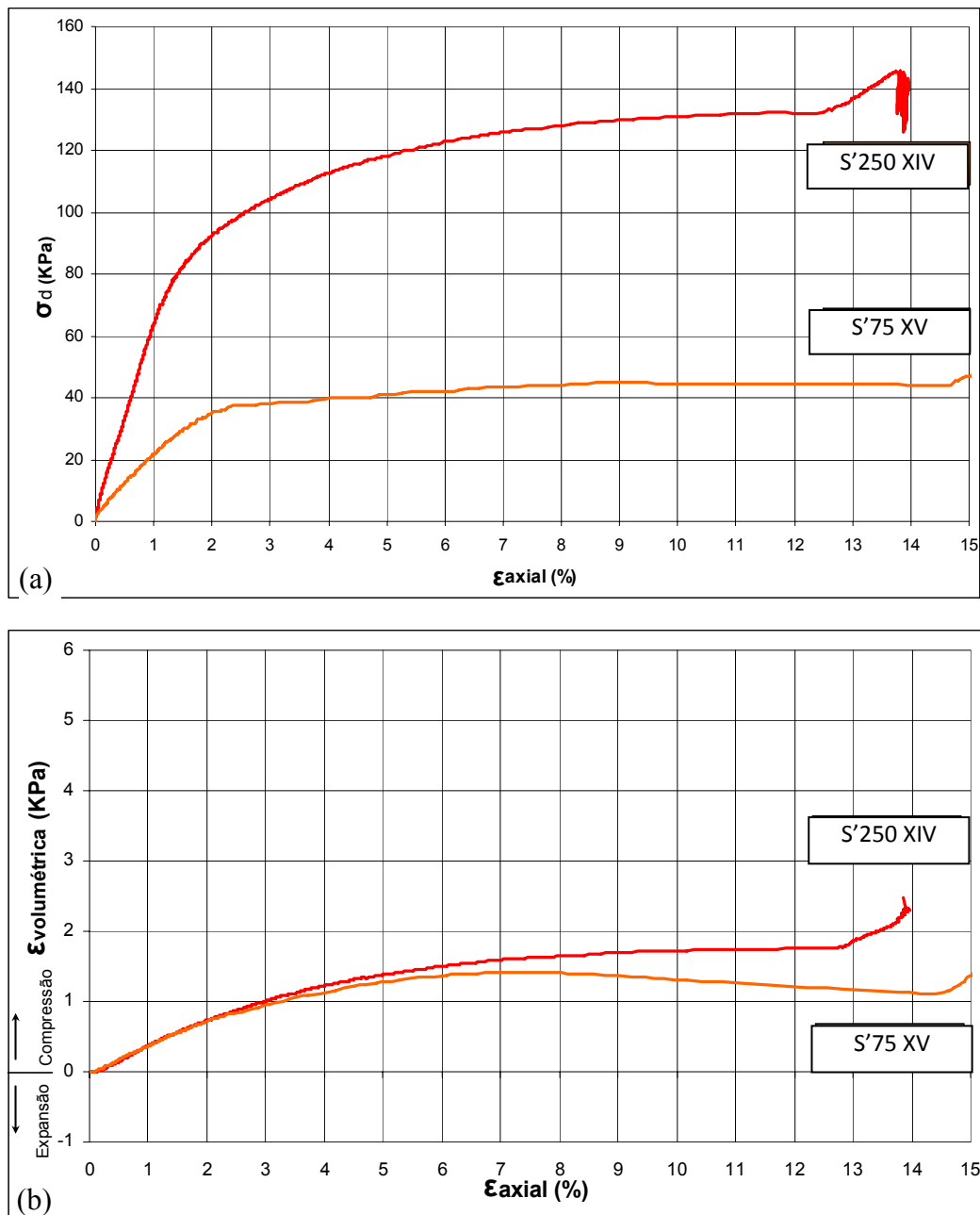


Figura 6.9 – Comparação entre as curvas  $\sigma_d : \epsilon_{axial}$  com  $\epsilon_{volumetrica} : \epsilon_{axial}$  (Ensaio Triaxiais Consolidados Drenados com Controle da Trajetória de Tensões – s' cte.).

Para os ensaios realizados com o valor de s' constante, foram seguidas as envoltórias de tensões da Figura 6.10. O comportamento que a trajetória de tensões segue após a ruptura decorre da tentativa do equipamento servo controlado de manter o valor de s' constante.

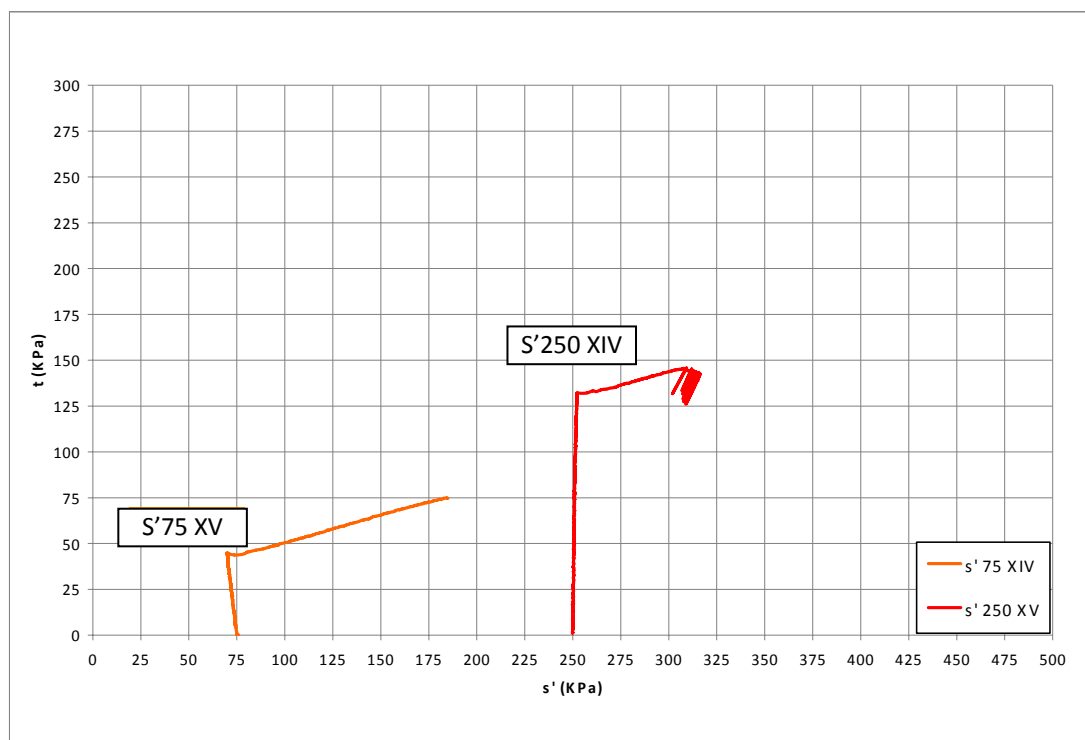


Figura 6.10 – Trajetória de Tensão (Ensaio Triaxiais Consolidados Drenados com Controle da Trajetória de Tensões –  $s'$  cte.).

