

7

Análise e Interpretação dos Resultados

Este capítulo é destinado à apresentação dos resultados das análises e interpretações feitas para os ensaios de cisalhamento direto convencional, de cisalhamento direto com sucção controlada e de compressão diametral.

Inicialmente é apresentada uma análise sobre aspectos de compressibilidade do material, tanto dos ensaios com amostras submersas quanto com amostras não-saturadas. Para isso, são analisados os efeitos da tensão normal e da sucção mátrica no índice de vazios dos corpos de prova.

No que se refere à resistência ao cisalhamento, é apresentado o critério de definição de ruptura utilizado para a determinação das envoltórias de resistência. Posteriormente são avaliados os parâmetros de resistência e como estes são influenciados pela sucção. Em seguida é determinada a equação geral de ruptura e plotada a envoltória de resistência considerando as duas variáveis independentes. Outro aspecto analisado é a influencia da velocidade de cisalhamento nos ensaios de cisalhamento direto com sucção controlada.

Também é apresentada, neste capítulo, uma comparação entre a envoltória de resistência obtida e a estimada utilizando equações simplificadas baseadas no uso da curva característica. Depois é mostrada uma comparação dos resultados obtidos do solo estudado com outros materiais encontrados na literatura.

Por último é feita uma avaliação da resistência à tração do solo, levando-se em conta a umidade, o grau de saturação e a sucção mátrica. Em seguida é feita uma correlação dos valores obtidos da resistência a tração com a coesão aparente obtida através dos resultados de cisalhamento direto com sucção controlada.

7.1.

Compressibilidade do Material

7.1.1.

Amostras submersas

Para a representação das características de compressibilidade do material, foi plotada, na figura 63, a variação do índice de vazios dos corpos de provas obtidos no final da fase de adensamento em função da tensão normal aplicada. Como era de se esperar, a variação do índice de vazios aumenta conforme aumenta a tensão normal aplicada. Os dados foram bem ajustados a uma função logarítmica que descreve bem esse comportamento.

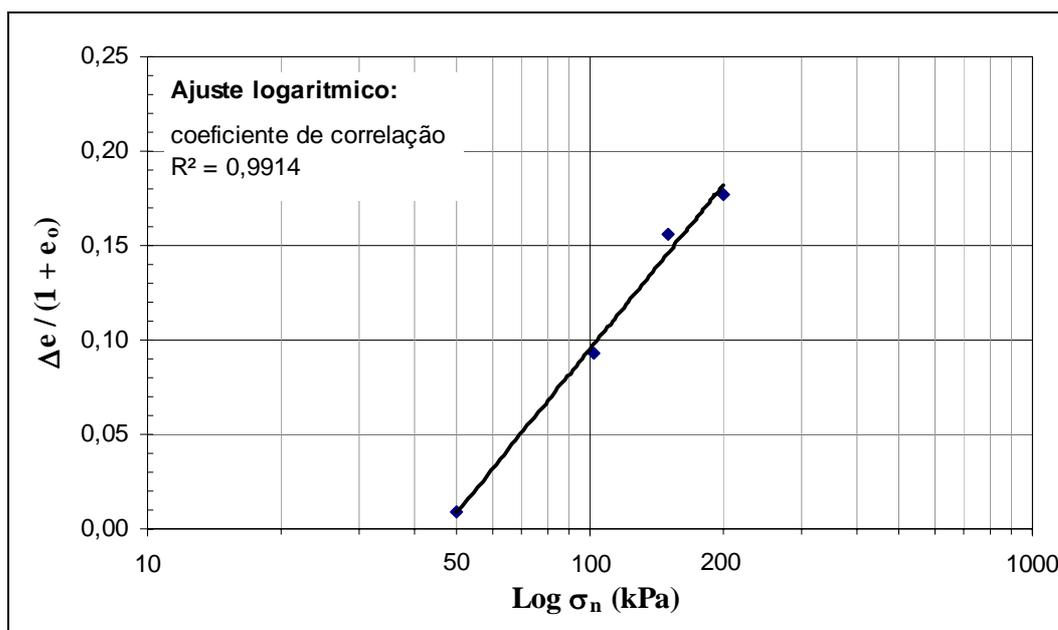


Figura 63: Curva de compressibilidade para amostras submersas.

7.1.2.

Amostras Não-Saturadas

Com o objetivo de analisar a influência da sucção na compressibilidade do solo, foi traçado o gráfico da variação do índice de vazios em função da sucção mátrica para cada uma das 4 séries realizadas (figura 64). A mesma relação é apresentada na figura 65, mas agora optou-se pela normalização da sucção mátrica, dividindo-a pela tensão normal líquida aplicada.

Apesar da dispersão dos resultados, observa-se que um aumento na sucção mátrica provoca uma pequena diminuição no índice de vazios, ocasionando uma maior compressão no solo.

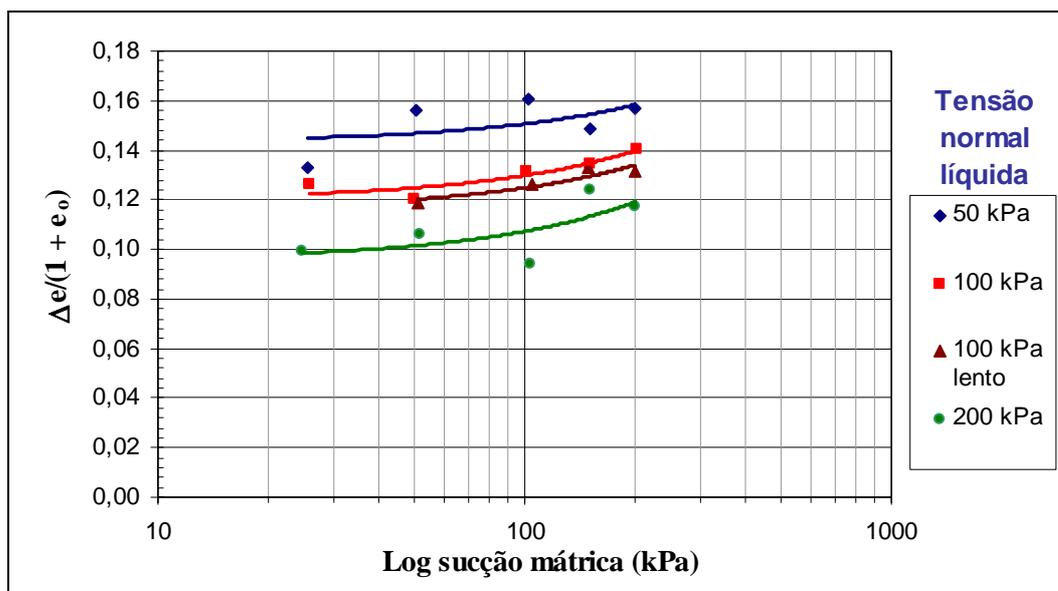


Figura 64: Curva de compressibilidade em relação a sucção mátrica para as quatro séries realizadas.

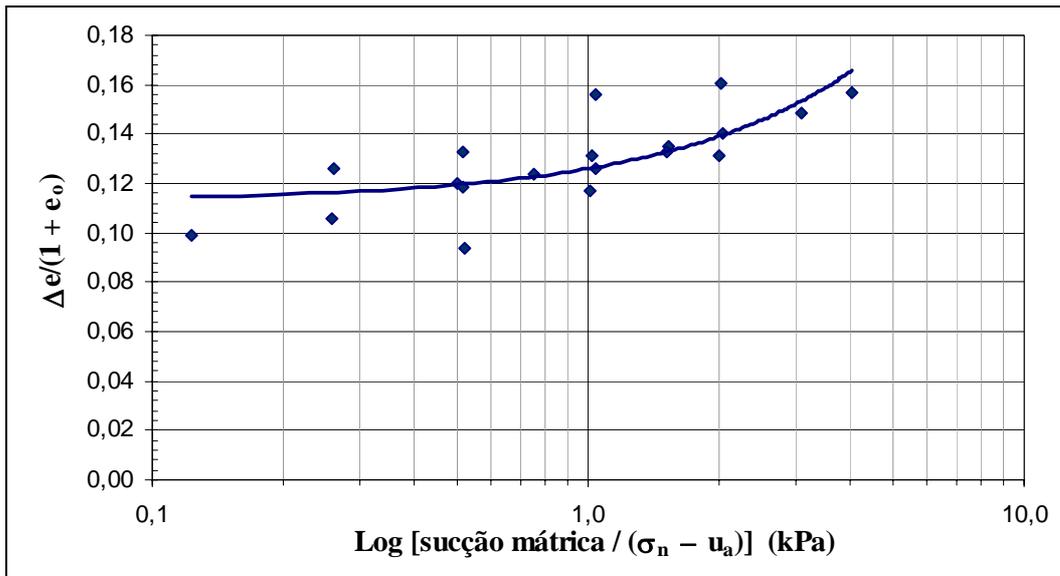


Figura 65: Curva de compressibilidade em relação a sucção mátrica normalizada.

7.2.

Resistência ao Cisalhamento

7.2.1.

