

6

Apresentação dos Resultados

6.1.

Ensaio de Cisalhamento Direto Convencional

São apresentados, neste item, os resultados obtidos dos quatro ensaios de cisalhamento direto convencional realizados em amostras submersas. A metodologia utilizada nos ensaios está descrita no capítulo 4.

A tabela 14 apresenta os índices físicos no início do ensaio, após o adensamento e no final do ensaio, dos corpos de prova para cada ensaio realizado.

Tabela 14: Índices físicos iniciais, após o adensamento e final de cada corpo de prova.

Ensaio	Tensão normal (kPa)	Iniciais					Após o adensamento		Final
		γ_n (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	w (%)	e	S (%)	e	$\Delta e/(1+e_o)$	w (%)
CD 1	50	16,92	13,88	21,90	0,932	64,26	0,915	0,009	31,56
CD 2	100	16,74	13,98	19,73	0,918	58,76	0,740	0,093	28,09
CD 3	150	16,46	13,80	19,29	0,944	55,91	0,641	0,156	25,81
CD 4	200	17,01	14,28	19,13	0,878	59,58	0,547	0,177	23,71

O comportamento tensão-deslocamento é apresentado na figura 44, através das curvas tensão-deslocamento (τ x δ_h) e deslocamento vertical versus deslocamento horizontal (δ_v x δ_h), obtidas a partir dos ensaios. As quatro curvas tensão-deslocamento não apresentam definição de pico, mas sim um comportamento de enrijecimento do material. As quatro curvas de deslocamento

vertical-deslocamento horizontal mostram que o material ensaiado apresenta contração, tendo comportamento típico de areia fofa.

