

Nas análises feitas por Lima (1996), ensaiando resíduos de mineração de ferro, ela verificou que quanto maior a velocidade do ensaio, maiores as poropressões geradas, o que era de se esperar. Achou que as curvas de compressibilidade e permeabilidade não se mostraram muito sensíveis à variação da velocidade aplicada (de 0.0756mm/min; 0.301mm/min e 0.751mm/min), a não ser para o conjunto de ensaios com menor teor de umidade inicial, onde se notava um crescimento da permeabilidade com a diminuição do índice de vazios no final dos testes, comportamento que era mais evidenciado para ensaios com menores velocidades. Isto pode ser devido a algum problema na medição dos valores de poropressão gerados nestes ensaios, que não foram realizados de forma automatizada.

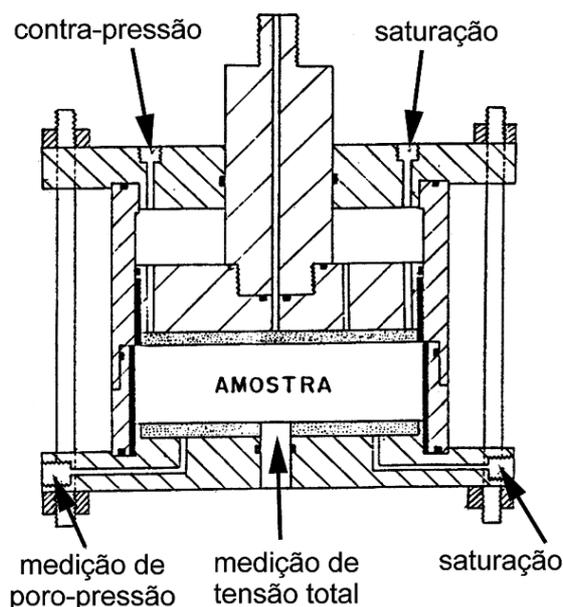
Nos ensaios de Lima (1996), a altura da amostra teve influência na relação  $\Delta u/\sigma_{total}$ , que aumentou para amostras mais espessas. O teor de umidade também influenciou nesta relação no mesmo sentido. Foi identificado um comportamento diferente do material em um menor teor de umidade em relação aos com maiores umidades, contrariando a teoria que afirma que curvas de compressibilidade e permeabilidade seriam únicas para um dado material, independente do teor de umidade inicial. A altura da amostra, porém, não influenciou estas relações. Sheahan & Watters (1997) também verificaram que o comportamento de solos não cimentados tem uma fraca dependência da taxa de velocidade do ensaio. Além disso, afirmam ter conseguido bons resultados de ensaio CRS mesmo com excessos de poropressão na base acima de 70% maiores que a tensão total.

### 6.3.2

#### Metodologia Empregada

A célula de adensamento utilizada foi a de um equipamento descrito por Guimarães (1990), e que está esquematizado na Figura 6.23. O ensaio CRD usa amostras cilíndricas com cerca de 20 cm de diâmetro e 6,0 cm de altura, e são conduzidos até um nível de tensão total entre 300 e 400 kPa. A preparação destas amostras segue uma técnica mais ou menos comum, que consiste na homogeneização do material vindo do campo, que era então deixado sedimentar

por um período mínimo de 24 horas. Depois retirava-se o líquido sobrenadante manualmente e verificava-se o teor de sólidos da lama por determinação do teor de umidade. Este teor de sólidos era ajustado, se necessário, até se chegar a uma condição inicial desejada. Se este ajuste ocorria, a amostra era novamente homogeneizada e deixada sedimentar, sendo mais tarde transferida para a célula edométrica com o auxílio de uma concha.

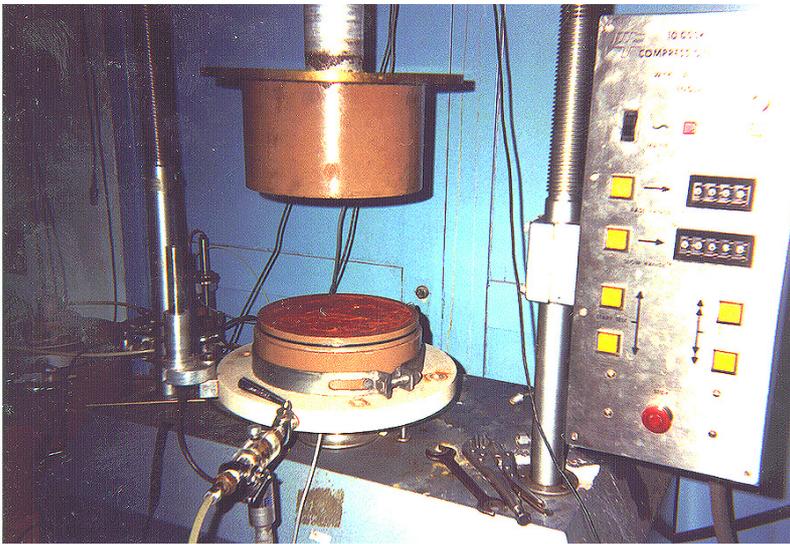


**FIGURA 6.23:** Corte Transversal do Edômetro Tipo CRD (*apud Guimarães, 1990*)

Isto feito, fechava-se o equipamento e aproximava-se o pistão de carregamento, até que o mesmo se encostasse no topo da amostra. Durante o ensaio, as poro pressões são medidas com um transdutor instalado na face não drenada, mantendo-se a drenada conectada à atmosfera. Os deslocamentos do topo da amostra são medidos com um transdutor de deslocamentos, enquanto as tensões totais, o são por meio de um transdutor de pressão total instalado na base do equipamento. Utilizou-se de um sistema de aquisição de dados de alta resolução para monitoramento automático dos ensaios.

A Figura 6.24 mostra o equipamento aberto e com uma amostra com elevado teor de sólidos, pronta para ser ensaiada. A consistência da amostra pode ser percebida e foi das mais elevadas dentro dos diferentes teores de sólidos

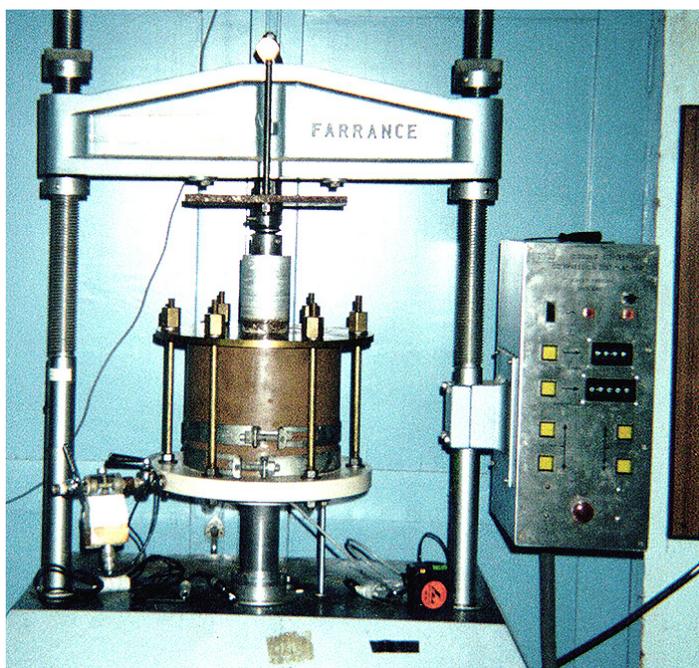
ensaiados. Sobre esta amostra, era colocado um papel filtro, previamente umedecido. Pode ser notado o transdutor de pressão da base e o LVDT, usado para checar a velocidade da prensa, que é automaticamente definida no painel lateral. A Figura 6.25 mostra o consolidômetro pronto para iniciar o ensaio, com o transdutor de poropressão envolto por uma proteção de isopor para não ser afetado por variações de temperatura. Foram realizados ensaios com duração de quatro dias e outros com apenas duas horas no mesmo material, para efeito de verificar a influência da taxa de carregamento no comportamento do resíduo.



**FIGURA 6.24:** Edômetro Tipo CRD Sendo Preparado Para Ensaio

Também foi utilizado um consolidômetro de menores dimensões, mais fácil de manusear e necessitando de menor volume de amostra. Procurou-se, com isto, verificar o efeito escala no ensaio e permitir moldagem de amostras com uma maior variação de características iniciais. Além disso, este equipamento menor permite a aplicação de um maior nível de tensão (até 2500kPa). Para efeito de diferenciação, ele foi chamado neste trabalho de CRS. Tudo foi montado à partir de uma adaptação de uma célula de adensamento convencional, instalada em prensa de ensaios triaxiais (*Ribeiro, 1992*) e esquematizado na Figura 6.26. No projeto original, a altura da amostra no CRS era de 20mm por 50mm de diâmetro. Porém, foi verificado que devido a geometria de algumas peças, como por exemplo, a ponta biselada do anel de adensamento onde a amostra ficava

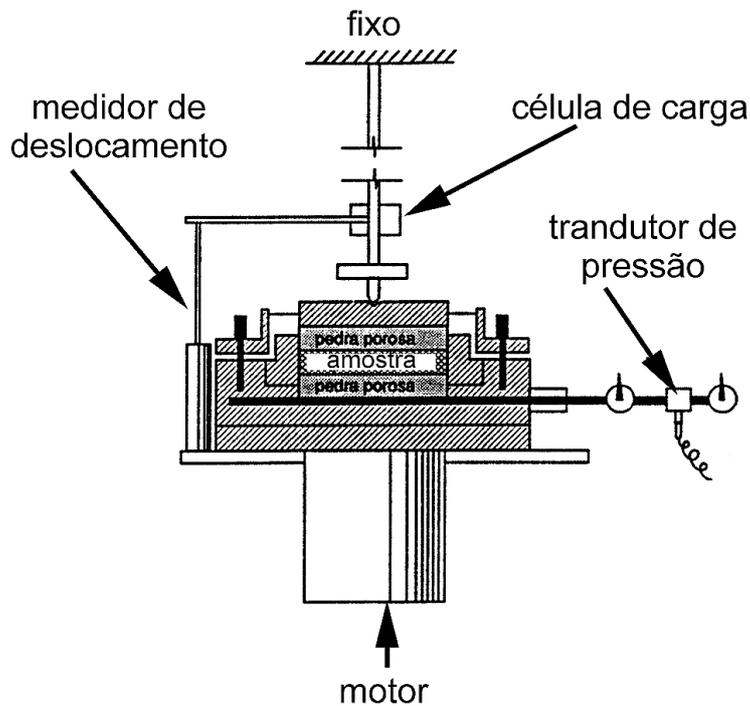
confinada, não se atingia 100% de saturação dos canais de drenagem do aparelho em função de ar aprisionado em vazios causados pela forma das peças. A suspeita disto era pelo fato de não se conseguir geração contínua de poropressão, mesmo em amostras muito moles, saturadas, e a elevadas taxas de deformação. Isto foi sanado com o preenchimento destes contatos com borracha de silicone.