Critério de Definição de Ruptura Utilizado

Conforme observado nos resultados obtidos, a resistência do solo aumenta com o deslocamento horizontal, logo este não apresenta uma definição de pico na curva tensão-deslocamento. Visando uma definição uniforme da resistência, utilizou-se o critério proposto por de Campos & Carrillo (1995), onde era assumido que o solo havia rompido quando a curva tensão cisalhante (τ) versus deslocamento horizontal (δ_h) atingisse pela primeira vez uma inclinação (α) aproximadamente constante. A figura 66 exemplifica a determinação dos pontos de ruptura através do critério utilizado.

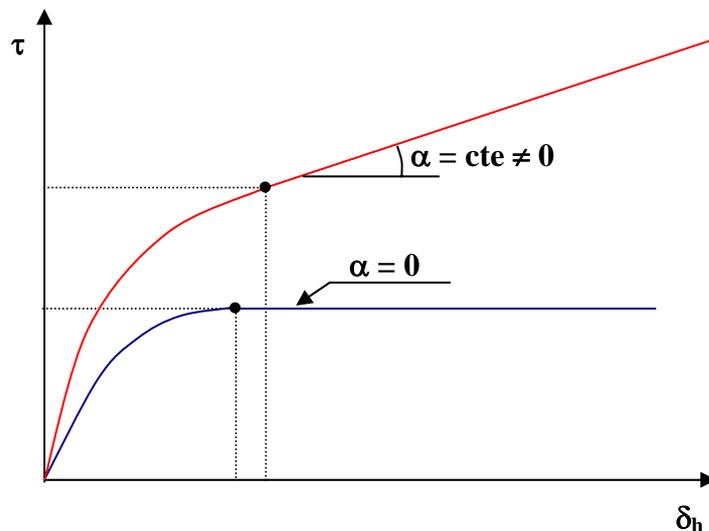


Figura 66: Critério utilizado na determinação dos pontos de ruptura.

7.2.2.

Resistência Submersa

Baseado no critério de ruptura descrito anteriormente, são mostrados na tabela 19, os valores da tensão cisalhante (τ_r), tensão normal (σ_r) e o deslocamento horizontal (δ_{hr}), obtidos na ruptura.

Tabela 19: Tensão cisalhante, tensão normal e deslocamento horizontal na ruptura.

Ensaio	Tensão normal (kPa)	τ_r (kPa)	σ_r (kPa)	τ_r/σ_r	δ_{hr} (mm)
CD 1	50	35,99	53,72	0,67	6,74
CD 2	102	58,25	109,66	0,53	7,16
CD 3	150	82,58	158,18	0,52	5,29
CD 4	200	106,97	210,77	0,51	5,27

Na figura 67 é apresentada a envoltória de resistência definida através de ajuste linear dos dados apresentados na tabela 19.

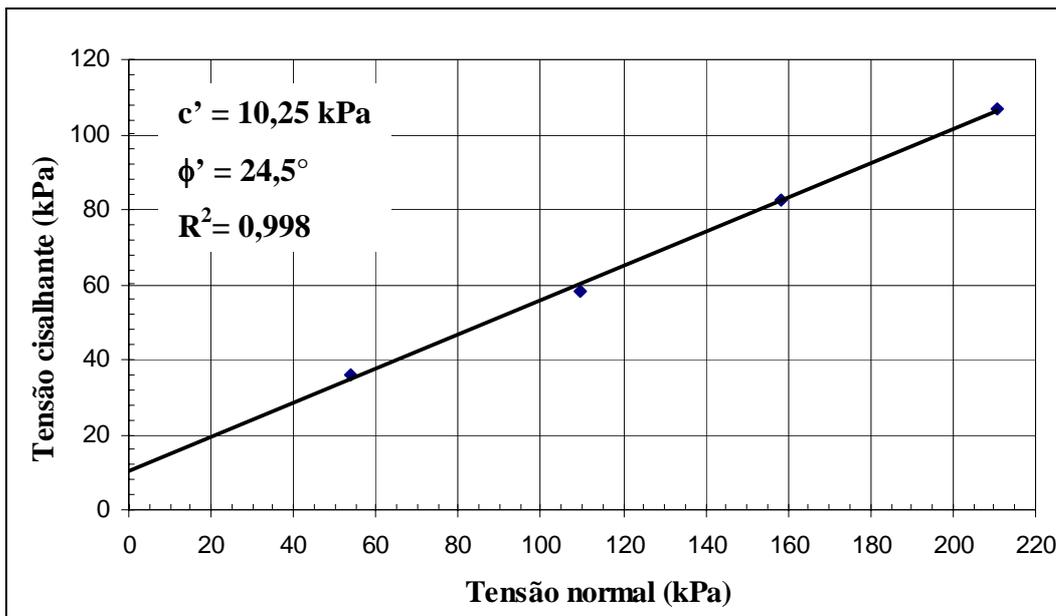


Figura 67: Envoltória de resistência para amostras submersas.

A figura 68 apresenta uma correlação entre a tensão cisalhante na ruptura com o teor de umidade final dos corpos de prova após o cisalhamento. Nota-se claramente a tendência do aumento da resistência do solo com a diminuição do teor de umidade. Já a figura 69 apresenta uma relação entre o índice de vazios após o adensamento e a tensão cisalhante na ruptura.

Através desses dois gráficos, é possível verificar a existência de uma dependência direta entre a tensão cisalhante na ruptura com o teor de umidade final e o índice de vazios após o adensamento. Entretanto, para estabelecer tais relações seria necessário um número maior de ensaios a fim de se chegar a uma conclusão mais concreta.

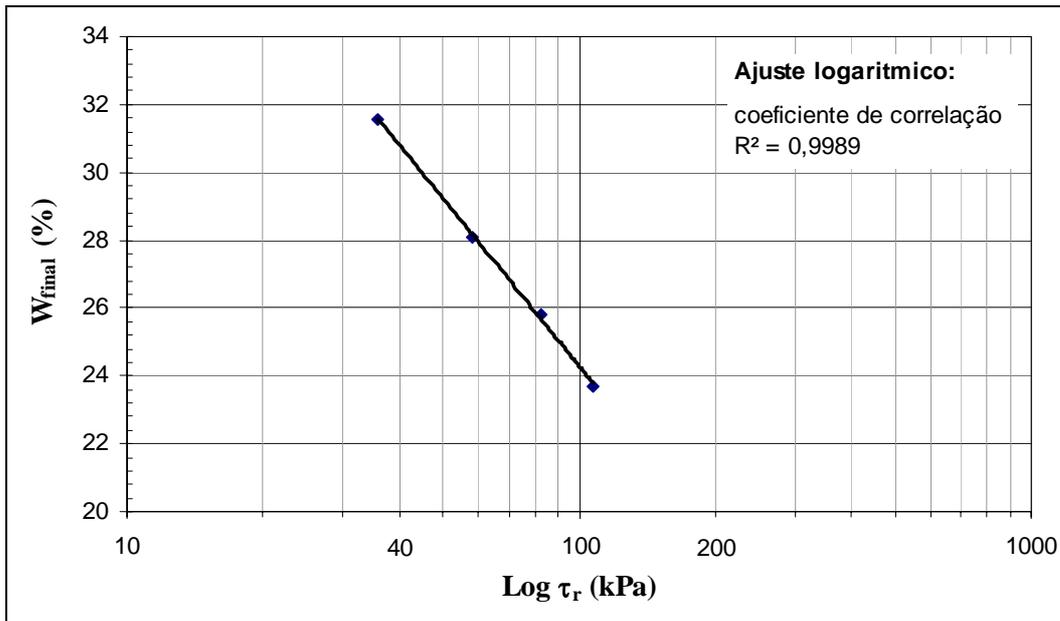


Figura 68: Relação entre a umidade final e a tensão cisalhante na ruptura.

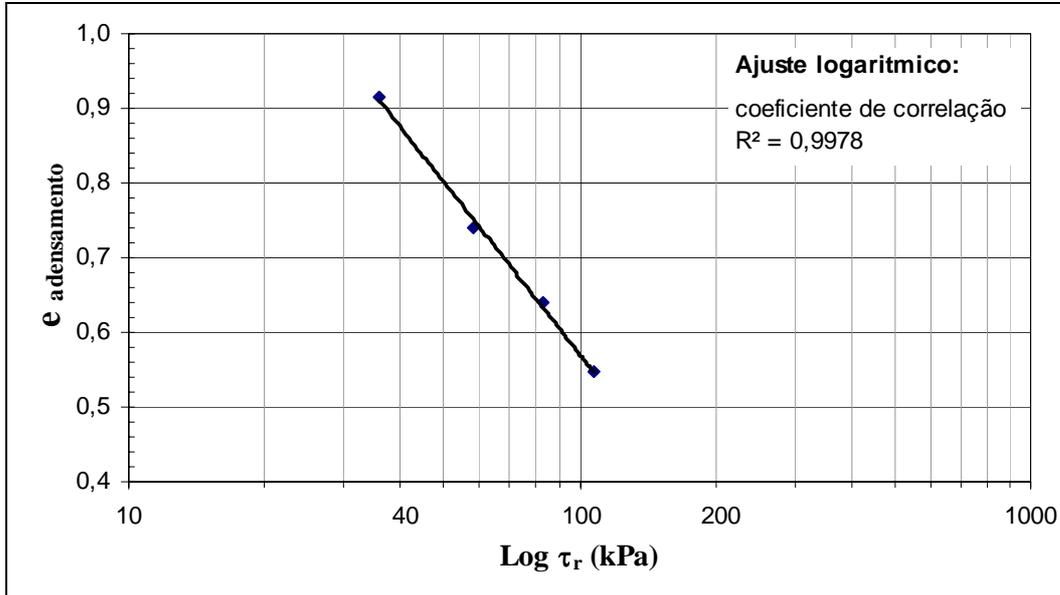


Figura 69: Relação entre o índice de vazios após o adensamento e a tensão cisalhante na ruptura.