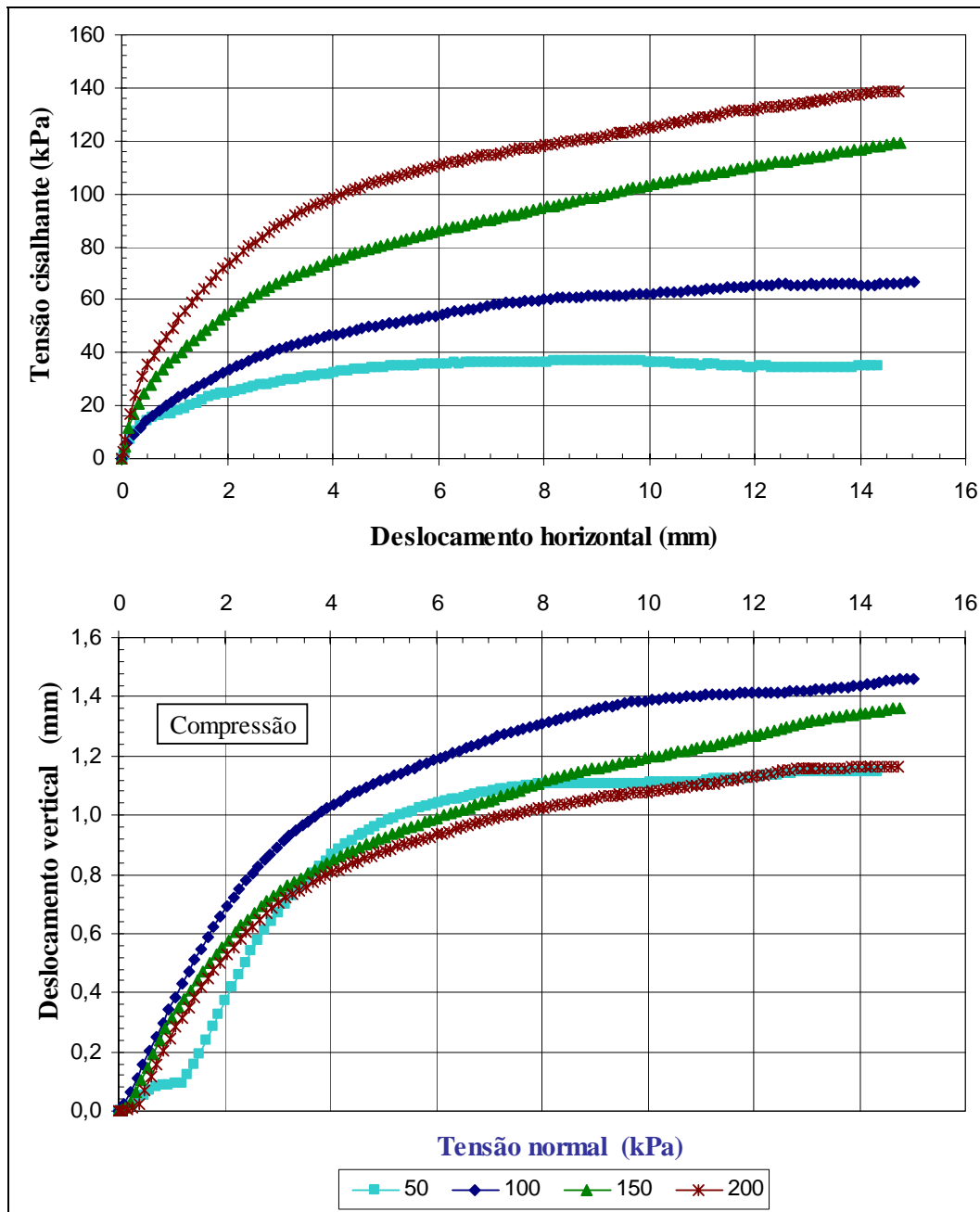


Figura 44: Ensaio de cisalhamento direto convencional: curvas tensão-deslocamento.

6.2.

Ensaio de Compressão Diametral

Na tentativa de se estabelecer uma relação entre a resistência à tração do solo e a sua umidade, foram realizados um total de 14 ensaios com umidades variando entre 14,21% e 29,00%. Aspectos teóricos e a metodologia utilizada nos ensaios são apresentados no capítulo 4.

As figuras 45 a 48 mostram a sequência típica do ensaio. Na figura 46 já se nota o início da formação da trinca ao longo do eixo diametral, que vai se abrindo (figura 47) até a ruptura, quando esta se abre por completo (figura 48).

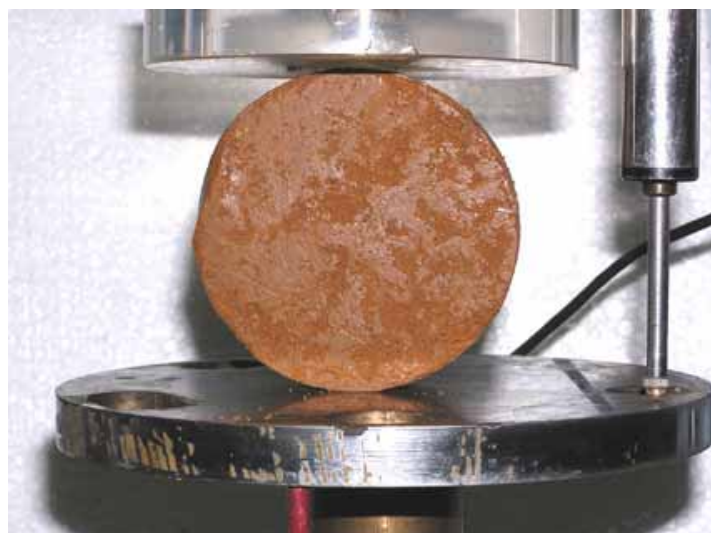


Figura 45: Início do ensaio.

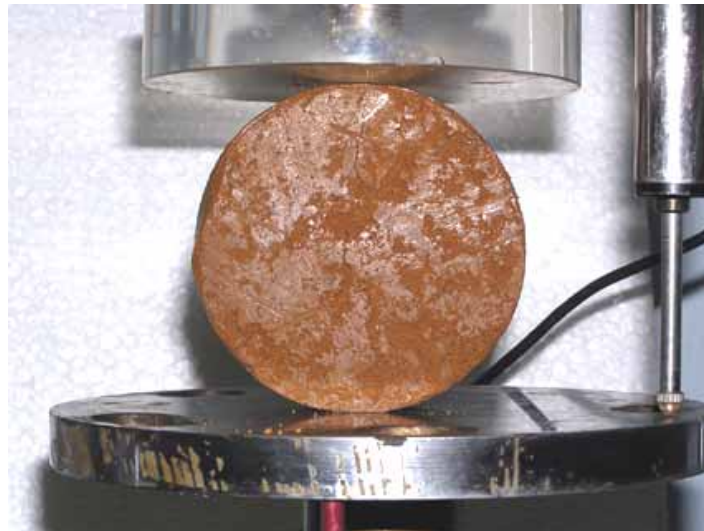


Figura 46: Início da formação da trinca.