**FIGURA 6.25:** Edômetro Tipo CRD pronto Para Início de Ensaio.

Mesmo com este problema sanado, optou-se por modificar todo o aparelho. Foi adotado um anel de adensamento maior, com 40mm de altura e 100mm de diâmetro, com mais canais de saturação. A transmissão de carga é feita por uma célula de carga mantida fixa às hastes da prensa, com um quepe acoplado à sua extremidade, semelhantemente ao ensaio triaxial. Este quepe possuía um anel de borracha do tipo O'Ring para impedir a saída de lama pela sua lateral, forçando que a drenagem fosse toda pela pedra porosa. O atrito quepe/anel foi medido e descontado nas análises do ensaio. Um medidor de poropressão na base e um LSCT completam a instrumentação. A Figura 6.27 mostra uma câmara de adensamento desmontada e outra, montada. Pode-se perceber o anel sobre uma base com a pedra porosa coberta por papel filtro e duas válvulas de drenagem, uma para acoplar o transdutor e outra para saturação. Há uma peça de alumínio

que fixa o anel à base, vedando-o com anéis de borracha, e o quepe, com parafuso no topo para ser rosqueado à célula de carga. Na Figura 6.28, é visto o equipamento com uma amostra pronta para ser ensaiada e na Figura 6.29, o teste em andamento.



**FIGURA 6.26:** Corte Transversal do Edômetro Tipo CRS (Ribeiro, 1992)



**FIGURA 6.27:** Edômetro Tipo CRS Desmontado.



**FIGURA 6.28:** Edômetro Tipo CRS Sendo Preparado Para Início de Ensaio.



**FIGURA 6.29:** Ensaio em Andamento no Edômetro Tipo CRS

A moldagem das amostras usadas no CRS foi feita de acordo com o mesmo procedimento usado no ensaio tipo CRD. As condições iniciais foram variadas. Algumas vezes, retirou-se material ensaiado no CRD, conduzindo-o logo em seguida ao CRS. Em outras, deixou-se o material sedimentar após homogeneização e secar ao ar, até atingir uma consistência que permitisse a moldagem. O mesmo foi feito com material seco em estufa por períodos diversos de tempo. Outras vezes ainda, o mesmo material era colocado simultaneamente no CRD e CRS e ensaiados à mesma velocidade, para verificação direta do efeito de escala no resultado.

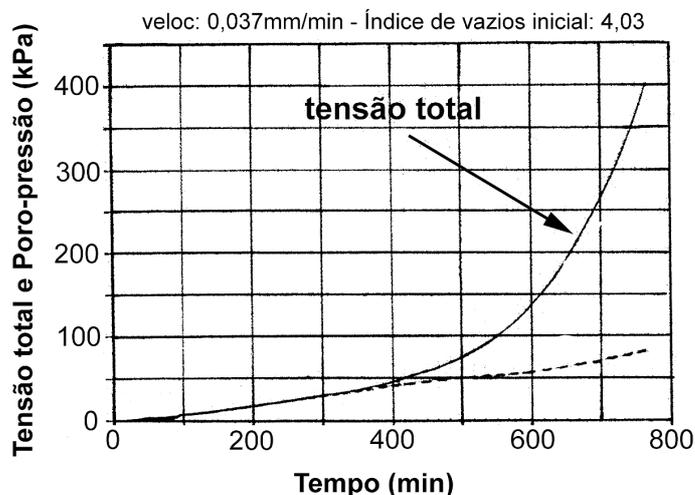
As velocidades de ensaio nos dois tipos de equipamento eram determinadas experimentalmente, de acordo com os resultados obtidos, fazendo-se a pesquisa da razão entre as poropressões geradas na base e as tensões verticais. Estes resultados foram analisados de acordo com o método sugerido por Martinez e outros (1987), que conduz a respostas quase idênticas aos do método de Wissa e outros (1971) e também o método de Znidarcic e outros (1986), mais rigoroso, ao menos com relação à compressibilidade, conforme comprovado por Barbosa e

outros (1996). Foram obtidas desta maneira, as curvas de variação do índice de vazios com a tensão efetiva e a permeabilidade.

### 6.3.3

#### Resultados de Alguns Ensaio

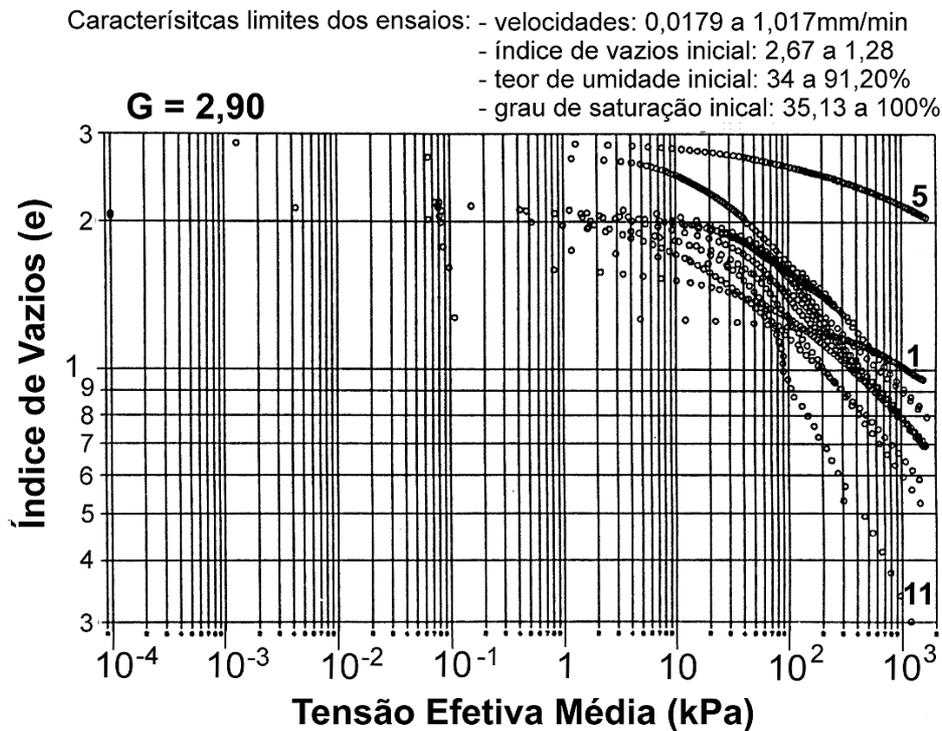
A Figura 6.30 mostra um resultado típico de um ensaio obtido pelo equipamento CRD/CRS. Para este caso, pode ser percebido que quase até a metade do ensaio, não houve tensão efetiva, sendo toda a tensão suportada pelo fluido. Somente após uma certa deformação e aproximação maior dos grãos, é que a amostra passou a apresentar tensão total diferente da poropressão. Serão apresentados resultados de ensaios executados na lama de lavagem de bauxita, na lama vermelha SL e lama vermelha PC.



**FIGURA 6.30:** Resultado Típico de Ensaio CRD

A Figura 6.31 mostra o resultado de treze ensaios CRS realizados na lama de lavagem de bauxita. Estão representados aí uma faixa de variação de velocidade de 0.0179mm/min a 1.017mm/min, com as condições iniciais das amostras as mais variadas, desde de não saturada até completamente amolgadas. O índice de vazios inicial variou de 1.28 a 2.87, o grau de saturação, 35% a 100%. O

objetivo de plotar todos juntos foi para definir uma faixa de variação esperada para os resultados.



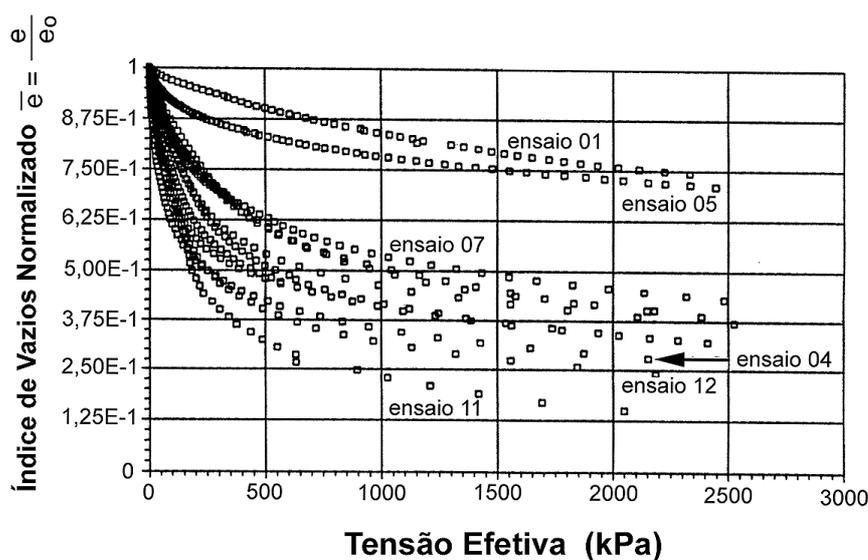
**FIGURA 6.31:** Resultados de Ensaio CRS na Lama De Lavagem De Bauxita: Relação Índice de Vazios contra Tensão Efetiva

Todas as curvas tem um formato semelhante, sendo cada uma constituída de duas inclinações. Uma, mais suave, para maiores índices de vazios, correspondente a um estado da lama onde provavelmente há pouco contato entre as partículas. O outro, mais acentuado, já é um estágio onde se pode afirmar haver um “solo” realmente. Estão demarcados três ensaios, o ensaio 01, o 05 e o 11, cujas curvas se diferenciaram das demais. Pode-se notar que, exceto estas, todas as outras tem inclinações semelhantes e não estão muito dispersas. Nos ensaios com respostas mais semelhantes entre si, só se variou as condições iniciais, tipo índice de vazios e se houve ou não inundação ao longo do ensaio, a título de verificar se ocorria alguma mudança de comportamento. Nos testes assinalados, porém, condições especiais foram criadas, que serão descritas logo à seguir.