Com relação à análise da Figura 6.9 é notável nestes ensaios a ausência de picos de resistência e que a ruptura foi governada pela dilatância.

#### 6.4. Determinação do Módulo Inicial

Através da análise dos gráficos de tensão desviadora versus deformação axial, foi determinado o Módulo Inicial para cada ensaio. Para tanto, foi utilizado além do transdutor de deslocamento LSCDT o medidor de deformação axial interna tipo Imperial College.

A Tabela que segue relaciona os ensaios monitorados com a utilização do medidor de deformação axial tipo *Imperial College*.

Tabela 6.3 – Relação de ensaios instrumentados com Eletrônível.

Ensaio com Monitoramento utilizando Eletrônível			
Deformação	CIU	CID	
Controlada	Todos	Indeformados CD 75 / 150	Remoldados Nenhum
Tensão	$S'$ constante	Excesso de poro-pressão	
Controlada	Todos	Todos	



Seguindo a metodologia de apresentação de resultados utilizada nos itens anteriores, serão expostos os resultados separadamente, conforme a Tabela 6.3.

Com o intuito de minimizar uma potencial influência causada por diferenças nos índices de vazios nos resultados, optou-se por normalizar os módulos iniciais por  $(1+e_0)$ . Nos gráficos a seguir, que comparam os Módulos Iniciais correlacionados às tensões de adensamento, o índice N nas legendas refere-se aos valores dos Módulos Iniciais normalizados.

#### **6.4.1.**

#### **Módulo Inicial para os Ensaios Consolidados Drenados**

Neste item serão relacionados os ensaios triaxiais consolidados drenados realizados em amostras não amolgadas e remoldadas.

Dentre os ensaios realizados na condição consolidada drenada somente os ensaios realizados com corpos de prova indeformados foram monitorados com o auxílio dos eletrônives.

Nos ensaios triaxiais com corpos de prova indeformados foram registradas as leituras do eletrônível somente para os realizados com respectivas tensões de adensamento de 75 e 150 kPa. O ensaio com tensão de adensamento de 125 kPa foi instrumentado, porém ocorreram problemas que ocasionaram na perda destes dados.

Foram determinados os Módulos Iniciais para os ensaios realizados com corpos de prova remoldados utilizando-se somente a medida de deformação axial fornecida pelo LSCDT. Os resultados desta análise estão dispostos na Figura 6.12.

Na Figura 6.11 são comparados os valores dos módulos provenientes das análises das deformações axiais mensuradas utilizando os eletrônives e os transdutores de deslocamento LSCDT normalizados e não normalizados respectivamente.

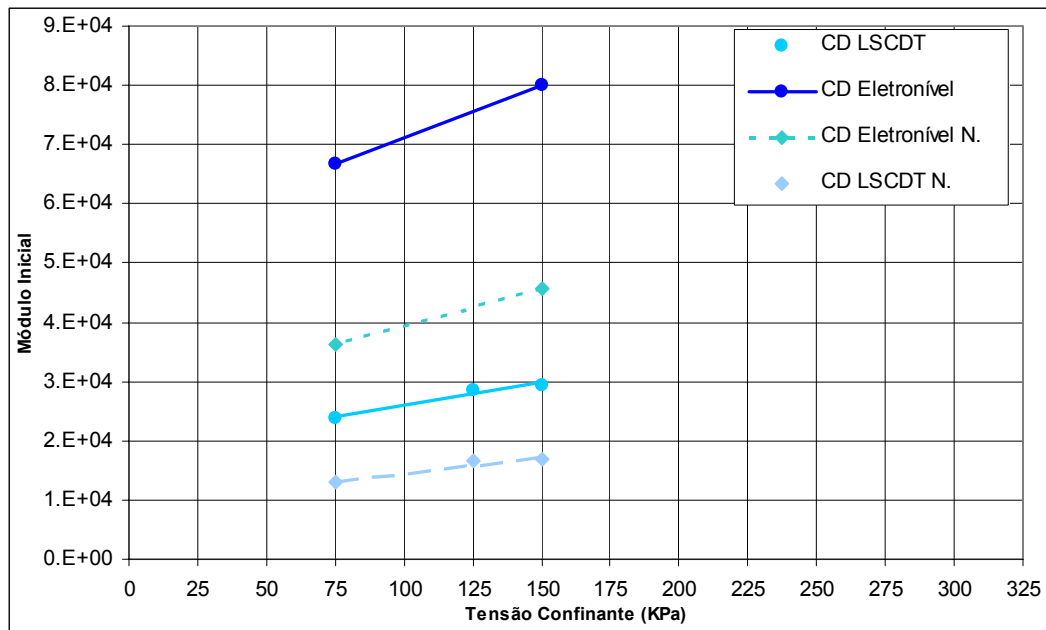


Figura 6.11 – Comparação entre Módulos Iniciais para ensaios CD.