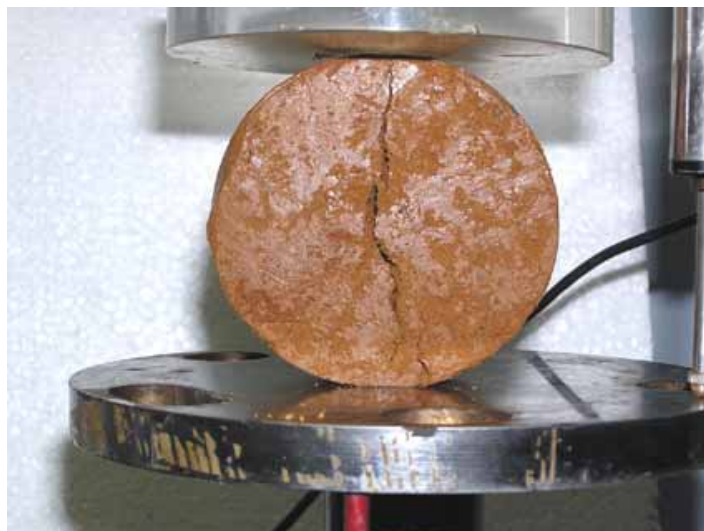


Figura 47: Abertura da trinca com o avanço das deformações.

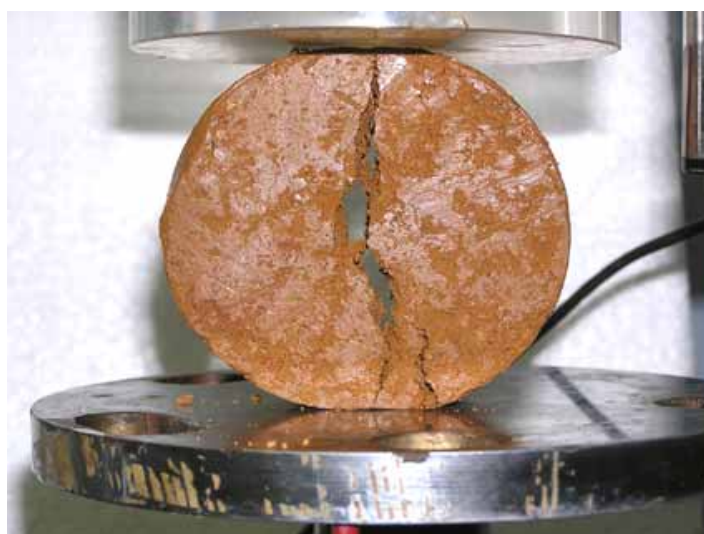


Figura 48: Trinca totalmente aberta (ruptura).

Na figura 49 são apresentados os gráficos da resistência à tração versus deslocamento diametral, para cada um dos ensaios realizados. Com era de se esperar, os solos ensaiados com um menor teor de umidade apresentam picos mais acentuados na curva resistência à tração versus deslocamento diametral.