O ensaio 01 foi executado em uma amostra saturada, pré adensada a 300kPa. É possível notar como é menor a inclinação de sua curva em relação aos

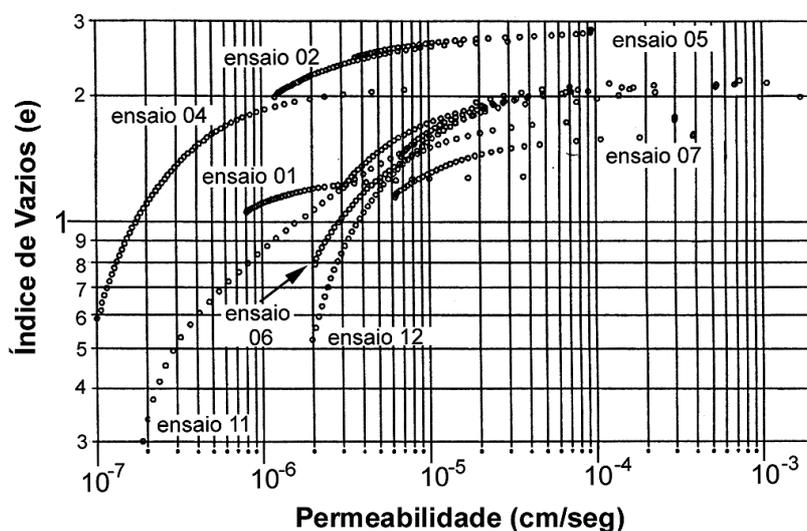
outros ensaios. O ensaio 05 foi executado em uma amostra não saturada, seca em estufa por um período de tempo até que atingisse o grau de saturação de aproximadamente 35%. Interessante notar que o ressecamento faz com a curva de compressibilidade fique aparentemente paralela ao do solo pré adensado (ensaio 1), indicando um comportamento similar, como já havia sido percebido nos ensaios de secagem. E o ensaio 11 foi executado em uma amostra saturada, com a qual não se teve cuidado nenhum em prepará-la, amolgando-a deliberadamente, além de ter sido executado na maior taxa de carregamento (1,017mm/min). É ela que apresenta a maior compressibilidade, não só apresentando um maior volume de vazios, mas também com um índice de compressão distinto das demais curvas, especialmente em níveis de tensão até 100kPa.

Para melhorara a visualização destes resultados, foi feita uma normalização em relação ao índice de vazios inicial, apresentada na Figura 6.32. Estas curvas passam a indicar, agora, a relação entre o volume de vazios no instante  $t$  em relação ao volume de vazios inicial. Pode ser notado que o ensaio pré adensado se torna o limite superior da figura, o que apresenta a menor variação de volume, seguido pelo ensaio não saturado. O ensaio em amostra amolgada é o mais variou de volume. Os outros ensaios apresentam maior variação em função do seu índice de vazios inicial.



**FIGURA 6.32:** Resultados de Ensaio CRS na Lama De Lavagem De Bauxita: Relação Índice de vazios Normalizado Contra Tensão Efetiva.

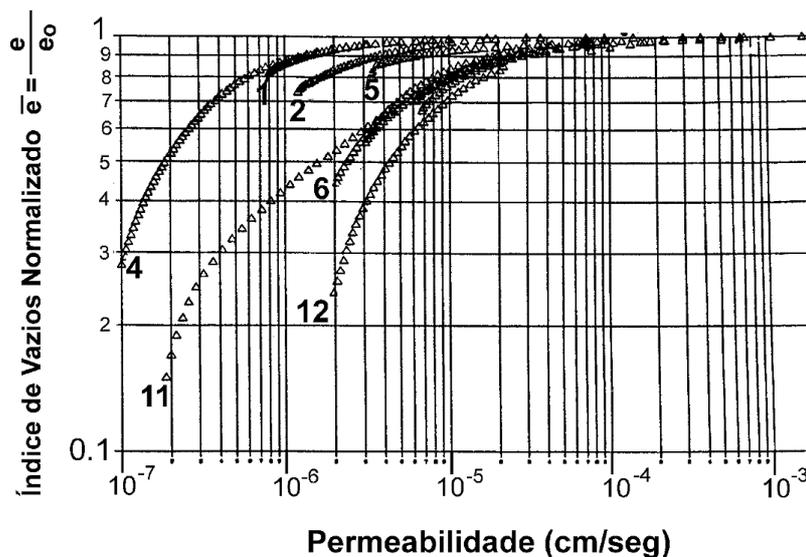
Para a permeabilidade, pode ser vista a grande variação entre os resultados na Figura 6.33. A Figura 6.34 está normalizada em relação ao índice de vazios inicial. A diferença entre eles pode se dever principalmente à variação nas condições de geração de poropressão, ou seja, na relação entre os excessos de poropressão em relação à tensão total na base. É sabido que esta é uma relação importante de ser acompanhada e era sugerida de ser em torno de 5% por Wissa et al., 1971 e recomendada de não ultrapassar 30% (Sheahan & Watters, 1997).



**FIGURA 6.33:** Resultados de Ensaio CRS na Lama De Lavagem De Bauxita: Relação entre Índice de Vazios e Permeabilidade

Os ensaios 02 e 04 estão se destacando dos demais, se aproximando dos valores obtidos para os ensaios 01 e 05 como limite inferior de permeabilidade. Eles tiveram uma diferença de quatro vezes na velocidade de ensaio, o 04 sendo executado mais rápido. O ensaio 02 apresentou uma relação entre os excessos de poropressão e a tensão total máxima de 7%. Já o ensaio 04 foi feito inundado e teve relação entre os excessos de poropressão na base para a tensão total de 50%. O modo diferenciado de geração de poropressão entre estes ensaios provavelmente deve ter proporcionado estas diferenças no cálculo da permeabilidade, mostrando que a definição correta da taxa de carregamento é bastante importante para se conseguir cálculos uniformes deste parâmetro. O ensaio 01 é o ensaio pré adensado e o ensaio 05, o não saturado, do qual não se

espera obter uma correlação adequada, uma vez que o tipo de análise que foi efetuada é para solos saturados. O restante dos ensaios, tirando o 11, em amostra amolgada, que apresentou relação entre os excessos de poropressão pela tensão na base de 88%, apresentaram uma resposta satisfatoriamente semelhante, ainda mais quando se visualiza pelo gráfico normalizado. O ensaio 12 também apresentou uma relação entre poropressão na base pela tensão total ( $u/\sigma$ ) de 70%, o que pode explicar o fato de também estar um tanto afastado das demais curvas. A Tabela 6.3 resume alguns dados destes ensaios. Os ensaios 03, 09 e 13 não tiveram as permeabilidades calculadas por não terem gerado poropressão. O ensaio 10, mesmo com a elevada relação  $\Delta u/\sigma_{\text{total}}$  apresentou resultados compatíveis com os demais.



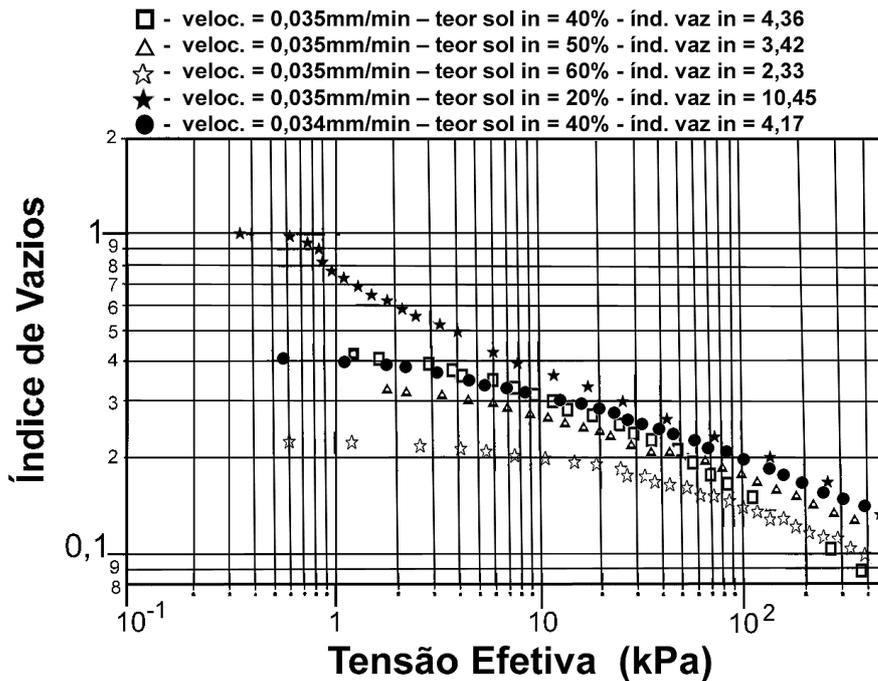
**FIGURA 6.34:** Ensaio CRS na Lama De Lavagem De Bauxita: Índice de Vazios Normalizado Contra a Permeabilidade.