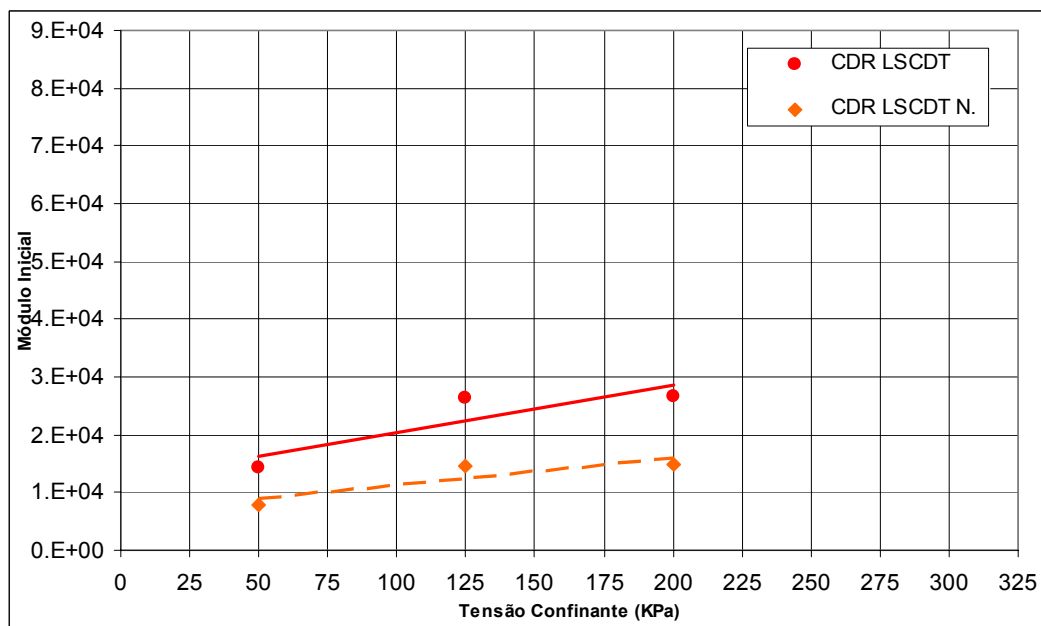


Figura 6.12 – Comparação entre Módulos Iniciais para ensaios CDR.

### 6.4.2. Módulo Inicial para os Ensaios Consolidados Não Drenados

Observando os módulos iniciais determinados para os ensaios consolidados não drenados dispostos na Figura 6.13 é possível notar a influência do índice de vazios quando se normaliza os ensaios CIU LSCDT. Isto está evidenciado pela diferença de inclinação entre as linhas de tendência dos módulos iniciais.

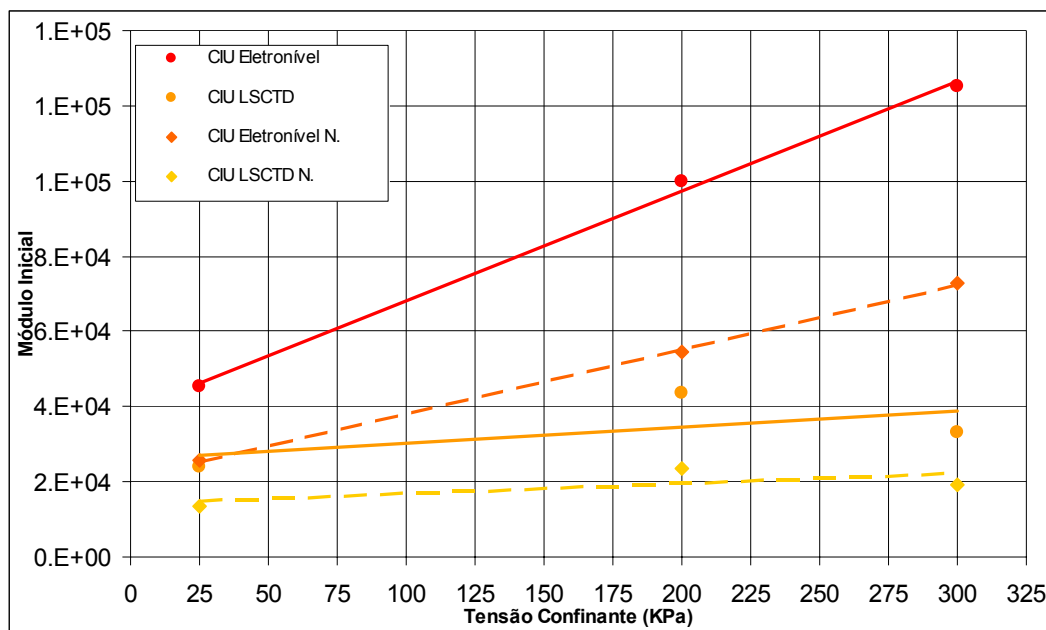


Figura 6.13 – Comparação entre Módulos Iniciais para ensaios CIU.

### 6.4.3. Módulo Inicial para os Ensaios com Controle de Trajetória de Tensões

Neste item serão apresentados juntamente os resultados dos valores dos módulos iniciais para os ensaios de aumento de poro-pressão e  $s'$  constante.

Para os ensaios de aumento de poro-pressão seu comportamento com relação ao Módulo Inicial esta apresentado na Figura 6.14.

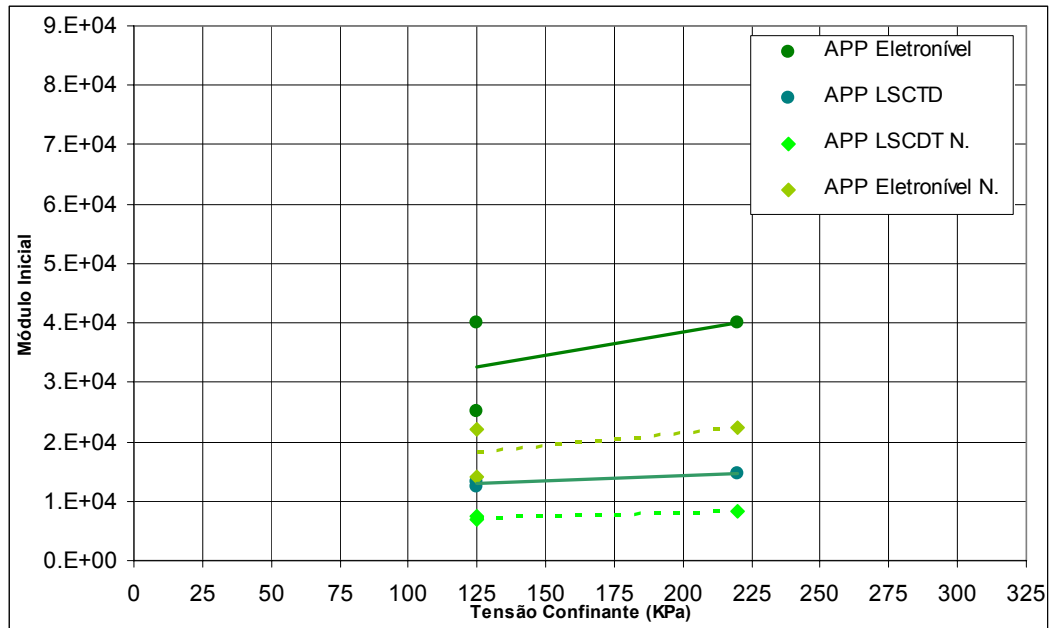


Figura 6.14 – Comparação entre Módulos Iniciais para ensaios de descarregamento lateral.