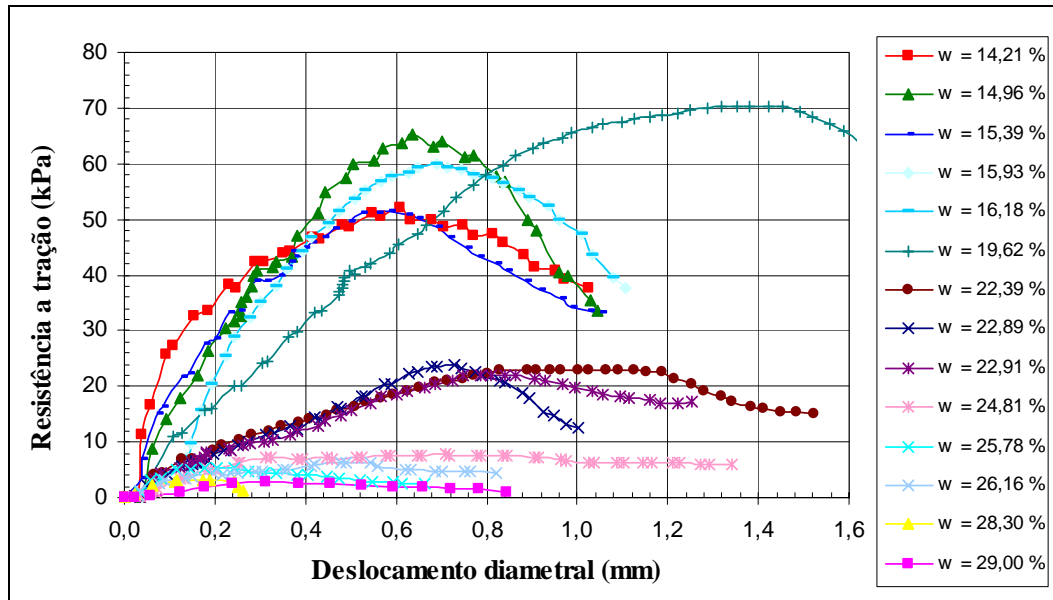


Figura 49: Curvas de resistência a tração versus deslocamento diametral.

6.3.

Ensaio de Cisalhamento Direto com Sucção Controlada

Serão apresentados a seguir os resultados obtidos dos 19 ensaios de cisalhamento direto com sucção controlada. Esses 19 ensaios foram divididos em 4 séries de acordo com a tensão normal líquida e sucção mátrica aplicada, conforme mostrado na tabela 7.

6.3.1.

Ensaio com Tensão Normal Líquida Constante

Durante a fase de adensamento, aguardou-se tanto a estabilização do deslocamento vertical quanto a equalização da sucção mátrica aplicada. Esta última durava cerca de 48 a 72 horas, dependendo da quantidade de água que entrava ou saía da amostra. Em outras palavras, o tempo de equalização da sucção dependia da diferença entre a sucção mátrica aplicada e a sucção mátrica natural do corpo de prova.

Ao longo da fase de cisalhamento, eram registradas leituras da variação volumétrica de água da amostra ao longo do tempo. Os valores do teor de umidade, calculados através do sistema de medição de variação volumétrica, foram similares a aqueles obtidos no final do ensaio a partir da secagem em estufa, sendo que a diferença máxima encontrada foi de 8,16%.

Em todos os ensaios realizados, a resistência ao cisalhamento aumenta com o aumento do deslocamento horizontal, acarretando em um enrijecimento do material. Em relação à variação de volume da amostra, foi observado que quanto maior o valor de sucção mátrica aplicada, menor é a contração do solo.

As tabelas 15, 16 e 17 apresentam, respectivamente, os índices físicos antes do ensaio, após a fase de adensamento e finais dos corpos de provas para os ensaios realizados.

Tabela 15: Índices físicos iniciais dos corpos de prova.

Série	Ensaio	Pressões aplicadas		Índices físicos iniciais			
		Tensão normal líquida (kPa)	Sucção mátrica (kPa)	γ_n (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	w _{real} (%)	e
I	CDSC 1	50	25	17,51	13,84	26,46	0,938
	CDSC 2	50	50	16,29	13,66	19,25	0,964
	CDSC 3	50	100	16,65	13,81	20,61	0,943
	CDSC 4	50	150	17,15	14,17	21,02	0,893
	CDSC 5	50	200	17,48	14,15	23,57	0,896
II	CDSC 6	100	25	17,03	13,73	24,04	0,954
	CDSC 7	100	50	17,28	14,45	19,60	0,857
	CDSC 8	100	100	16,68	14,13	17,98	0,898
	CDSC 9	100	150	17,36	14,00	24,03	0,916
	CDSC 10	100	200	17,06	13,59	25,56	0,975
III	CDSC 11	200	25	17,05	13,74	24,10	0,953
	CDSC 12	200	50	17,19	13,91	23,59	0,929
	CDSC 13	200	100	17,34	13,85	25,23	0,937
	CDSC 14	200	150	17,34	13,91	24,63	0,928
	CDSC 15	200	200	17,31	13,94	24,19	0,924
IV	CDSC 16	100	50	17,22	13,92	23,71	0,927
	CDSC 17	100	100	17,36	13,92	24,69	0,927
	CDSC 18	100	150	17,11	13,76	24,28	0,949
	CDSC 19	100	200	17,57	13,89	26,51	0,932

Tabela 16: Índices físicos dos corpos de prova após a fase de adensamento.