A Figura 6.35 mostra ensaios feitos à mesma velocidade (0,035mm/min) em amostras com diferentes teores de sólidos iniciais, do tipo CRD, ou seja, com amostras de maiores dimensões. Pode ser visto que, após um certo índice de vazios, que deve ser relacionado com o nível de contato intergranular de cada lama, elas tenderiam para curvas de compressibilidade bem semelhantes. Estes mesmos resultados estão normalizados de modo a representarem a variação do

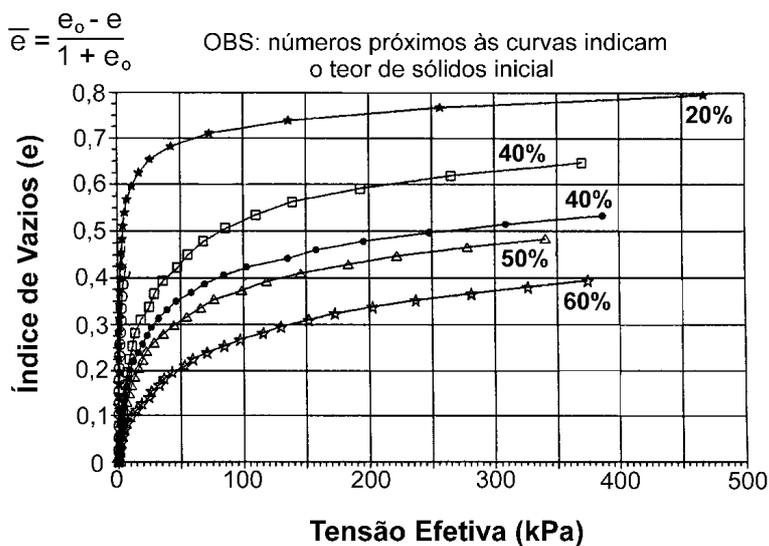
volume total no instante  $t$  em relação ao volume total inicial, como pode ser visto na Figura 6.36. Pode ser percebido aí que quanto maior o teor de sólidos, menor a variação de volume, tendendo todas as curvas a uma mesma taxa de variação após um determinado nível de tensão, que deve estar relacionado ao nível de contato intergranular, ou seja, a partir do momento que a lama se torna mesmo um solo. Por este tipo de curva, nota-se que o nível de tensão necessário para provocar uma certa variação de volume é muito menor nos ensaios com menor teor de sólidos inicial, o que era de se esperar. A diferença observada entre os dois ensaios com teor de sólidos a 40% deve ser devido à diferença entre os índices de vazios inicial e também, a uma pequena diferença no valor da densidade dos grãos das duas amostras (2,87 e 2,94). Os valores de  $\Delta u/\sigma_{total}$  nestes ensaios variaram de 5,6% a 22%.

**TABELA 6.2:** Características dos ensaios CRS realizados na lama de lavagem de bauxita comparados nas Figuras 6.31 a 6.34.

ENSAIO	VELOC. (mm/min)	$e_0$	$W_{inicial}$ (%)	S (%)	Relação Máxima entre $\Delta u/\sigma_{total}$	OBS.
01	0.0219	1.28	44.51	100	2%	pré-adensada 300kPa. Ensaio inundado
02	0.0179	2.69	91.21	100	7%	Sem inundação
03	0.0427	2.05	71.5	100	Sem poropressão	Sem inundação
04	0.0862	2.1	76.3	100	50%	Ensaio inundado
05	0.0565	2.87	34	35.13	2,3%	Seco em estufa antes do ensaio.
06	0.1802	1.78	60	100	10%	Ensaio inundado
07	0.0233	1.62	58.25	100	15%	Ensaio inundado, amostra pouco amolgada
08	0.318	2.13	73.56	100	45%	Ensaio não inundado
09	0.4137	2.14	73.9	100	Sem poropressão	Sem inundação
10	0.644	2.15	73.63	100	125%	Sem inundação
11	1.0170	1.99	69.46	100	88%	Sem inundação, amostra muito amolgada
12	0.4386	2.18	72.78	100	70%	Sem inundação
13	0.9117	2.08	71.98	100	Sem poropressão	Ensaio inundado



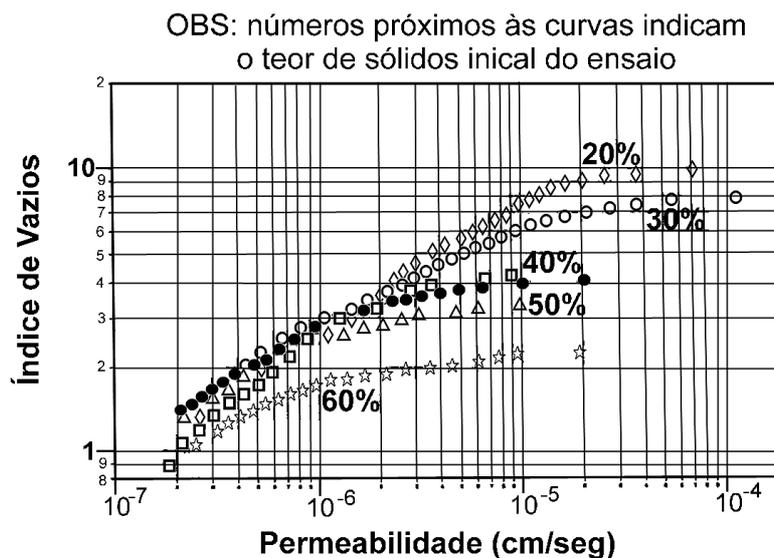
**FIGURA 6.35:** Resultados de Ensaio CRD na Lama De Lavagem De Bauxita: Compressibilidade.



**FIGURA 6.36:** Resultados de Ensaio CRD na Lama De Lavagem De Bauxita: Compressibilidade - Curvas Normalizadas

Os resultados de permeabilidade estão na Figura 6.37, mostrando que há uma tendência para uma mesma relação, ou seja os resultados foram menos dispersos, provavelmente por não terem apresentado entre si, diferenças

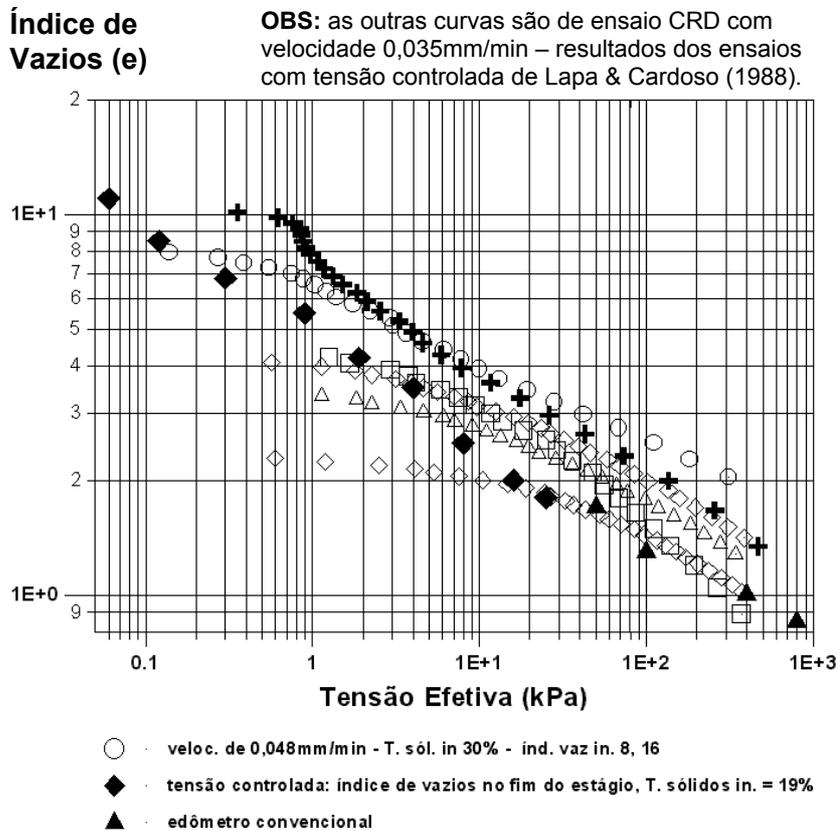
significativas na relação  $\Delta u/\sigma_{total}$ . A Figura 6.38 apresenta resultados de edômetro convencional juntamente com ensaios de tensão controlada obtidas por outros pesquisadores (Lapa & Cardoso, 1988) e os do CRD. Não foi informada as condições da amostra no ensaio convencional. Também pode ser admitida um relação de compressibilidade próxima fornecida pelas diferentes técnicas, ainda mais se for considerado que se tratam de amostras de diferentes reservatórios, ou seja, diferentes entre si. Os resultados foram muito mais influenciados pelas suas condições iniciais. Nesta figura também está plotado um ensaio CRD com velocidade ligeiramente superior aos demais. Ele apresentou como resposta uma inclinação diferenciada, podendo ser uma influência da taxa de deformação na relação  $\Delta u/\sigma_{total}$ .



**FIGURA 6.37:** Resultados de Ensaio CRD na Lama De Lavagem De Bauxita – Permeabilidade.

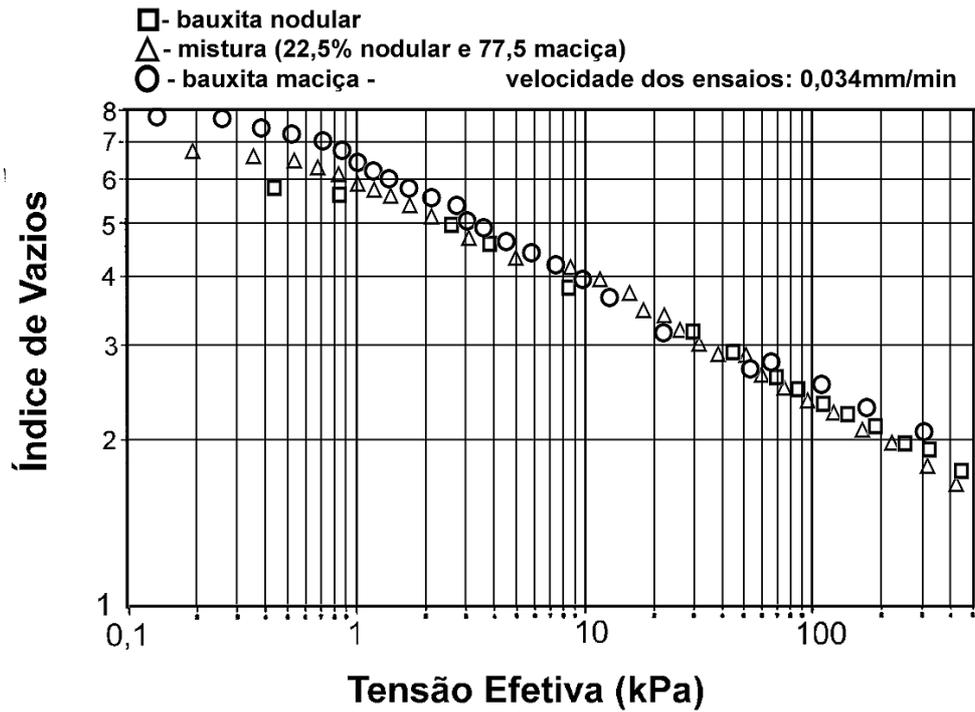
A Figura 6.39 mostra uma comparação entre três diferentes lamas de lavagem, ensaiadas à mesma velocidade. Trata-se, na verdade, da mesma bauxita de origem, sendo que o que é chamado de bauxita nodular, nada mais que a camada que recobre a jazida de bauxita economicamente explorável, a bauxita maciça. Neste gráfico, a lei de compressibilidade foi praticamente idêntica,

indicando a pouca diferença entre estes materiais. As relações de permeabilidade estão na Figura 6.40, sendo igualmente muito parecidas entre si.