7.2.3.

Resistência Não-Saturada

A tabela 20 apresenta os valores da tensão cisalhante (τ_r), tensão normal líquida $(\sigma - u_a)_r$ e deslocamento horizontal ($\delta_{h r}$), obtidos na ruptura através do critério de ruptura utilizado.

As envoltórias de resistência com relação à sucção para as três primeiras séries estão mostradas na figura 70. Observa-se que a relação entre a resistência ao cisalhamento e a sucção mátrica varia de forma não linear, uma vez que o valor de ϕ^b diminui com o aumento da sucção e depois tende a um valor constante. Por esse motivo os pontos experimentais foram ajustados a funções hiperbólicas através da equação (17) e os parâmetros a e b foram determinados utilizando-se o método dos mínimos quadrados. As equações das funções hiperbólicas que descrevem esse comportamento, são mostradas na tabela 21.

$$\tau(u_a - u_w) = \tau_o + \frac{(u_a - u_w)}{[a + b.(u_a - u_w)]} \quad (17)$$

onde:

$(u_a - u_w)$ = sucção mátrica;

$\tau (u_a - u_w)$ = tensão cisalhante para um dado valor de sucção;

τ_o = tensão cisalhante para $(u_a - u_w) = 0$, obtida no ensaio de cisalhamento direto convencional em amostras submersas;

a e b = parâmetros de ajuste da função hiperbólica.

Tabela 20: Tensão cisalhante, tensão normal líquida e deslocamento horizontal na ruptura.

Série	Ensaio	Tensão normal líquida (kPa)	Sucção mátrica (kPa)	τ_r (kPa)	$(\sigma-u_a)_r$ (kPa)	$\tau_r/(\sigma-u_a)_r$	δ_{hr} (mm)
I	CDSC 1	50	25	173,06	71,91	2,41	4,80
	CDSC 2	50	50	222,44	69,93	3,18	4,62
	CDSC 3	50	100	226,59	71,46	3,17	5,17
	CDSC 4	50	150	247,49	68,10	3,63	4,63
	CDSC 5	50	200	257,56	62,78	4,10	4,10
II	CDSC 6	100	25	193,62	116,91	1,66	4,01
	CDSC 7	100	50	241,48	114,76	2,10	4,18
	CDSC 8	100	100	242,15	116,97	2,07	5,25
	CDSC 9	100	150	275,22	115,99	2,37	4,19
	CDSC 10	100	200	286,52	116,63	2,46	4,10
III	CDSC 11	200	25	242,75	220,13	1,10	4,06
	CDSC 12	200	50	292,02	219,86	1,33	4,21
	CDSC 13	200	100	295,90	222,89	1,33	4,97
	CDSC 14	200	150	319,49	222,36	1,44	4,62
	CDSC 15	200	200	331,73	221,76	1,50	4,14
IV	CDSC 16	100	50	237,49	115,77	2,05	4,25
	CDSC 17	100	100	238,45	117,59	2,03	4,14
	CDSC 18	100	150	273,19	118,72	2,30	4,31
	CDSC 19	100	200	293,04	123,23	2,38	4,08

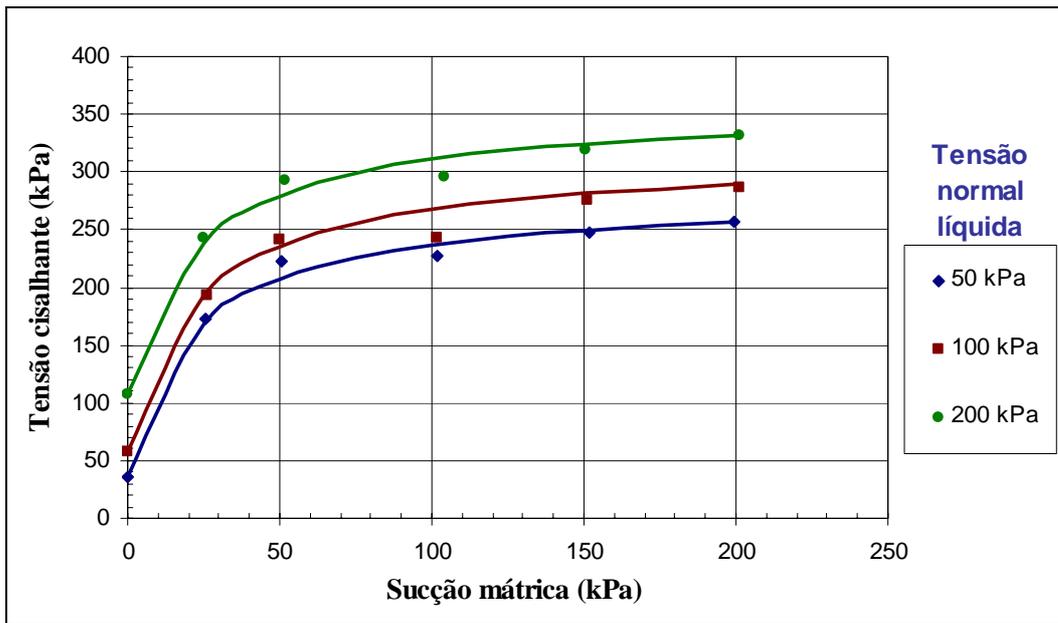


Figura 70: Envoltórias de resistência com respeito a sucção.

Tabela 21: Equações das funções hiperbólicas.

Série	Tensão normal líquida (kPa)	expressão
I	50	$\tau = 35,99 + (u_a - u_w) / [0,0875 + 0,0041 \cdot (u_a - u_w)]$
II	100	$\tau = 58,25 + (u_a - u_w) / [0,0875 + 0,0039 \cdot (u_a - u_w)]$
III	200	$\tau = 106,97 + (u_a - u_w) / [0,0875 + 0,0040 \cdot (u_a - u_w)]$

Analisando as envoltórias da figura 70, nota-se que para sucções abaixo de 50 kPa o acréscimo de resistência é acentuado, ou seja, o valor de ϕ^b é maior que ϕ' , contrariando observações feitas por Escário & Sáez (1986) e Fredlund et al. (1987), os quais sugerem que para sucções baixas o valor de ϕ^b deve ser próximo de ϕ' . Valores de ϕ^b maiores que ϕ' foram observados em trabalhos realizados por Abramento (1988), Rohm (1992), Rohm & Vilar (1995) e Teixeira & Vilar (1997). A variação do ângulo ϕ^b em função da sucção mátrica é mostrada na figura 71.

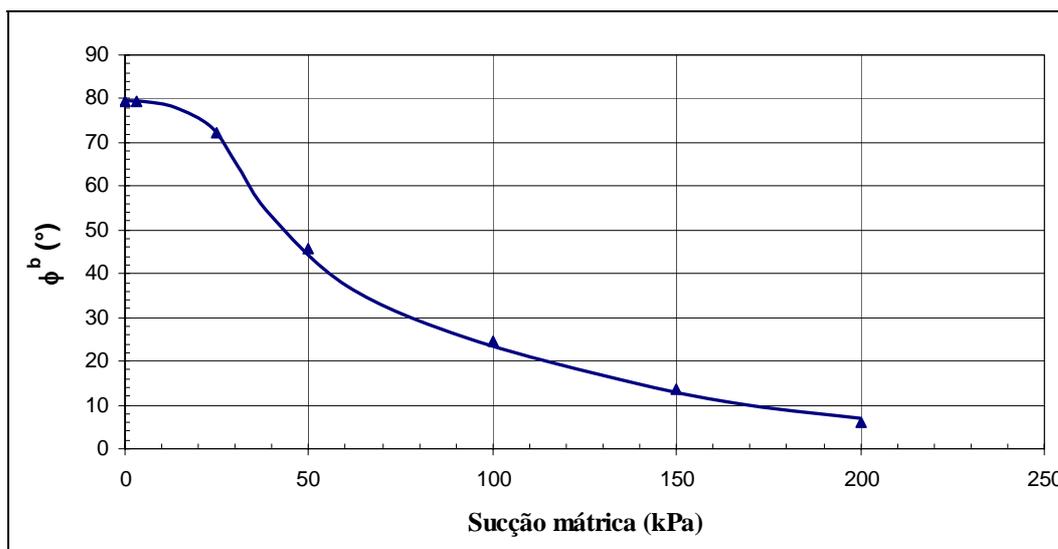


Figura 71: Variação do ângulo ϕ^b com relação a sucção mátrica.

A figura 73 mostra as envoltórias de resistência, obtidas para as sucções ensaiadas, nas quais foram consideradas como lineares devido ao bom ajuste dos pontos experimentais. Os parâmetros de resistência obtidos para cada valor de sucção, são apresentados na tabela 22.