Na Figura 6.15 estão os resultados obtidos para os ensaios que sofreram cisalhamento sobre a trajetória com o valor de  $s'$  constante.

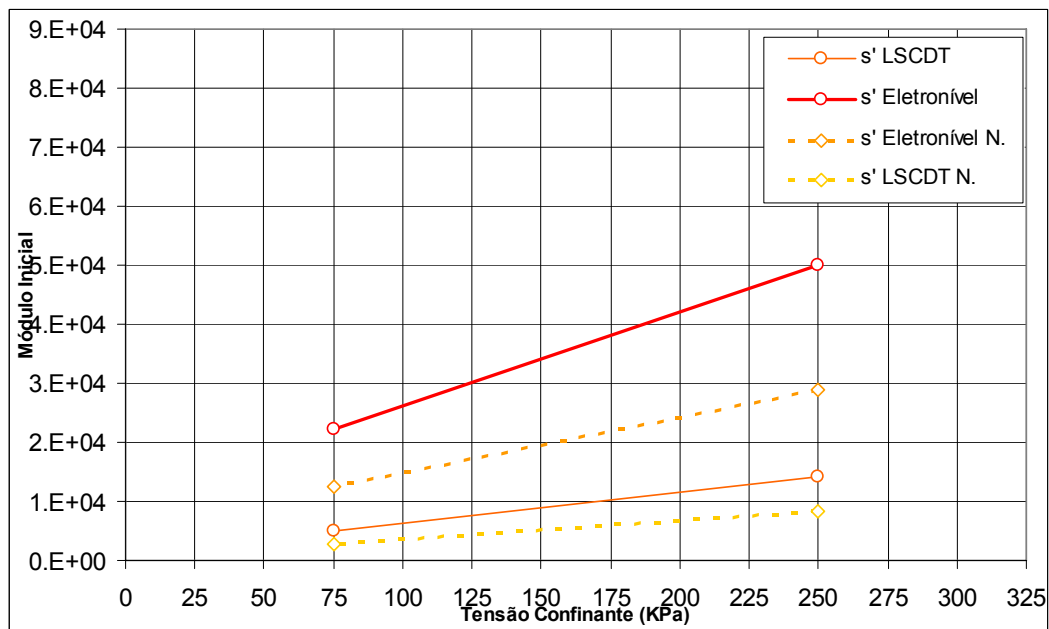


Figura 6.15 - Comparação entre Módulos Iniciais para ensaios com  $s'$  constante.

## 6.5. Análise Conjunta dos Resultados

De modo a complementar os resultados anteriormente apresentados, será realizada, a seguir, uma análise conjunta dos ensaios quanto a Resistência e aos Módulos Iniciais.

### 6.5.1. Resistência

#### 6.5.1.1. Ensaios Drenados e Não Drenados

Como era de se esperar baseado no descrito na literatura (e.g. Atkinson & Bransby, 1978), os ensaios consolidados drenados e não drenados apresentam uma envoltória de resistência única. Conforme é possível de ser observado no ajuste realizado na Figura 6.16, tal envoltória é linear.

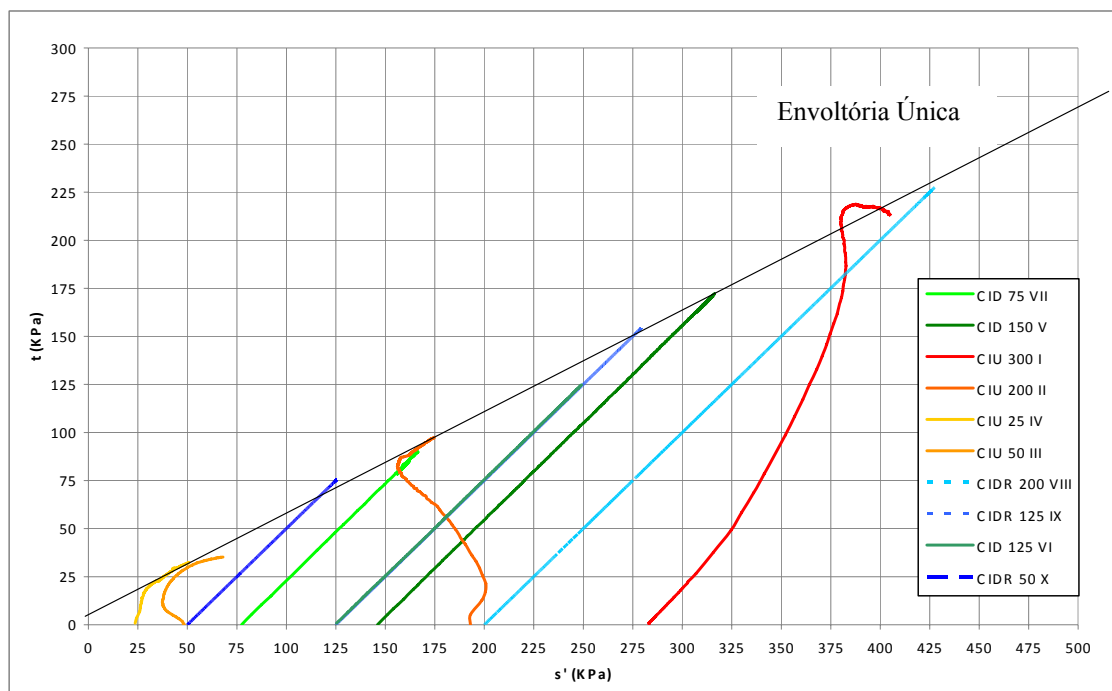


Figura 6.16 – Envoltória Única de Resistência.

Os parâmetros de resistência correspondentes a esta envoltória estão dispostos na Tabela 6.4.

Tabela 6.4 – Valores dos Parâmetros de Resistência.