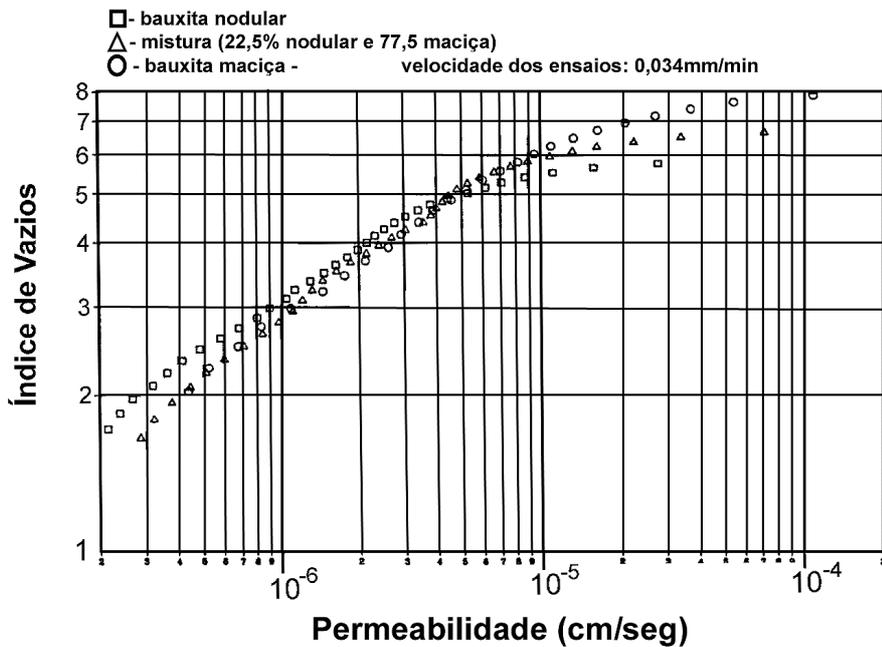


**FIGURA 6.38:** Comparação Entre Diferentes Ensaio na Determinação da Compressibilidade da Lama De Lavagem De Bauxita.

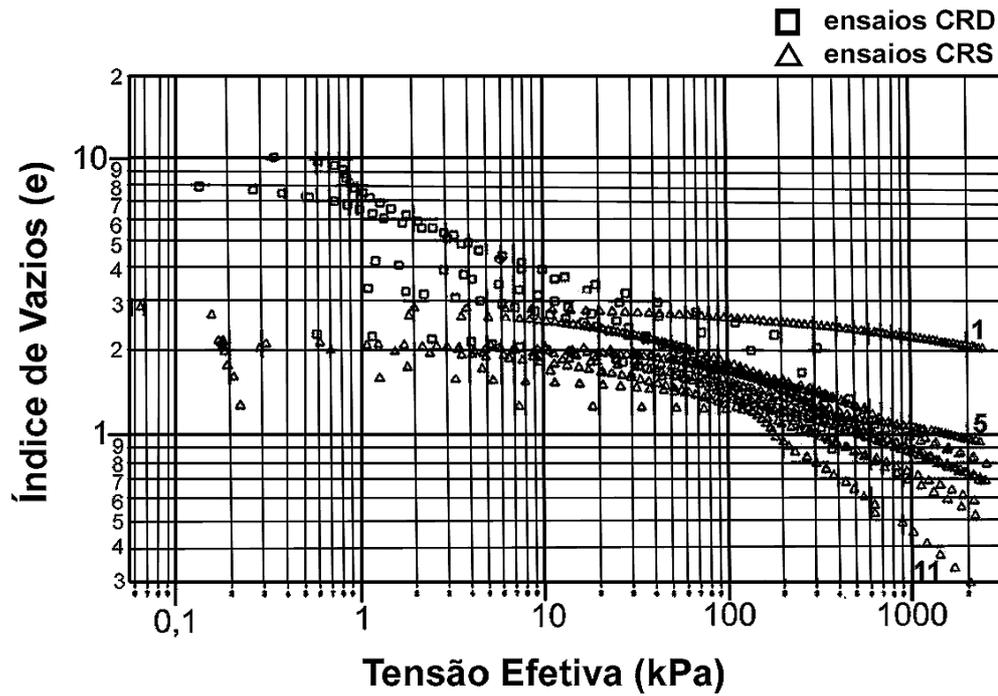
A Figura 6.41 permite ter uma idéia do efeito escala da amostra usada no ensaio. Estão plotados aí valores do ensaio CRS (menores dimensões) e do CRD (maiores dimensões). Os teores de sólidos iniciais são os mais diversos. No caso dos ensaios CRS, os dados iniciais são aqueles da Tabela 6.3. Os do CRD são os mesmos da Figura 6.35. Tirando os ensaios feitos em material pré adensado (01); o não saturado (05) e o amolgado (11), todos os outros parecem conduzir a uma relação muito próxima, após se atingir um certo nível de tensão ou índice de vazios. Na Figura 6.42 foram incluídos resultados da bauxita nodular, eliminados os ensaios tipo CRS número 01, 05, 11. Esta figura fica, portanto, representando preliminarmente a lei de compressibilidade da lama de lavagem de bauxita.



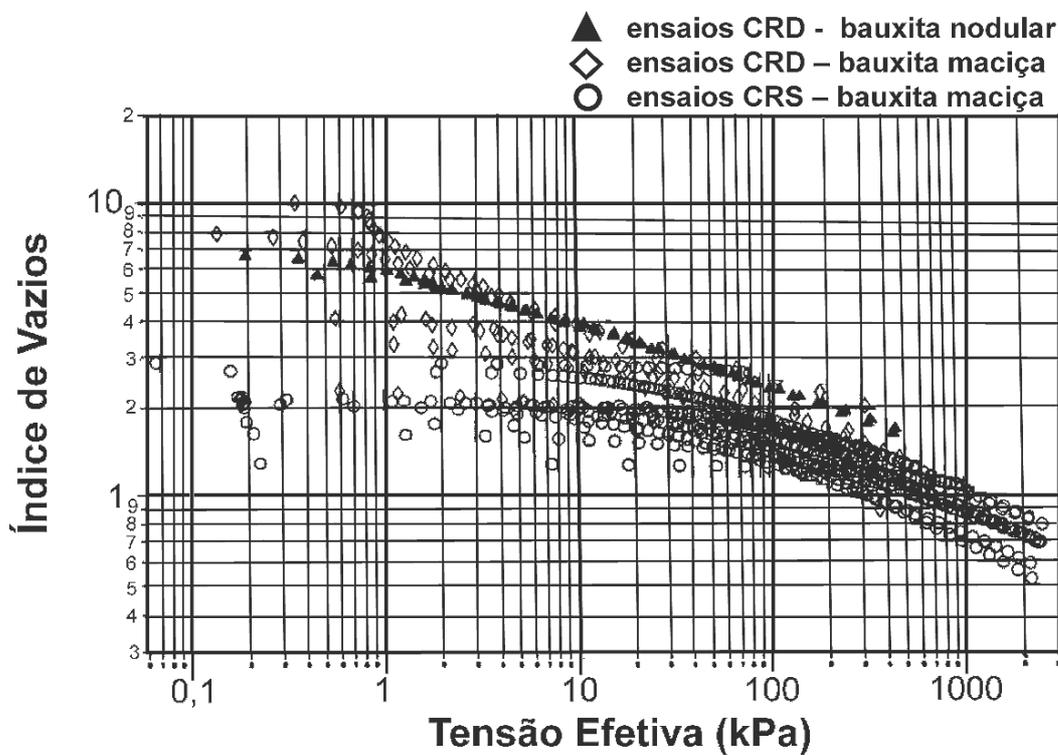
**FIGURA 6.39:** Resultados de Ensaio CRD em Diferentes Resíduos de Lavagem de Bauxita: Curvas de Compressibilidade