Nota-se que a envoltória de resistência se eleva rapidamente da condição saturada, obtida através do ensaio convencional em amostras submersas, para a sucção mátrica de 25kPa. Já para sucções acima de 25kPa o ganho de resistência não é tão acentuado. Isso pode ser explicado através da interpretação da curva característica (figura 41 e 42) onde que a partir do valor de entrada de ar dos macroporos (3kPa), até o valor de sucção correspondente à umidade residual dos mesmos ($\cong 10$ kPa), ocorre uma elevada dessaturação no material referente à saída de água dos macroporos. Assim, os ensaios realizados, relacionados à sucção mátrica aplicada, já se encontram no patamar formado próximo à umidade volumétrica de 33% no qual é responsável pela grande variação da sucção com pequena variação de umidade.

Outro aspecto importante de ser observado é que o ângulo de atrito (ϕ') praticamente não varia com a sucção. A figura 72 mostra a variação de ϕ^b/ϕ' com a sucção. Percebe-se que até um valor de sucção de 100kPa a razão ϕ^b/ϕ' é maior que a unidade. Isso indica que um incremento na sucção mátrica tem uma maior

contribuição na resistência ao cisalhamento do que o mesmo incremento de tensão normal líquida para o intervalo de sucção considerado.

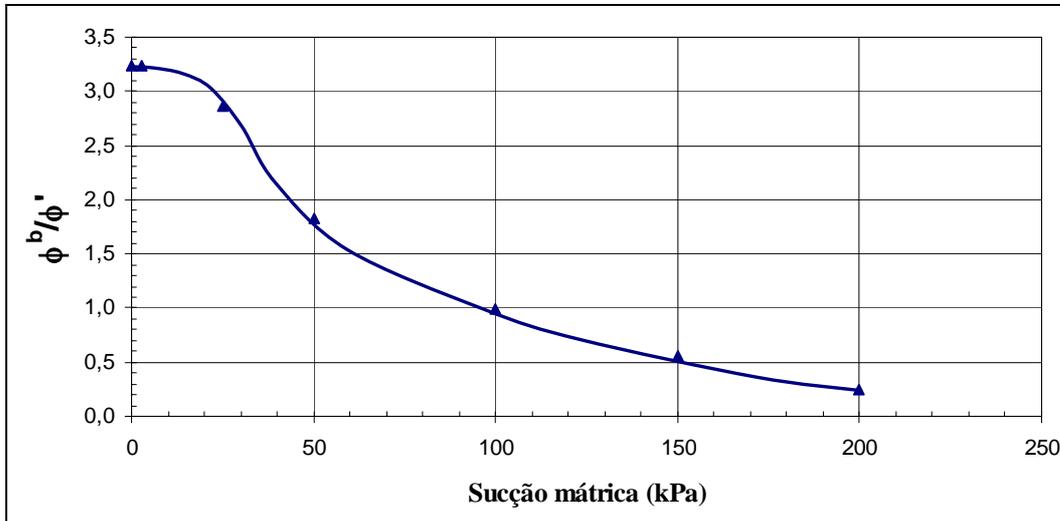


Figura 72: Variação de ϕ^b/ϕ' com relação a sucção mátrica.

O ganho de resistência, que varia em função da sucção mátrica, pode ser representado pelo aumento da coesão aparente. A variação da coesão aparente com a sucção mátrica é apresentada na figura 74. Novamente foi utilizada uma função hiperbólica para ajustar os dados experimentais. A equação que representa o acréscimo de coesão em função da sucção mátrica é apresentada abaixo.

$$c = 10,25 + \frac{(u_a - u_w)}{[(0,1104 + 0,0040 \cdot (u_a - u_w))]} \quad (18)$$

Considerando um ângulo de atrito médio de $24,9^\circ$, e que este não varia com o nível de sucção mátrica aplicada, determina-se a equação 19 que descreve a variação da resistência ao cisalhamento do solo em função das duas variáveis de tensão, a tensão normal líquida ($\sigma - u_a$) e a sucção mátrica ($u_a - u_w$). Com posse dessa equação, é plotada a envoltória tridimensional de resistência apresentada na figura 75.

$$\tau = 10,25 + (\sigma - u_a) \cdot \text{tg } 24,9^\circ + \frac{(u_a - u_w)}{[(0,1104 + 0,0040 \cdot (u_a - u_w))]} \quad (19)$$

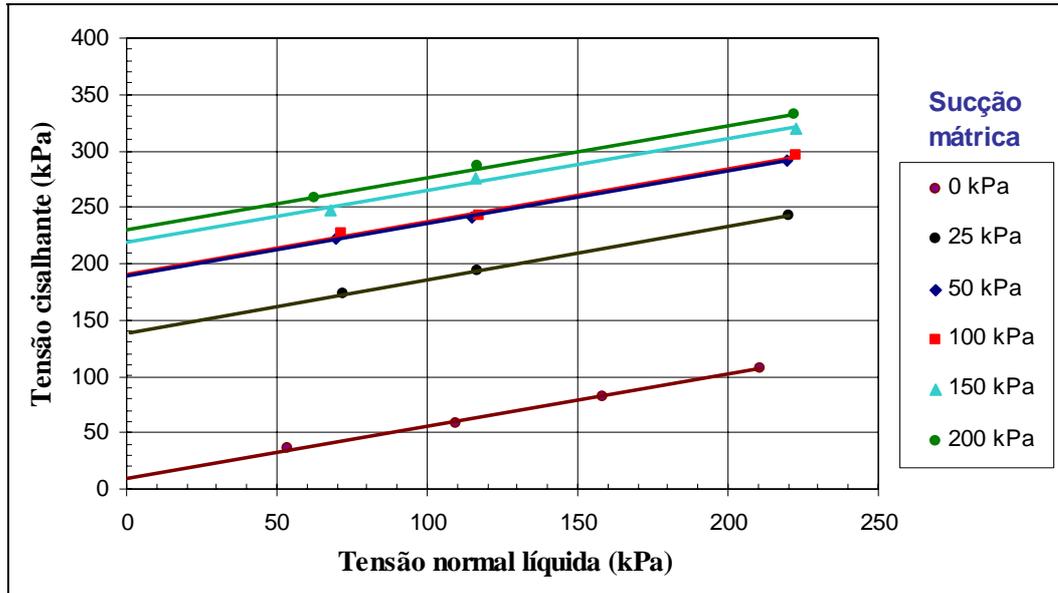


Figura 73: Envoltórias de resistência para as sucções ensaiadas.

Tabela 22: Valores de c e ϕ' obtidos.

Sucção mátrica (kPa)	c (kPa)	ϕ' (°)	R^2
0	10,25	24,5	0,998
25	138,92	25,2	1,000
50	188,99	25,0	0,999
100	190,92	25,0	0,993
150	218,64	24,6	0,993
200	230,22	24,8	0,997

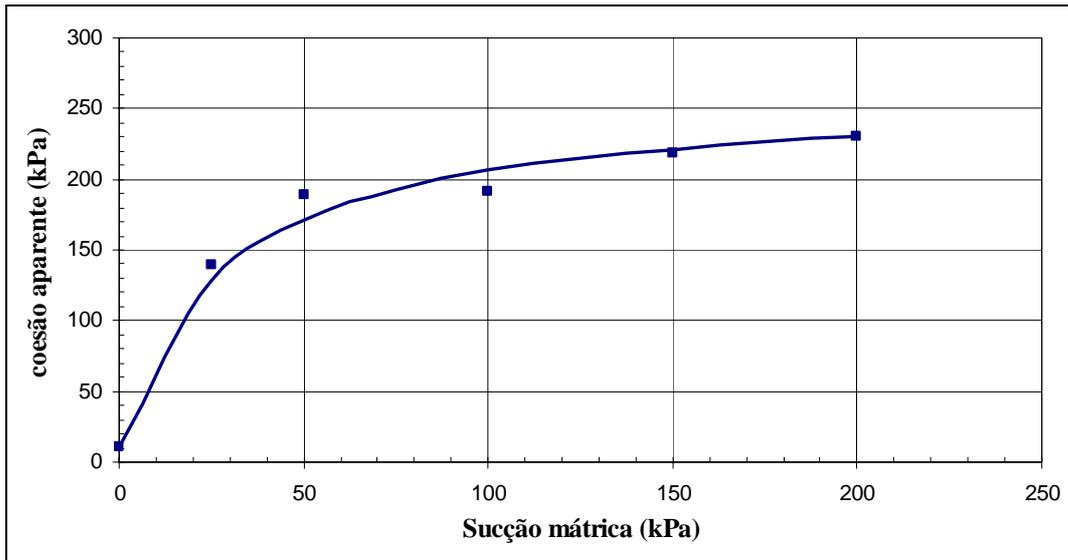


Figura 74: Variação da coesão aparente com a sucção mátrica.