Parâmetros de Resistência			
a (kPa)	$\alpha$ (Graus)	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (Graus)
6.0	27.9	7.0	31.9

### 6.5.1.2.

#### Ensaio Drenados com Amostras Não Amolgadas e Remoldadas

Analisando o comportamento dos ensaios drenados quanto à envoltória de resistência é possível notar claramente a existência de um ajuste linear entre os ensaios tanto com amostras não amolgadas quanto com remoldadas (Figura 6.17).

Este comportamento sugere que o processo de secagem dos corpos de prova ocasionou desestruturação do material. Pois era de se esperar que a resistência relacionada aos corpos de prova indeformados fosse maior em se considerando a existência de cimentação. Esta constatação ficará mais evidenciada na análise realizada no item 6.5.1.4.

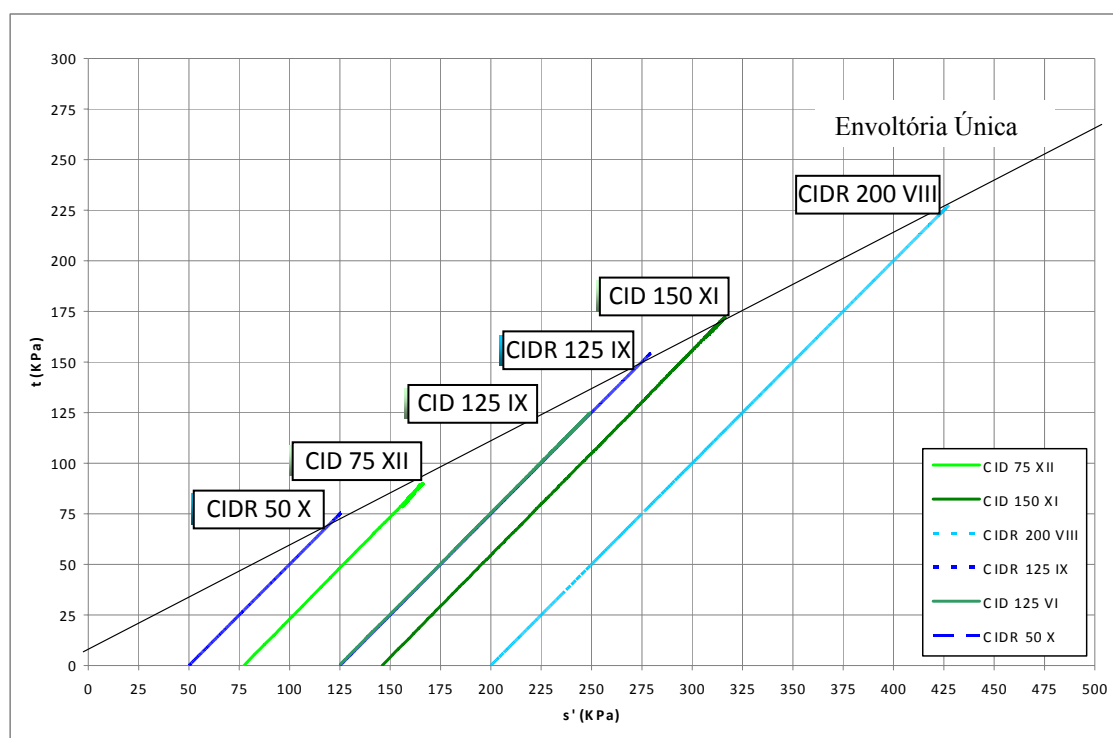


Figura 6.17 – Trajetória de Tensões dos Ensaio Drenados.

### 6.5.1.3.

#### Ensaio com $s'$ Constante e Aumento de Poro-Pressão (APP)

Para o gráfico da Figura 6.18 existem duas trajetórias que descrevem cada tipo de ensaio executado. Os ensaios com  $s'$  constante seguem a envoltória única descrita no item 6.5.1.1. Entretanto, os ensaios de aumento de poro-pressão apresentaram uma envoltória deslocada para cima na ordem de 10 kPa. No caso, é aparente um aumento do intercepto coesivo, com o ângulo de atrito permanecendo aproximadamente constante (ver Tabela 6.5).

Resultados semelhantes a estes foram descritos por Ng & Petley (2006), onde também através de ensaios com trajetória de tensões na condição de acréscimo de poro-pressão notou-se um ganho de resistência. Estes pesquisadores buscaram em seu trabalho estudar o comportamento de um solo residual proveniente de Hong Kong a diferentes taxas de pluviosidade. Para tanto, realizaram 3 ensaios triaxiais na condição CID e 10 APP. Os parâmetros de resistência encontrados para os ensaios CID foram  $\phi' = 29^\circ$  e  $c' = 8.3$  kPa e para os ensaios realizados com aumento de poro pressão  $\phi' = 30,7^\circ$  e  $c' = 14,1$  kPa. Da mesma forma os valores do intercepto coesivo se mantiveram muito próximos e os valores de coesão efetiva diferiram na casa de 5 kPa. Os referidos autores não discutiram as possíveis causas desta diferença entre os parâmetros de resistência dos ensaios APP para os demais.

Explicações teóricas para este comportamento a princípio não foram encontradas. Considerando que todos estes ensaios foram executados no mesmo equipamento e usando os mesmos transdutores, não é de se esperar que eventuais problemas de calibração pudessem ter interferido nestes resultados.

Considerando que o aumento das poro-pressões foi efetuado a uma velocidade de carregamento aleatoriamente definida, acredita-se que possa ter ocorrido um erro experimental oriundo de uma medição de poro-pressão não representativa nos ensaios APP. Em outras palavras, podem ter sido realizadas leituras de poro-pressão na base que fossem menores das exercidas a meia altura do corpo de prova. Sugerindo assim que a tensão efetiva fosse maior, o que justificaria o deslocamento da trajetória de tensão para a esquerda. Para validar esta justificativa é necessária a execução de ensaios com medição de poro-pressão na parte média do corpo de prova.