**FIGURA 6.40:** Resultados de Ensaio CRD em Diferentes Resíduos de Lavagem de Bauxita: Curvas de Permeabilidade.

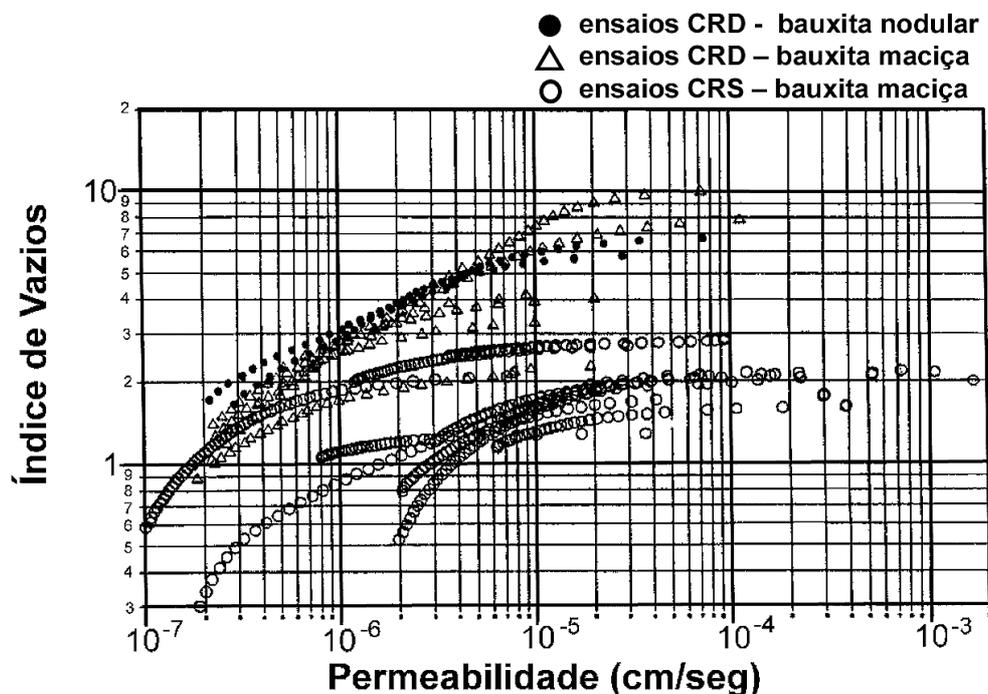


**FIGURA 6.41:** Comparação Entre Resultados de Ensaio CRS e CRD em Resíduos de Lavagem de Bauxita: Curvas de Compressibilidade.

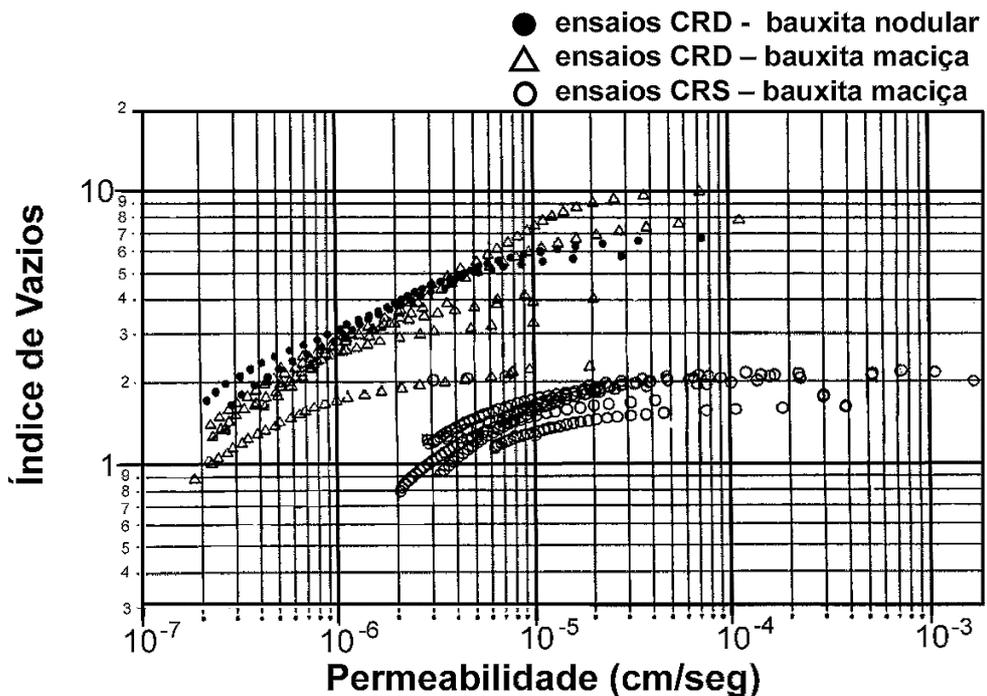


**FIGURA 6.42:** Comparação Entre Resultados de Ensaio CRS e CRD em Resíduos de Lavagem de Bauxita: Curva de Compressibilidade Final.

A Figura 6.43 apresenta a comparação entre as leis de permeabilidade obtida dos mesmos ensaios. Neste caso, a dispersão é grande, principalmente pela diferença existente nas relações entre os excessos de poropressão em relação à tensão total na base, esta por sua vez uma função da taxa de carregamento, e o método de análise tem o cálculo da permeabilidade muito vinculado a este fator. Há uma clara indicação de que os valores obtidos em equipamento de maior dimensão conduz a menores valores de permeabilidade. E como os ensaios realizados neste equipamento apresentaram uma distribuição de poropressões mais uniforme, a tendência é considerá-los como base para a definição da lei de permeabilidade. Na Figura 6.44 estão os resultados após se eliminar os ensaios do tipo CRS 01, 05 e 11, por apresentarem condições iniciais muito diferenciada dos demais, e os ensaios 04, 08, 10 e 12, por apresentarem relações de poropressão com a tensão na base muito elevadas. As curvas restantes tendem a apresentar uma taxa de variação da permeabilidade com o índice de vazios semelhante e provavelmente, os valores fornecidos pelo ensaio CRD estarão mais perto dos reais pelas razões já explicadas. O que se recomenda é a execução de ensaios do tipo HCT para que o parâmetro seja melhor definido.



**FIGURA 6.43:** Resultados de Ensaio CRS e CRD em Resíduos de Lavagem de Bauxita: Curva de Permeabilidade.

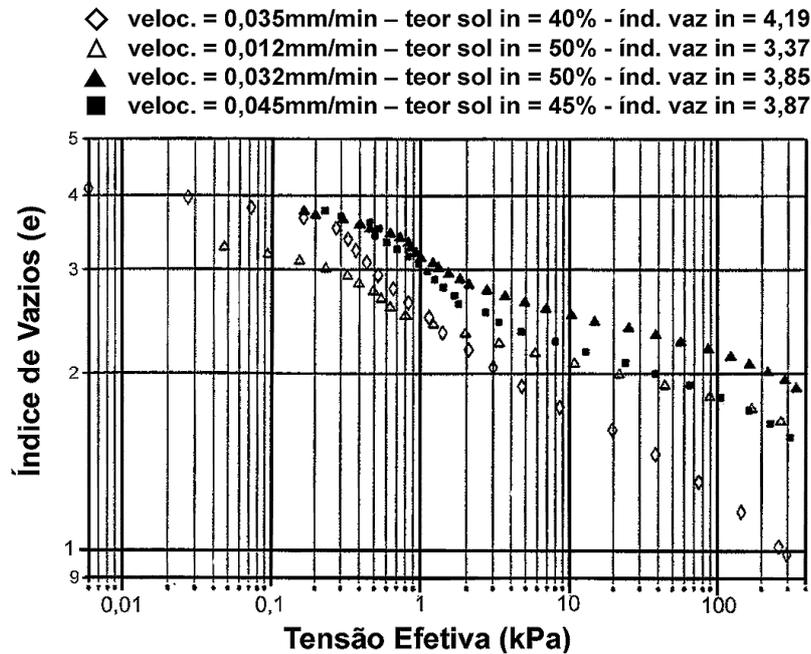


**FIGURA 6.44:** Resultados de Ensaio CRS e CRD em Resíduos de Lavagem de Bauxita: Curva de Permeabilidade Final.

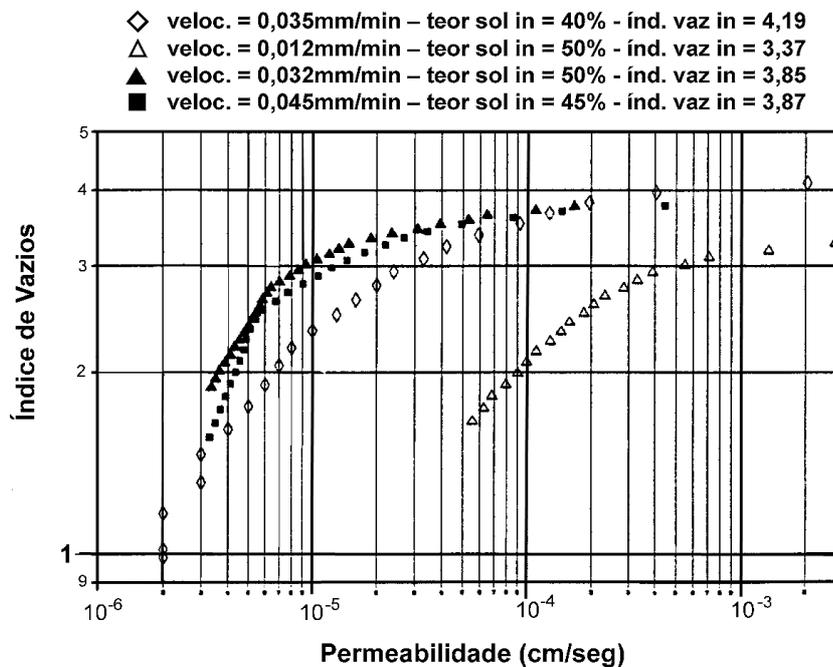
Alguns resultados obtidos com lama vermelha SL são mostrados nas Figuras 6.45 e 6.46. Eles se apresentam dispersos, e como foram executados em amostras retiradas de diferentes profundidades do reservatório de disposição, pode haver diferenças em suas propriedades apesar de terem sido calculados como se fossem o mesmo material, o que justificaria a dispersão dos resultados. Pela Figura 6.47, o gráfico com curvas normalizadas, pode ser visto que os ensaios com o mesmo teor de sólidos inicial tenderiam para uma mesma curva de variação de volume total em relação ao inicial, o que seria de se esperar.

As Figuras 6.48 e 6.49 mostram valores obtidos de ensaios realizados na lama vermelha PC. Há uma tendência das curvas de compressibilidade apresentarem a mesma inclinação especialmente após uma tensão efetiva de 10kPa, apesar dos teores de sólidos iniciais diferentes. Acredita-se que a boa concordância se deve principalmente ao fato de ter executado todos os testes na mesma velocidade. No caso da permeabilidade, um dos ensaios teve um comportamento totalmente diferenciado dos demais, para o que não se tem explicação aparente. A Figura 6.50 mostra o gráfico normalizado, indicando que

testes com teores de sólidos iniciais próximos têm deformação volumétrica total semelhante, atingindo o mesmo índice de vazios normalizado final.