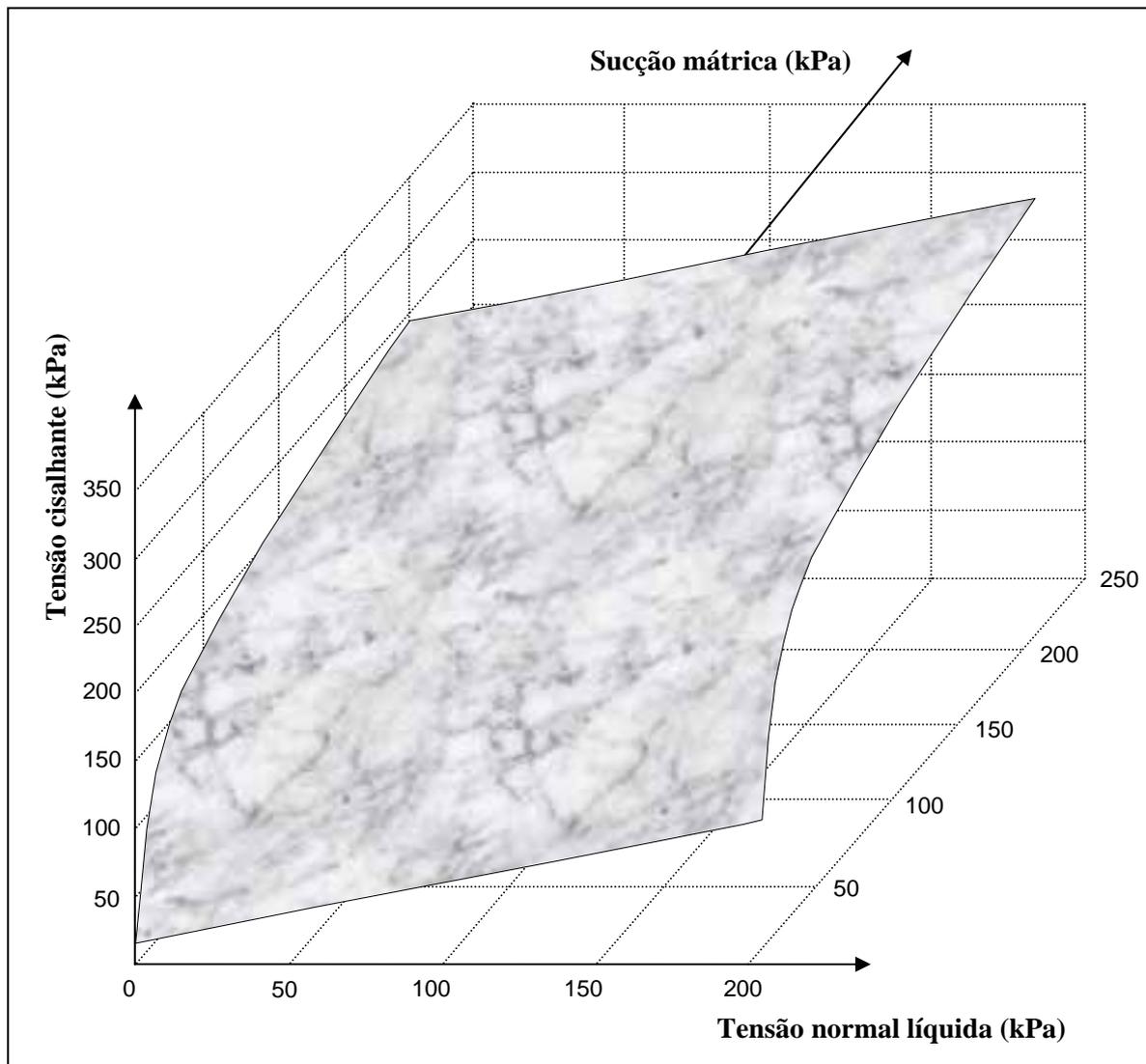


Figura 75: Envoltória tridimensional de resistência.

7.2.4.

Influência da Velocidade de Cisalhamento no Ensaio de Cisalhamento Direto com Sucção Controlada

Em um ensaio drenado com sucção controlada deseja-se garantir que a sucção mátrica aplicada permaneça constante ao longo da fase de cisalhamento e que o excesso de pressão de ar e de água dos poros gerado seja dissipado. Para tal, a velocidade de cisalhamento escolhida foi definida utilizando a metodologia apresentada por Ho (1981), descrita no apêndice C.

Na tentativa de verificar a influência da velocidade de cisalhamento na envoltória de resistência, foi realizada a série IV de ensaios onde foram repetidos os mesmos ensaios da série II só que agora com uma velocidade de cisalhamento 2,5 vezes menor. Uma comparação entre as envoltórias obtidas para as duas séries é apresentada na figura 76.

Analisando as envoltórias de resistência, conclui-se que, para o nível de variação estudado, a velocidade de cisalhamento praticamente não influenciou na resistência do solo, uma vez que os pontos de ruptura obtidos para as duas séries ficaram muito próximos. Com isso, pode-se dizer que a metodologia apresentada por Ho (1981) fornece uma boa estimativa inicial da velocidade de cisalhamento para o ensaio de cisalhamento direto com sucção controlada. Entretanto, para se chegar a uma conclusão mais precisa, seria necessário um estudo mais detalhado.

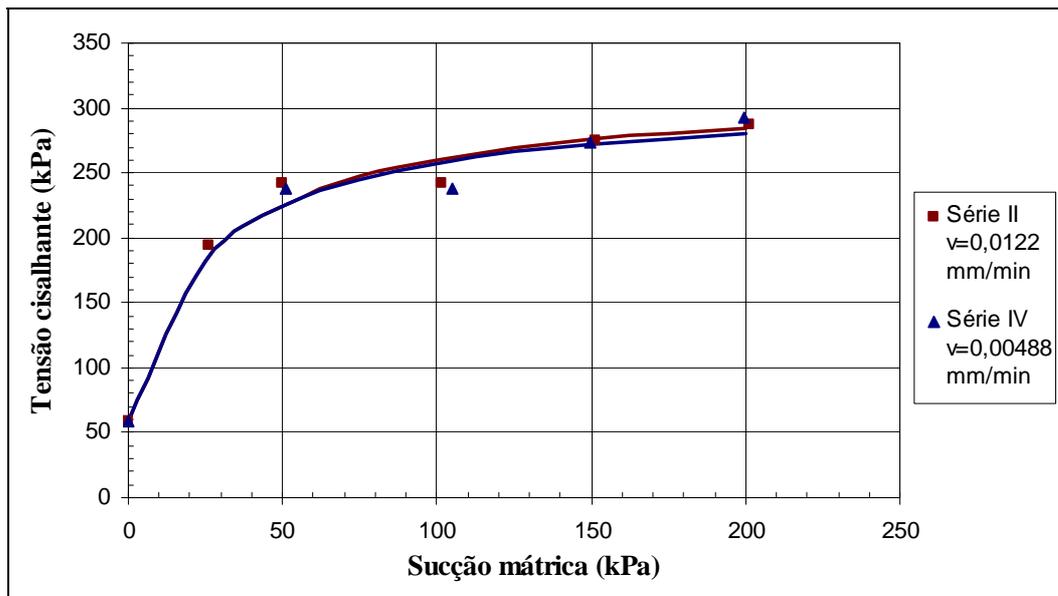


Figura 76: Envoltórias de resistência com relação a sucção para as séries II e IV.

7.3.

Resistência à Tração

A resistência à tração, obtida através dos ensaios de compressão diametral, está diretamente relacionada com a coesão do solo, sendo esta influenciada pelo grau de saturação (ou teor de umidade gravimétrica) e por características química, mineralógicas e estruturais do material.

A tabela 23 apresenta os pontos de máxima resistência à tração obtidos em cada ensaio, assim como os valores do teor de umidade em peso e do grau de saturação de cada corpo de prova. Com isso é possível estabelecer as relações da resistência à tração versus teor de umidade em peso e grau de saturação, apresentadas nas figuras 77 e 78 respectivamente.

Os resultados mostram que à medida que o teor de umidade diminui, a resistência à tração aumenta, até um dado valor de umidade (aproximadamente 16%), a partir do qual o material começa a fissurar devido ao ressecamento, apresentando uma tendência de diminuição ou estabilização da sua resistência à tração.

Outro aspecto importante observado é que a curva resistência à tração versus grau de saturação, sugere a existência de uma coesão efetiva “verdadeira”, da ordem de 1kPa, possivelmente associada à presença de uma cimentação no material. Uma fraca cimentação por argilominerais, funcionando como agentes cimentantes, foi comprovada através das análises de microscopia ótica apresentada no capítulo 5.

A partir da curva característica de sucção (figuras 42 e 43), foi possível estabelecer a relação entre a resistência à tração e a sucção mátrica, apresentada na figura 79. Nota-se que a partir do valor de entrada de ar dos macroporos (3kPa), há um ganho elevado na resistência à tração do solo até a sucção correspondente a aproximadamente ao valor de entrada de ar dos microporos (5000kPa), e depois esta tende a estabilizar ou diminuir. Essa variação na resistência à tração pode ser atribuída ao efeito da sucção somado ao efeito dos agentes cimentantes, cujas componentes das forças resistentes a esforços de tração aumentam durante o processo de secagem.

Tabela 23: Resultados de resistência à tração, teor de umidade e grau de saturação.