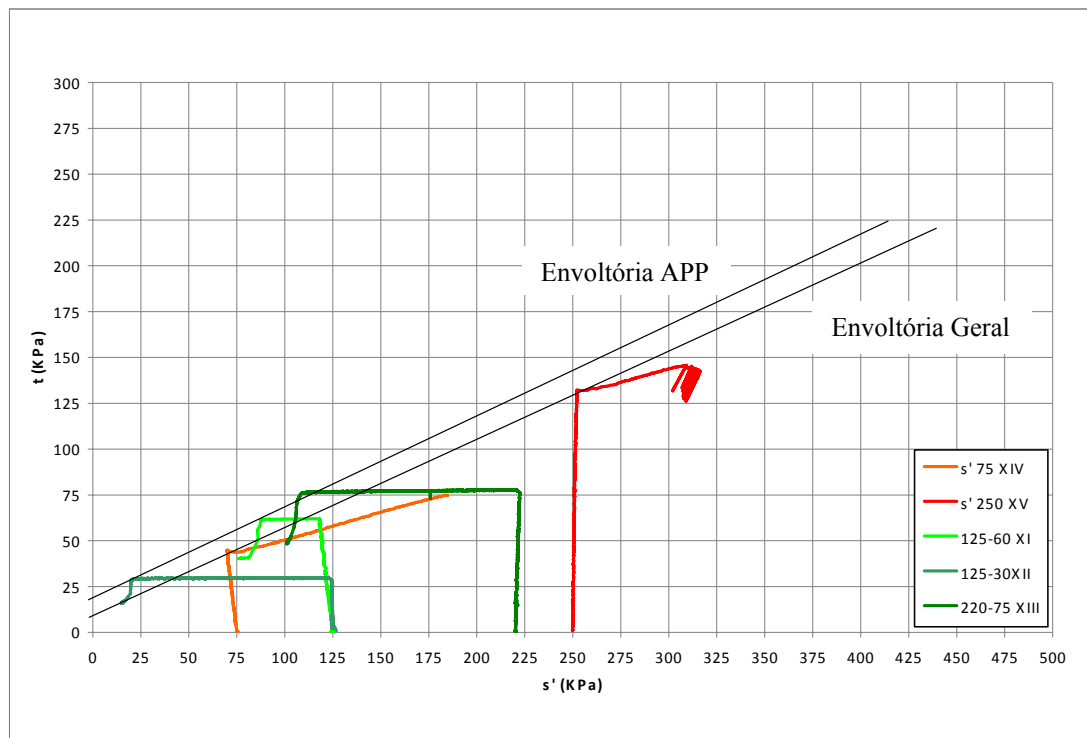


Figura 6.18 – Trajetória de Tensões dos Ensaios  $s'$  constante e APP.

Tabela 6.5 – Valores dos Parâmetros de Resistência APP.

Parâmetros de Resistência APP			
a (kPa)	$\alpha$ (Graus)	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (Graus)
16.0	27.2	18.7	31.0

#### 6.5.1.4. Comparação com Solo Estruturado

Cabe a este item a comparação entre a envoltória de resistência encontrada no presente trabalho com a apresentada no estudo desenvolvido por Oliveira (2000). Vale salientar que os ensaios executados na presente dissertação foram realizados em blocos amostrados para o primeiro estudo no ano de 1999.

Como mencionado no capítulo 4, item 4.2.4, os blocos estavam envoltos em filme de PVC, papel alumínio, talagarça e parafina e acondicionados na câmara úmida do Laboratório de Geotecnia e Meio Ambiente da PUC-Rio. Porém, apesar dos cuidados despendidos as propriedades relacionadas à umidade não foram mantidas.



Analisando a Figura 6.19 nota-se a diferença de comportamento entre a envoltória definida por Oliveira (2000), representada pela linha cheia, em relação à definida no presente trabalho, representada pela linha tracejada. Esta diferença de comportamento evidencia a perda de cimentação devido ao processo de secagem. Tal possibilidade já fora levantada na comparação dos resultados dos ensaios executados nas amostras indeformadas e amolgadas (ver item 6.5.1.2).

A diferença entre os valores de resistência na ruptura quando comparadas a envoltórias chegou ao máximo de 60 kPa. Esta diferença ressalta a importância em termos de resistência que a cimentação exercia sobre o solo antes do processo de secagem.

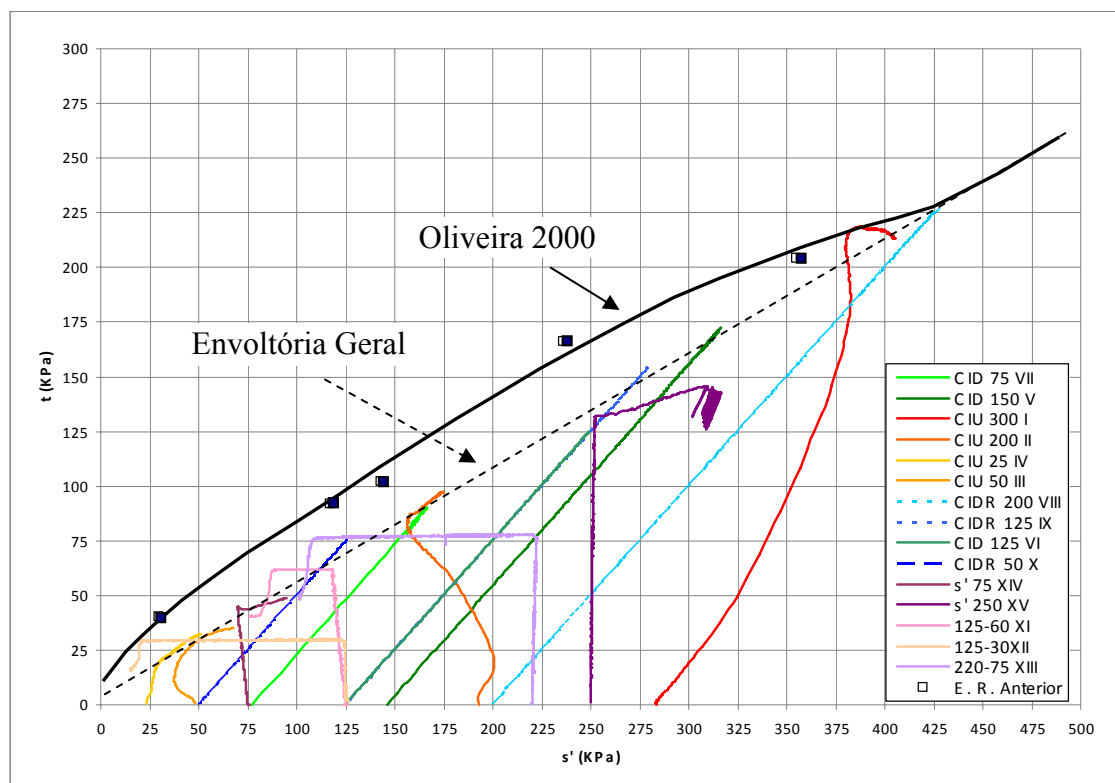


Figura 6.19 – Trajetória de Tensões Comparada com Estudos Anteriores.