Série	Ensaio	Pressões aplicadas		Índices físicos após o adensamento				
		Tensão normal líquida (kPa)	Sucção mátrica (kPa)	γ_n (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	W_{calc} (%)	e	$\Delta e / (1+e_0)$
I	CDSC 1	50	25	20,66	16,42	25,77	0,680	0,133
	CDSC 2	50	50	18,97	15,81	20,03	0,657	0,156
	CDSC 3	50	100	18,50	15,38	20,26	0,631	0,161
	CDSC 4	50	150	18,63	15,46	20,46	0,612	0,149
	CDSC 5	50	200	20,03	16,40	22,16	0,599	0,157
II	CDSC 6	100	25	19,48	15,71	24,02	0,708	0,126
	CDSC 7	100	50	18,45	15,39	19,87	0,634	0,120
	CDSC 8	100	100	18,29	15,58	17,39	0,649	0,131
	CDSC 9	100	150	18,77	15,35	22,31	0,658	0,135
	CDSC 10	100	200	18,31	14,82	23,56	0,698	0,140
III	CDSC 11	200	25	20,13	16,25	23,89	0,759	0,099
	CDSC 12	200	50	19,59	15,97	22,68	0,725	0,106
	CDSC 13	200	100	19,59	15,78	24,11	0,755	0,094
	CDSC 14	200	150	20,05	16,23	23,53	0,689	0,124
	CDSC 15	200	200	19,42	15,87	22,38	0,699	0,117
IV	CDSC 16	100	50	19,44	15,79	23,08	0,699	0,119
	CDSC 17	100	100	18,69	15,13	23,52	0,684	0,126
	CDSC 18	100	150	18,40	15,01	22,57	0,690	0,133
	CDSC 19	100	200	20,38	16,42	24,08	0,680	0,131

Tabela 17: Índices físicos finais dos corpos de prova.

Série	Ensaio	Pressões aplicadas		Índices físicos após o cisalhamento				
		Tensão normal líquida (kPa)	Sucção mátrica (kPa)	γ_n (kN/m ³)	γ_a (kN/m ³)	W _{calc} (%)	W _{real} (%)	e
I	CDSC 1	50	25	22,18	17,63	25,81	26,35	0,530
	CDSC 2	50	50	20,15	16,62	21,28	21,04	0,587
	CDSC 3	50	100	19,17	15,79	21,39	22,99	0,688
	CDSC 4	50	150	19,31	15,96	20,94	21,80	0,682
	CDSC 5	50	200	20,30	16,62	22,16	23,32	0,633
II	CDSC 6	100	25	20,82	16,74	24,41	24,40	0,598
	CDSC 7	100	50	19,29	15,94	21,03	22,90	0,663
	CDSC 8	100	100	18,98	16,07	18,13	18,85	0,667
	CDSC 9	100	150	18,99	15,52	22,35	23,24	0,753
	CDSC 10	100	200	18,56	15,04	23,37	23,36	0,815
III	CDSC 11	200	25	21,45	17,27	24,22	24,88	0,552
	CDSC 12	200	50	20,69	16,78	23,34	24,17	0,602
	CDSC 13	200	100	20,33	16,32	24,62	25,24	0,652
	CDSC 14	200	150	20,74	16,77	23,72	25,18	0,612
	CDSC 15	200	200	19,80	16,19	22,30	24,26	0,682
IV	CDSC 16	100	50	20,37	16,41	24,13	23,86	0,629
	CDSC 17	100	100	19,42	15,69	23,80	25,30	0,722
	CDSC 18	100	150	18,85	15,39	22,49	23,00	0,768
	CDSC 19	100	200	20,80	16,83	23,58	24,54	0,632

6.3.1.1.