Ensaio	e_0	Resistência à tração (kPa)	w (%)	S (%)
1	0,959	23,74	22,89	65,28
2	0,936	2,70	29,00	84,75
3	0,933	3,29	28,30	83,01
4	0,938	5,30	25,78	75,20
5	0,958	23,84	22,91	65,41
6	0,993	25,05	22,39	61,70
7	0,966	36,47	19,62	55,57
8	0,965	54,99	15,39	43,63
9	0,977	58,45	16,18	45,32
10	0,926	63,21	15,93	47,06
11	0,945	51,93	14,21	41,15
12	0,939	65,13	14,96	43,62
13	0,963	7,05	26,16	74,29
14	0,950	7,78	24,81	71,46

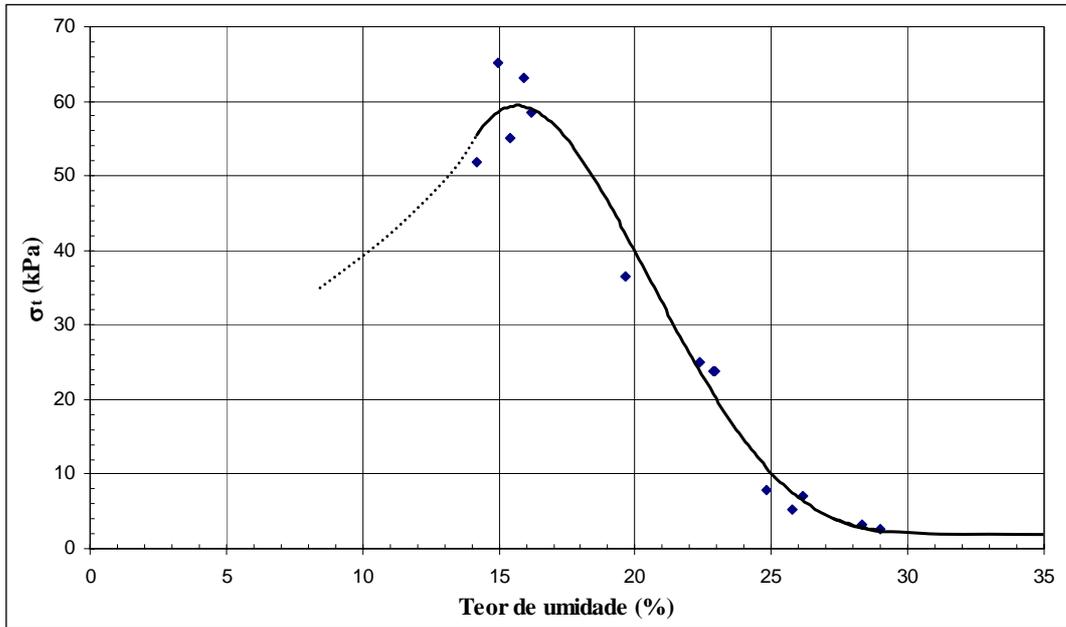


Figura 77: Resistência à tração x teor de umidade em peso.

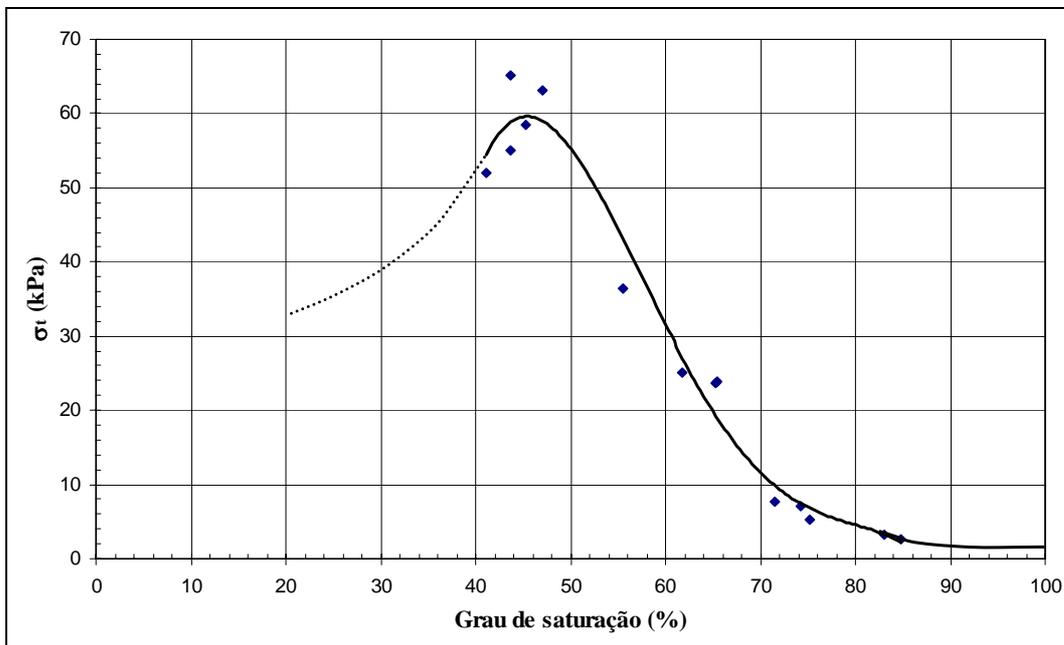


Figura 78: Resistência à tração x grau de saturação.

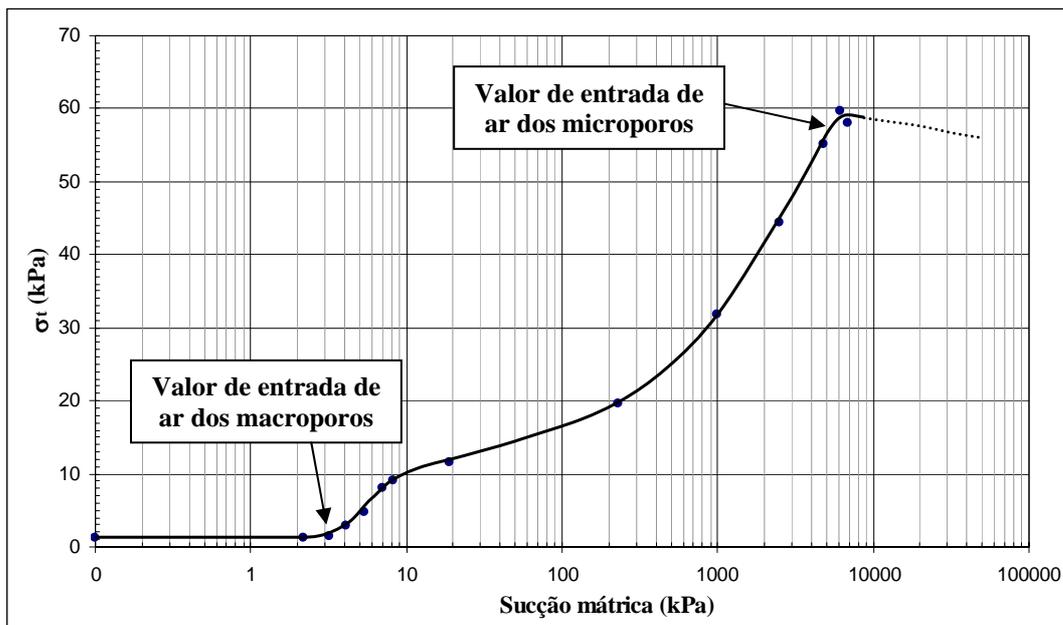


Figura 79: Resistência à tração x sucção mátrica.

7.4.

Relação entre Resistência à Tração e Coesão Aparente

Fisicamente, a coesão aparente pode ser compreendida como sendo correspondente a resistência à tração do solo não saturado. Entretanto, devido ao fato de ser comum a linearização dos resultados de ensaios, que na realidade apresentam envoltórias não lineares de resistência, principalmente para baixos níveis de tensão normal, essa relação não é verdadeiramente correta.

Na figura 80, buscou-se estabelecer uma relação entre a resistência à tração e a coesão aparente para o nível de sucção mátrica estudado. Nota-se que, através do bom ajuste linear dos dados experimentais, é possível estabelecer a relação definida pela equação 20. Porém, para uma melhor definição dessa relação, seria necessário um número maior de ensaios.

$$c_{aparente} = 11,855 \cdot \sigma_t \quad (20)$$

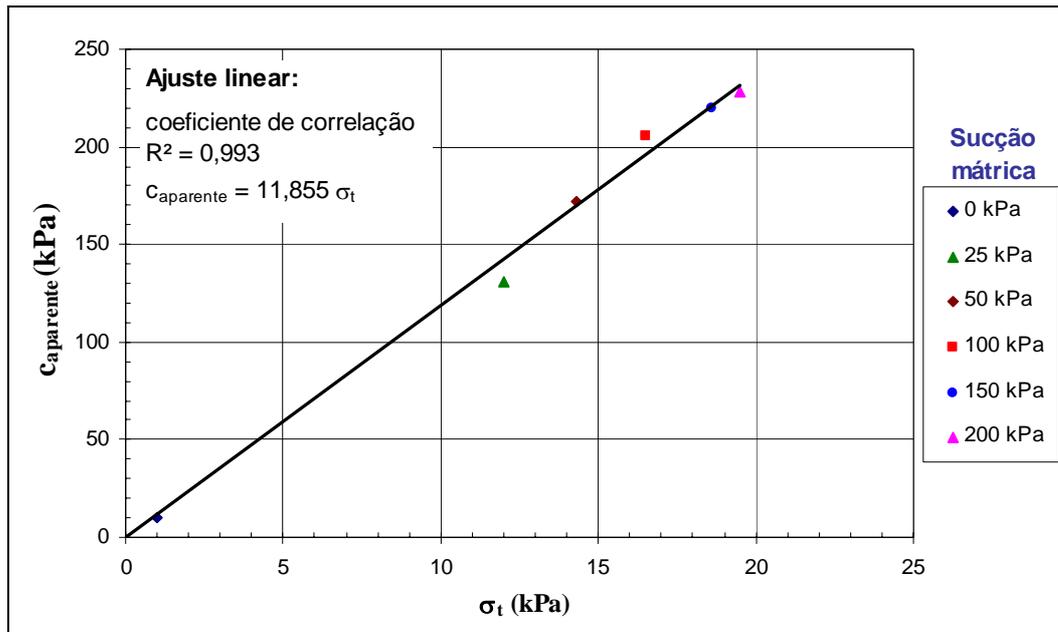


Figura 80: Relação entre resistência à tração e coesão aparente.