Analisando os resultados dos ensaios realizados no presente trabalho é possível através da linha tracejada (i.e. Envoltória Geral) Figura 6.19 notar o bom ajuste linear entre as diferentes trajetórias de tensões empregadas (ensaios CIU, CID com amostras indeformadas, CID com amostras remoldadas e ensaios com controle de  $s'$  constante).

Baseado nas definições propostas por Atkinson & Bransby (1978), que seguem expostas Capítulo 2 item 2.2, acredita-se que a linha tracejada (Envoltória Geral) esteja também representando a linha de estado crítico (CSL).

## **6.5.2. Módulo Inicial**

### **6.5.2.1. Efeito do Índice de Vazios**

Analisando o gráfico da Figura 6.20 é possível, através da comparação entre os resultados normalizados e não normalizados, verificar a influência do índice de vazios nos valores dos Módulos Iniciais. Apesar dos índices de vazios estarem muito próximos, a normalização dos valores ocasiona uma melhora na definição da linha de tendência dos Módulos Iniciais com o aumento da tensão efetiva de adensamento.

Com o intuito de eliminar esta influência, nas análises seguintes serão utilizados somente os valores dos Módulos Iniciais Normalizados.

É possível também através da análise do gráfico da figura 6.20 notar a razão entre os valores dos Módulos Iniciais na casa de duas vezes.

Conforme mencionado por Marinho (1986), a razão entre os valores dos Módulos Iniciais determinados utilizando-se Eletrônicos em relação aos determinados com LSCDT podem chegar à casa de seis vezes.

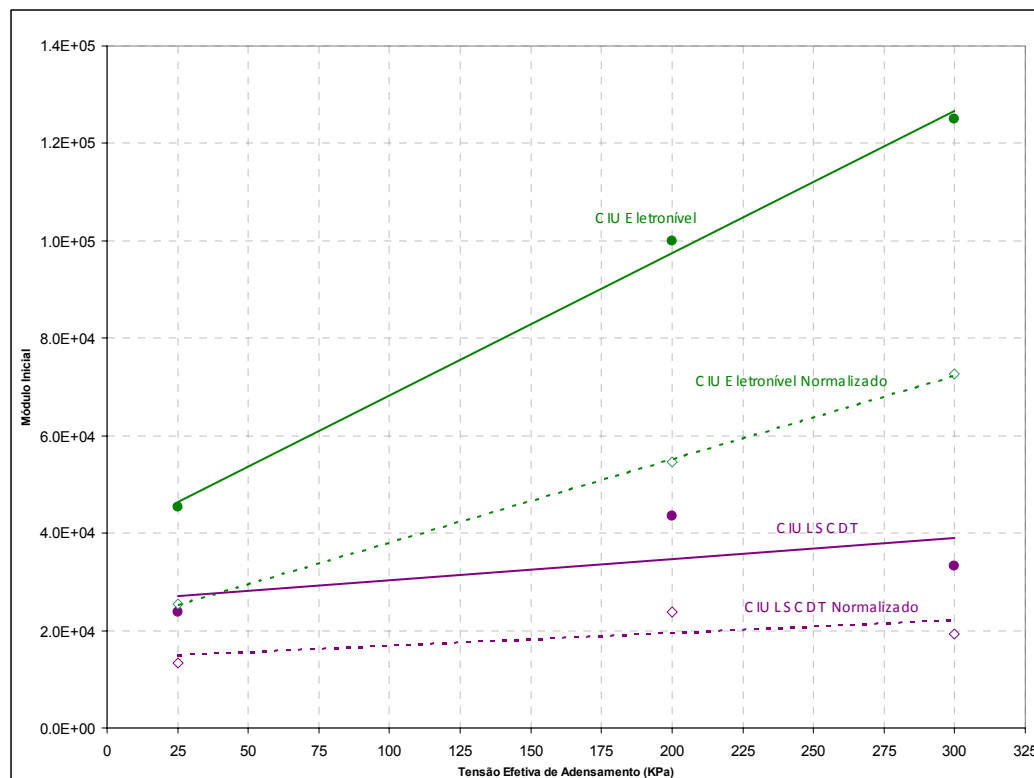


Figura 6.20 – Efeito do Índice de Vazios nos Módulos Iniciais.

### 6.5.2.2.

#### Ensaio Drenados com Amostra Indeformada e Remoldada

O comportamento quanto aos Módulos Iniciais provenientes dos ensaios realizados em amostra não amolgadas e remoldadas é bastante similar. Infelizmente, como mencionado anteriormente, os ensaios remoldados não foram instrumentados com os eletrôníveis. Porém, através de uma analogia com o comportamento entre os módulos oriundos das deformações medidas com o LSCDT, é possível prever que o comportamento se mantenha o mesmo.

Na Figura 6.21 estão representados os Módulos Iniciais relacionados às respectivas tensões efetivas de adensamento. As linhas tracejadas indicam as tendências entre os Módulos Iniciais Normalizados.

A proximidade dos valores dos Módulos Iniciais nos ensaios realizados com amostras amolgadas e não amolgadas representa mais um indício da perda de cimentação do solo. Pois era de se esperar que a relação entre os valores dos Módulos Iniciais fosse maior, baseando esta análise ao fato de que os solos cimentados apresentam maior rigidez quando comparados aos desestruturados (i.e. amolgados).