Série I

A primeira série de ensaios é composta de 5 ensaios onde é mantida constante a tensão normal líquida ($\sigma-u_a$) em torno de 50kPa e aplica-se valores de sucção mátrica de valores aproximados de 25, 50, 100, 150 e 200kPa.

Na figura 50 estão mostradas as curvas deslocamento vertical e variação volumétrica de água em função do tempo, referentes à fase de adensamento. As curvas tensão cisalhante, deslocamento vertical e variação volumétrica em função do tempo, obtidas para os ensaios da série I, estão apresentadas na figura 51.

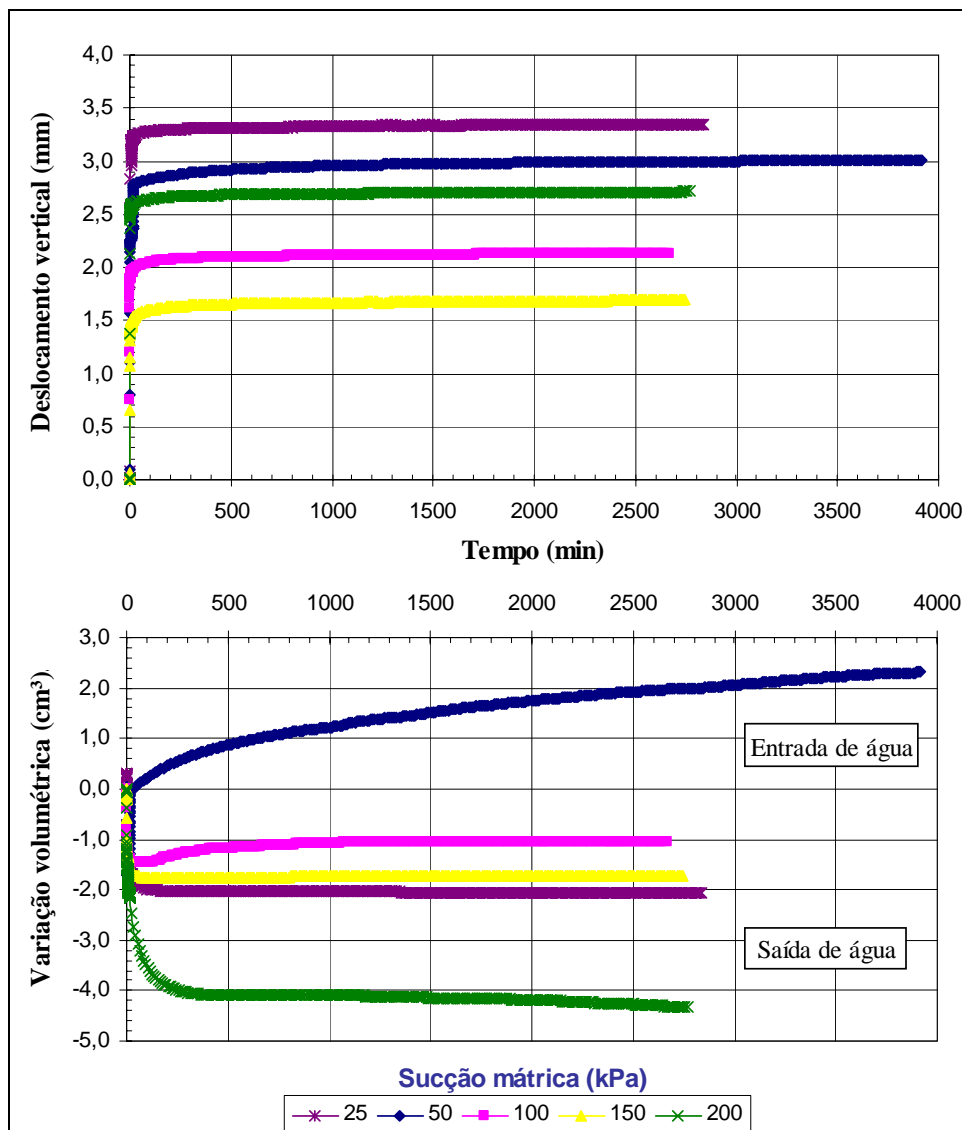


Figura 50: Curvas de variação volumétrica e deslocamento vertical em função do tempo (série I).