7.5.

Comparação dos Resultados Obtidos com Estimativas Indiretas da Resistência ao Cisalhamento Através de Formulações Simplificadas

O uso de formulações simplificadas surgiu como uma alternativa na avaliação indireta da resistência ao cisalhamento do solo não saturado, uma vez que a determinação dos parâmetros de resistência não saturado requer o uso de equipamentos e técnicas especiais de laboratório.

As quatro principais formulações simplificadas, utilizadas na avaliação da resistência do solo não saturado, são apresentadas a seguir.

Lytton (1996), baseado em conceitos da termodinâmica, sugere o uso da umidade volumétrica (θ) para a obtenção da resistência do solo não saturado através da equação:

$$\tau = c' + (\sigma_n - u_a) \operatorname{tg} \phi' + (u_a - u_w) [\theta \operatorname{tg} \phi'] \quad (21)$$

Oberg & Sallfors (1997), propuseram uma equação na estimativa da resistência ao cisalhamento de solos não argilosos. Essa equação pode ser reescrita da seguinte forma:

$$\tau = c' + (\sigma_n - u_a) \operatorname{tg} \phi' + (u_a - u_w) [S \operatorname{tg} \phi'] \quad (22)$$

Vanapalli et al. (1996), utilizando conceitos oriundos da curva característica, propõem o uso da seguinte formulação simplificada:

$$\tau = c' + (\sigma_n - u_a) \operatorname{tg} \phi' + (u_a - u_w) \left[\left(\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right) \operatorname{tg} \phi' \right] \quad (23)$$

onde:

θ_s = teor de umidade volumétrico do solo saturado;

θ_r = teor de umidade volumétrico do solo correspondente à condição de saturação residual.

De forma similar, Fredlund et al. (1996) propõem o uso do teor de umidade volumétrico normalizado na estimativa da resistência ao cisalhamento, através da seguinte equação:

$$\tau = c' + (\sigma_n - u_a) \operatorname{tg} \phi' + (u_a - u_w) [\Theta^k \operatorname{tg} \phi'] \quad (24)$$

onde:

k = parâmetro de ajuste;

Θ = teor de umidade volumétrico normalizado, $\Theta = \theta / \theta_s$.

Vanapalli & Fredlund (2000) propuseram uma relação entre o parâmetro de ajuste, k, e o índice de plasticidade obtida através de resultados encontrados na literatura. Essa relação é mostrada na figura 81.

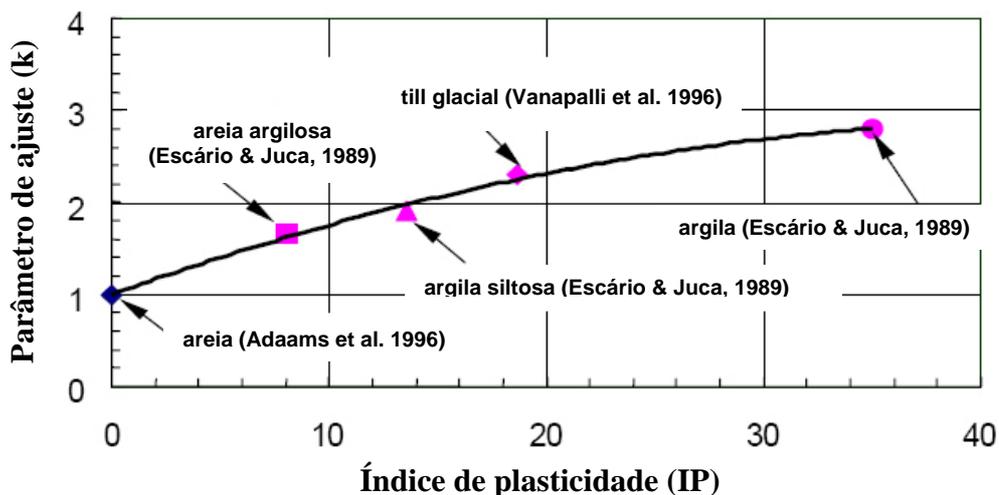


Figura 81: Relação entre o parâmetro de ajuste (k) e o índice de plasticidade (IP) (adaptado de Vanapalli & Fredlund, 2000).

A figura 82 apresenta uma comparação entre a envoltória de resistência, obtida através dos dados experimentais do ensaio com tensão normal líquida de 50kPa, e as envoltórias obtidas através dos quatro procedimentos descritos anteriormente. A envoltória utilizando a proposta de Fredlund et al. (1996) foi obtida considerando $k = 2,6$, determinado através da relação apresentada na figura 81.

Como era de se esperar, a estimativa da resistência ao cisalhamento do solo não saturado, utilizando as formulações simplificadas baseadas no uso da curva característica, não forneceram bons resultados. Todas as quatro expressões forneceram resultados muito conservadores. Isso se explica devido ao fato de que os quatro modelos propostos se baseiam na idéia de que o parâmetro ϕ^b é sempre menor ou no máximo igual a ϕ' , para o caso de sucções abaixo do valor de entrada de ar.

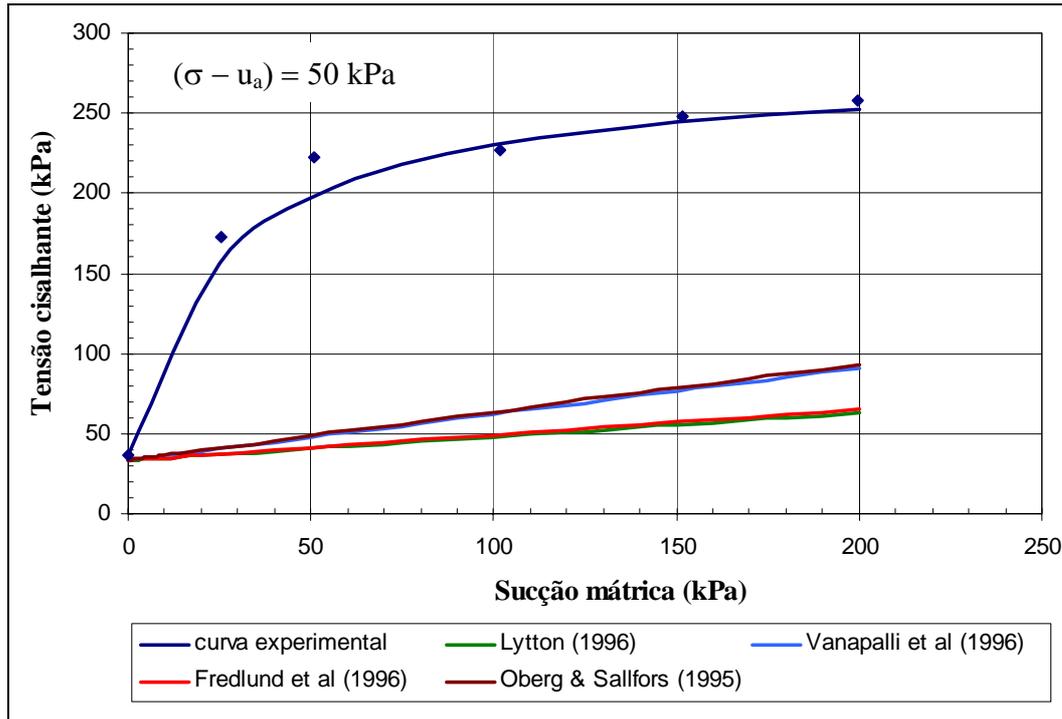


Figura 82: Comparação da envoltória de resistência ao cisalhamento não saturada obtida experimentalmente e estimada.

7.6.

Comparação dos Resultados Obtidos do Colúvio com Outros Materiais Encontrados na Literatura

Informações encontradas na literatura técnica, relativas a resistência ao cisalhamento de solos não saturados obtidas a partir de ensaios de cisalhamento direto com sucção controlada realizados em materiais em seu estado indeformado, ainda são muito escassas.