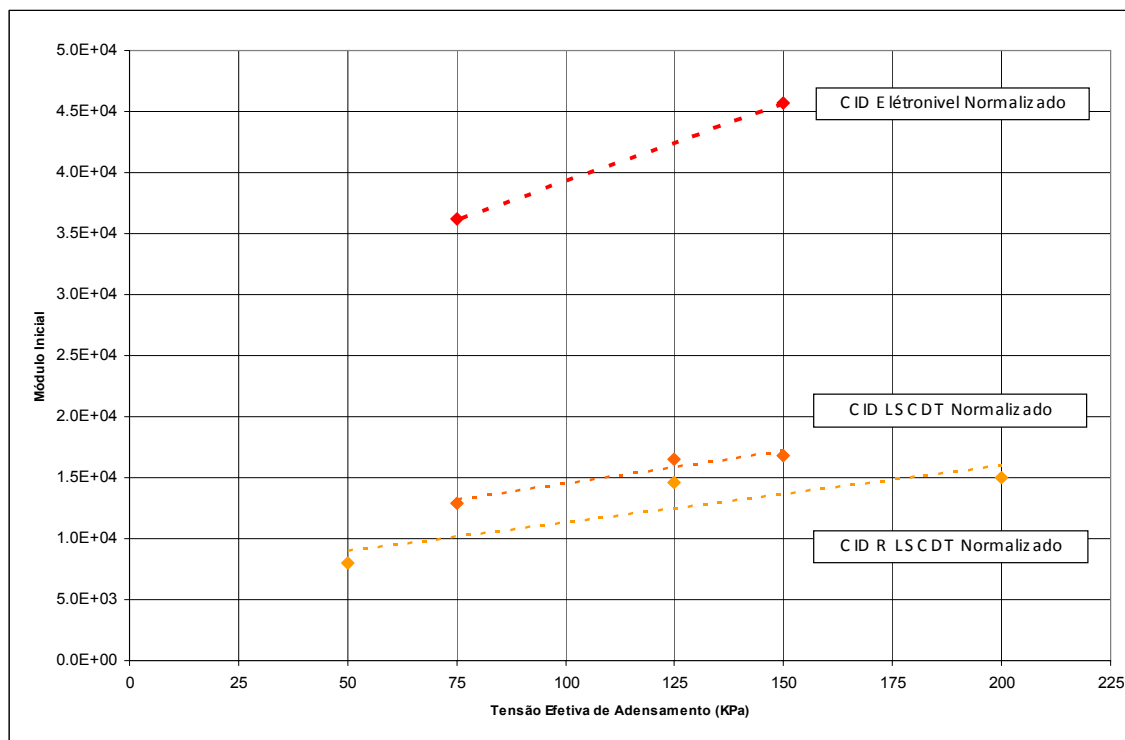


Figura 6.21 – Módulos Iniciais dos Ensaio Drenados Remoldado e Indeformado.

### 6.5.3. Ensaio com $s'$ Constante e Aplicação de Poro-Pressão (APP)

Para efeito de análise dos Módulos Iniciais os ensaios  $s'$  constante e APP são considerados como sendo do mesmo tipo, pois em seus estágios iniciais seguiu-se a mesma trajetória de tensões com  $s'$  constante e acréscimo de  $t$ . No gráfico da Figura 6.22 encontram-se agrupados os resultados de tais ensaios, bem como os dos ensaios CIU e CID convencionais.

Observa-se na Figura 6.22 uma grande influência da trajetória de tensões nos Módulos Iniciais, com os correspondentes aos ensaios convencionais sendo cerca de 2,5 a 3 vezes maiores que os advindos dos ensaios iniciados com  $s'$  constante.

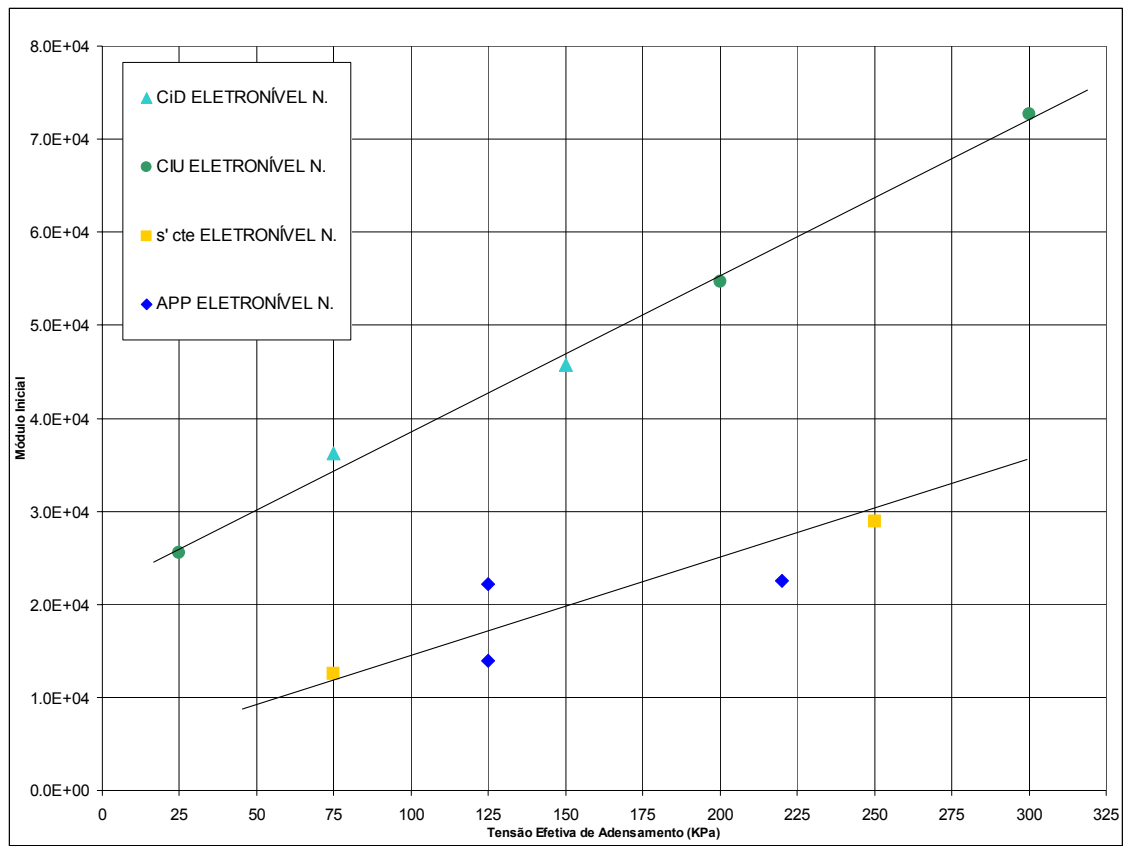


Figura 6.22 – Módulos Iniciais dos Ensaio Drenados sob trajetória de tens.