**FIGURA 6.45:** Resultados de Ensaio CRD na LAMA VERMELHA SL: Curvas de Compressibilidade.



**FIGURA 6.46:** Resultados de Ensaio CRD na LAMA VERMELHA SL: Curvas de Permeabilidade

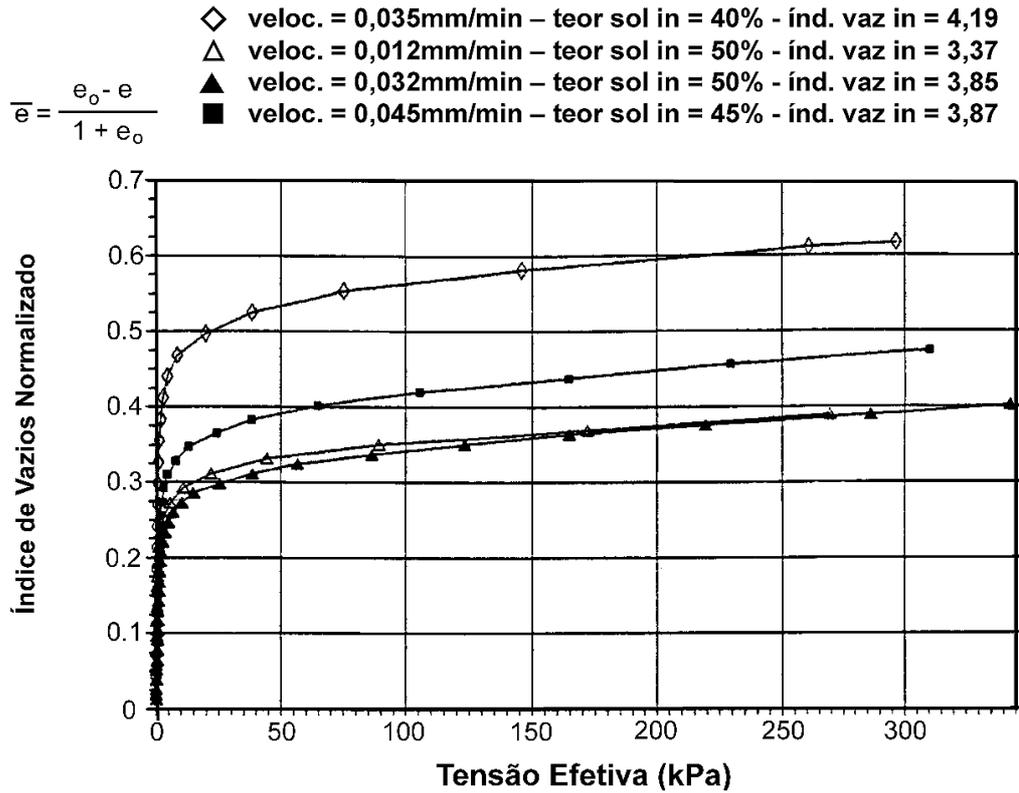


FIGURA 6.47: Resultados de Ensaio CRD na LAMA VERMELHA SL: Curvas de Compressibilidade Normalizadas

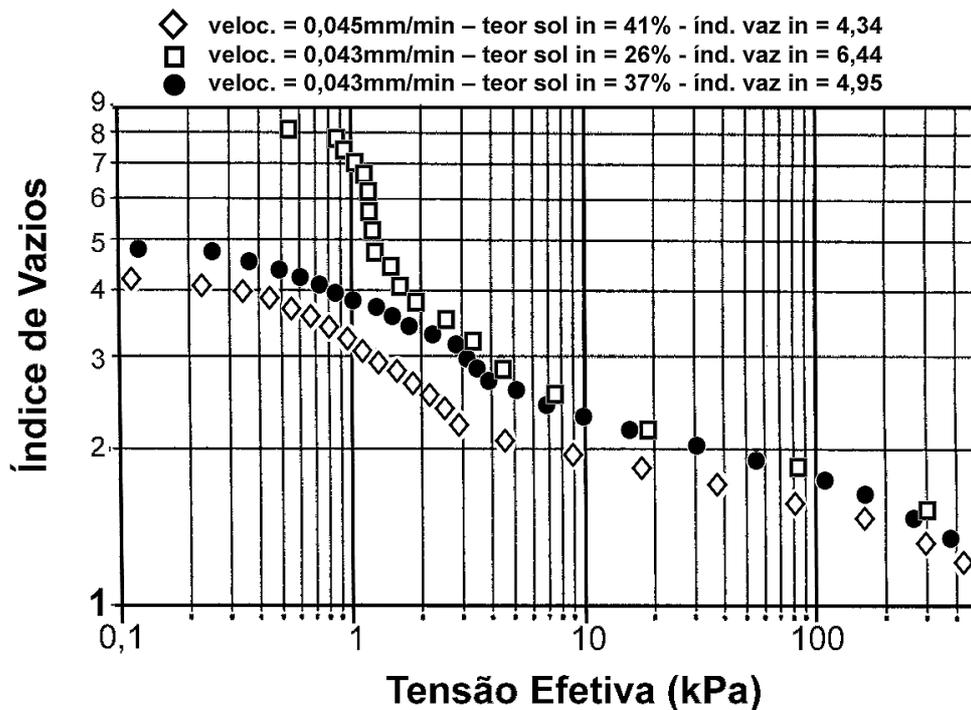


FIGURA 6.48: Resultados de Ensaio CRD na LAMA VERMELHA PC: Curvas de Compressibilidade.

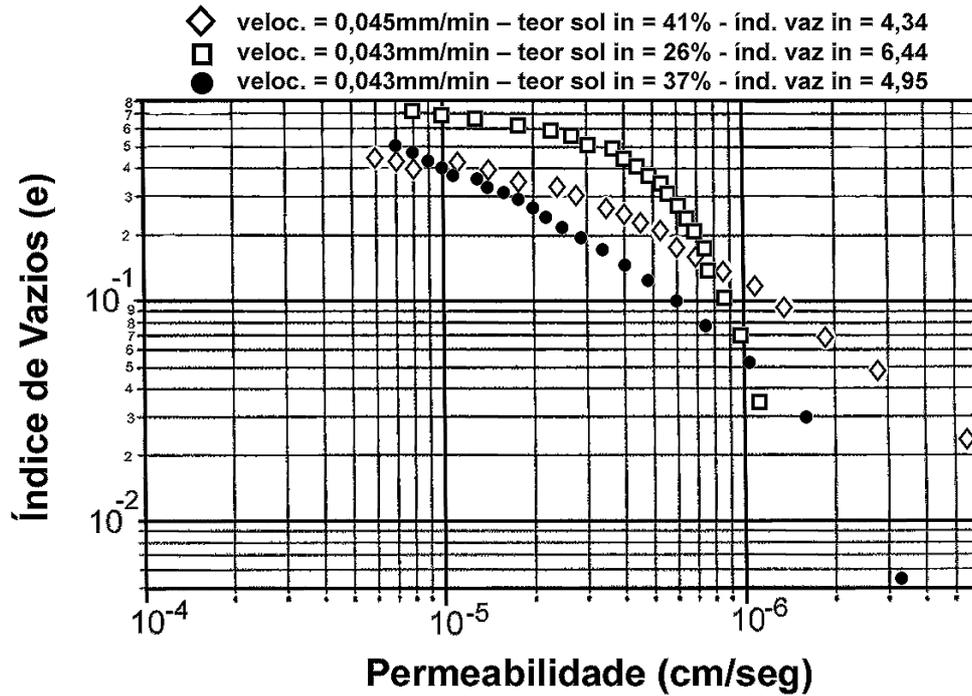


FIGURA 6.49: Resultados de Ensaio CRD na LAMA VERMELHA PC: Curvas de Permeabilidade.