Buscou-se, neste item, comparar os resultados encontrados do colúvio com outros dois materiais, com características físicas, químicas e mineralógicas semelhantes, também encontrados no município do Rio de Janeiro, mais precisamente em um local próximo a Vista Chinesa. Os resultados foram retirados do trabalho de Delgado (1993).

A tabela 24 apresenta, de forma resumida, as principais características de granulometria e as propriedades índice dos três solos em questão.

Tabela 24: Resumos das características de granulometria e propriedades índice dos três colúvios.

Solo	pedreg (%)	areia (%)			silte (%)	argila (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	G_s	e	γ_d (kN/m ³)
		grossa	média	finas								
Colúvio PUC	0,9	9,2	16,3	14,6	5,5	53,5	54,0	27,8	26,2	2,736	0,90-0,96	13,59-14,45
Colúvio amarelo	1,2	13,7	19,4	17,1	4,7	43,9	47,2	21,3	25,9	2,773	1,14-1,26	12,01-12,67
Colúvio vermelho	6,8	16,5	12,8	15,1	6,0	42,8	62,0	43,4	18,6	2,751	1,02-1,10	12,81-13,34

Os solos denominados por colúvio amarelo e colúvio vermelho, apresentam composições granulométricas similares, definidos como sendo uma areia argilosa. Estes também apresentam uma mineralogia comum, constituída basicamente por caulinita, gipsita e goetita.

Dos três solos analisados, o colúvio PUC é aquele que se apresenta mais denso, enquanto que o colúvio amarelo é o menos denso dos três, apesar dessa diferença não ser tão significativa.

Na figura 83 são apresentadas as envoltórias de resistência com relação à sucção para os três materiais. As três envoltórias foram obtidas através de ensaios onde manteve-se constante tensão normal líquida ($\sigma - u_a$) em torno de 50kPa. A figura 84 apresenta a variação do parâmetro ϕ^b em função da sucção. Já a figura 85 mostra a variação de ϕ^b/ϕ' com a sucção.

Analisando as figuras 83, 84 e 85, percebe-se que a envoltória de resistência do colúvio PUC se eleva mais rapidamente da condição saturada, sucção zero, para a sucção de 50kPa, do que as demais envoltórias. Um comportamento semelhante é encontrado nos três materiais, onde a razão ϕ^b/ϕ' é maior que a unidade para baixos valores de sucção.

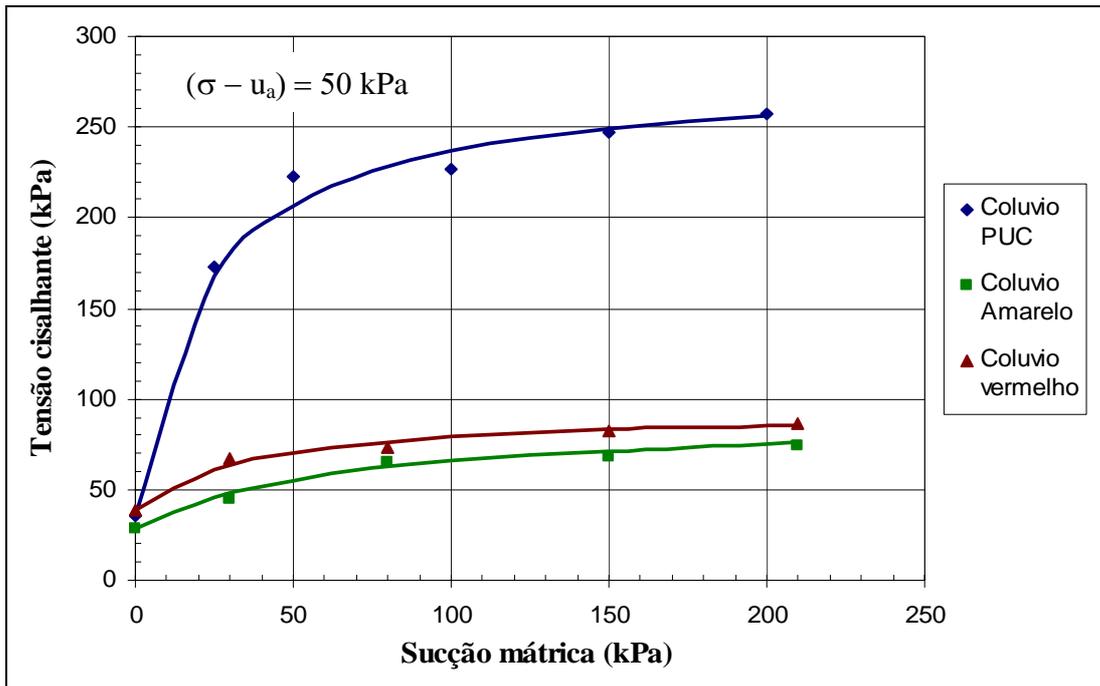


Figura 83: Envoltória de resistência com relação a sucção para os três colúvios.

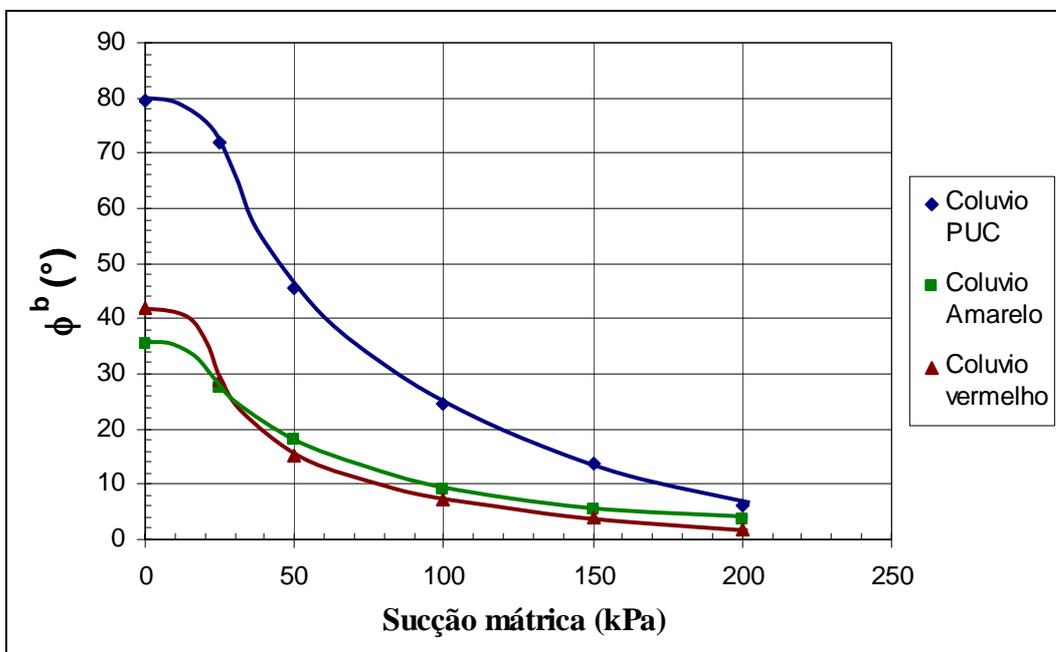


Figura 84: Variação de ϕ^b com a sucção.

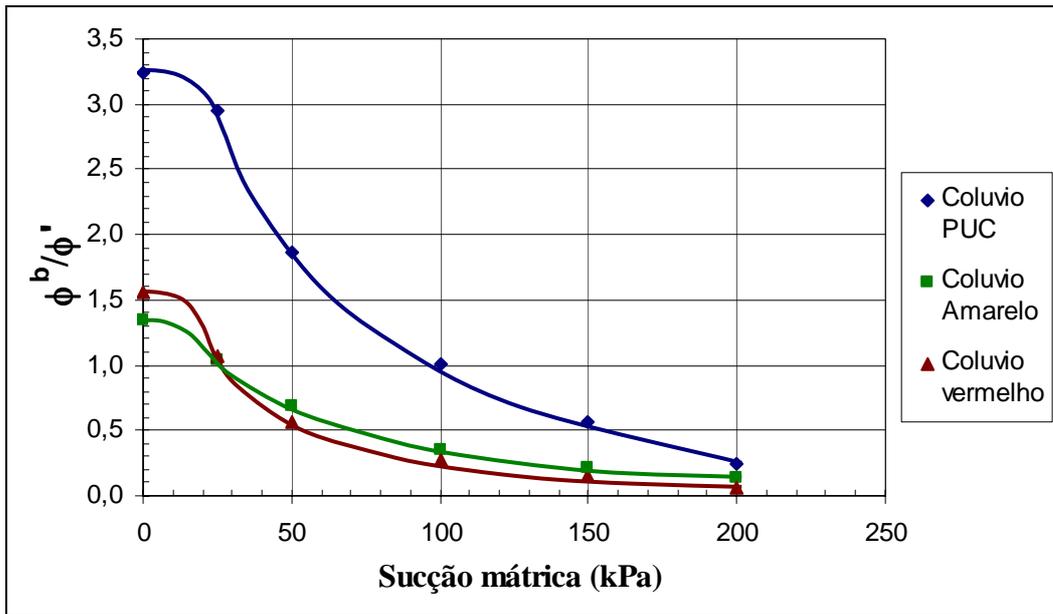


Figura 85: Variação de ϕ^b/ϕ^a com a sucção.