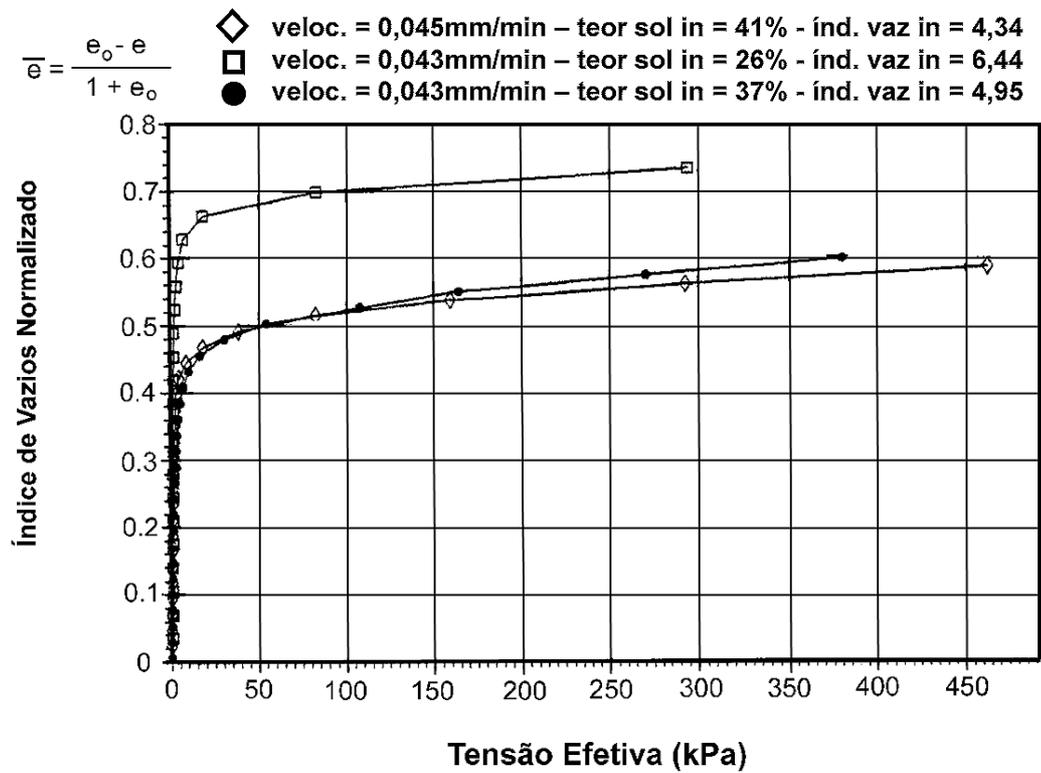
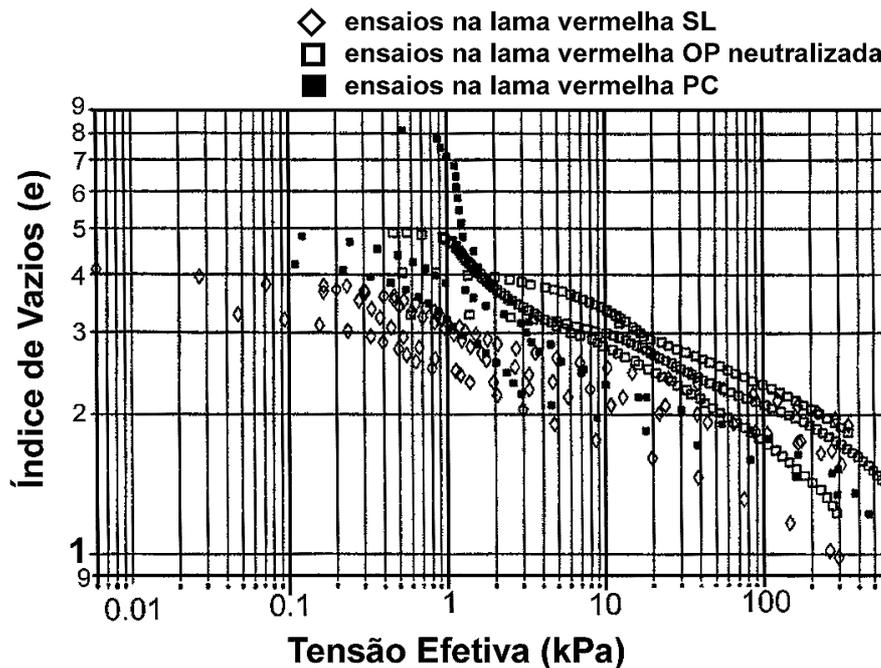


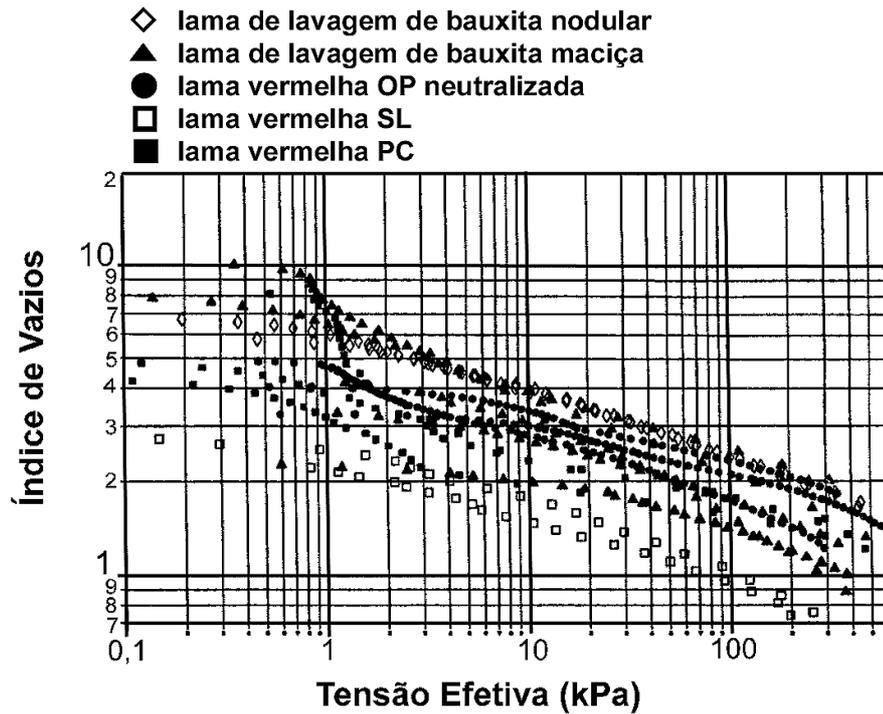
FIGURA 6.50: Resultados de Ensaio CRD na LAMA VERMELHA PC: Curva de Compressibilidade Normalizada

A Figura 6.51 mostra uma comparação entre os valores obtidos para três diferentes lamas de processamento, originadas de jazidas diversas e portanto, não possuindo exatamente as mesmas características. O intuito é só o de delimitar uma faixa de variação das curvas de compressibilidade destes materiais. Por ela, pode se ver que a inclinação da curva é bem próxima após um certo nível de tensão (em torno de 10kPa).

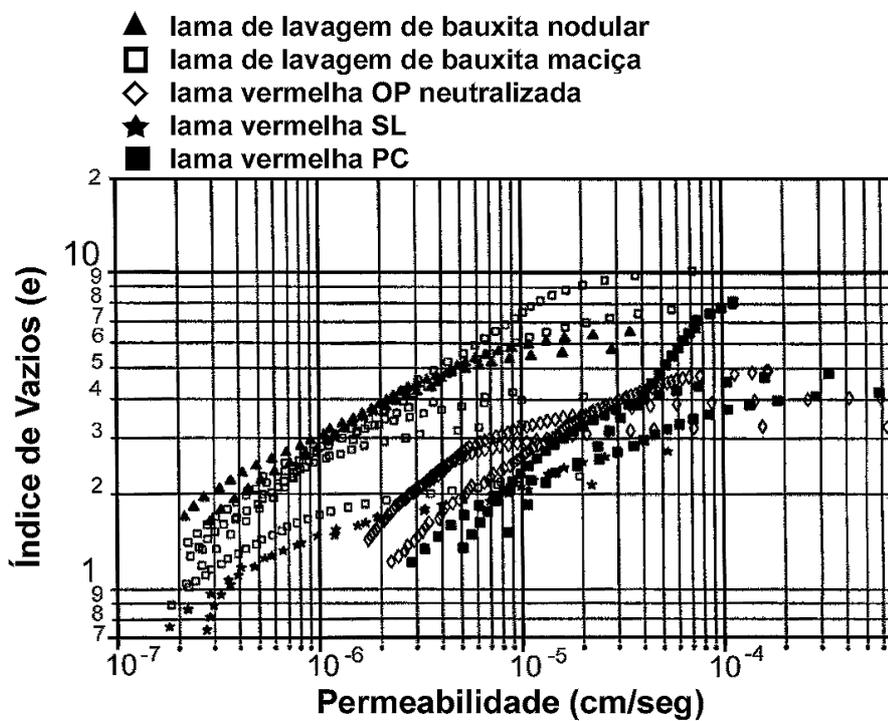


**FIGURA 6.51:** Comparação Entre Resultados de Ensaio CRD em Lamas de Processamento de Bauxita: Curva de Compressibilidade.

Para ampliar a faixa de comparação, todos os resultados da lama de lavagem foram plotados junto com as de processamento. Isto pode se visto nas Figuras 6.52 e 6.53. Apesar da grande diversidade de condições iniciais de ensaio e propriedades dos materiais, pode ser percebido que tanto a inclinação das curvas de compressibilidade como as de permeabilidade, salvo casos extremos como a não saturação, por exemplo, não foram tão diferentes assim, sendo possível a definição de valores médios à título de uma primeira aproximação para um anteprojeto. Para uma melhor definição especialmente da permeabilidade, são recomendados o uso de ensaios do tipo HCT, especialmente porque a definição deste parâmetro via ensaios do tipo CRD se mostrou muito sensível à taxa de carregamento utilizada.



**FIGURA 6.52:** Resultados de Ensaio CRD Para Resíduos de Mineração e Processamento de Bauxita: Curva de Compressibilidade.



**FIGURA 6.53:** Resultados de Ensaio CRD Para Resíduos de Mineração e Processamento de Bauxita: Curvas de Permeabilidade.

## 6.4

### Conclusões

Neste capítulo foram discutidas e apresentadas as curvas de compressibilidade e permeabilidade da fase saturada dos resíduos. A determinação destas características foi feita via ensaios de laboratório, especialmente os do tipo deformação controlada. Foram também apresentados dados da literatura sobre resultados de ensaios do tipo HCT em um dos rejeitos aqui estudados.

Como conclusão preliminar, pode ser considerada que a determinação das curvas de compressibilidade por meio do ensaio CRD foi satisfatória, tendo sido mostrado que os resultados deste tipo de ensaio se ajustam bem a outros tipos, como o HCT, o ensaio de coluna e o edométrico convencional. Porém, no tocante à permeabilidade, um estudo mais aprofundado das taxas de carregamento aplicadas deve ser realizado, já que o cálculo deste parâmetro é altamente sensível à condição de ensaio. Portanto, para a determinação das leis de permeabilidade, fica sugerido o uso de ensaios do tipo HCT, que apresentaram boa concordância mesmo entre os resultados obtidos por diferentes pesquisadores.

As relações de compressibilidade e permeabilidade da lama vermelha OP neutralizada são consideradas de estarem bem estabelecidas. Para a lama vermelha OP não neutralizada foi admitido ela possuir as mesmas características da lama neutralizada nesta primeira análise. Porém, mais estudos deverão ser realizados para confirmar este comportamento. Com relação à compressibilidade da lama de lavagem, também está sendo aceito que a sua compressibilidade está razoavelmente bem definida, faltando, contudo, maiores estudos para a permeabilidade, já que os resultados obtidos, apesar de mostrarem uma semelhança com relação à sua taxa de variação com o índice de vazios, foram muito dispersos. No caso das lama vermelha SL e PC, foram muito poucos os ensaios realizados e um estudo mais aprofundado seria necessário para se chegar a uma conclusão. Resultados preliminares foram apresentados para os dois resíduos em questão, e que já permitem uma primeira estimativa.