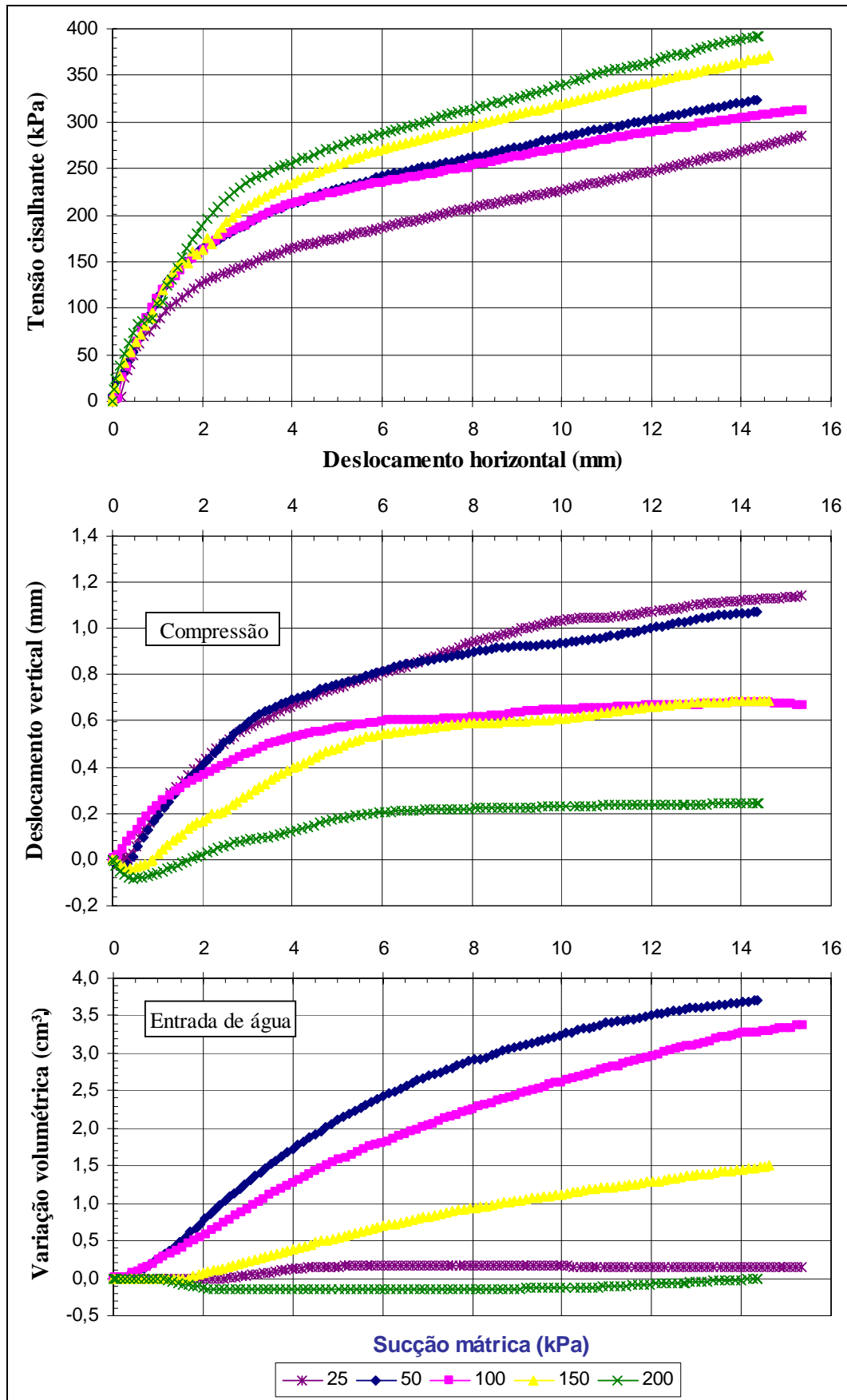


Figura 51: Curvas tensão cisalhante, deslocamento vertical e variação volumétrica em função do tempo (série I).

6.3.1.2.

Série II

A segunda série de ensaios é composta de 5 ensaios onde é mantida constante a tensão normal líquida ($\sigma-u_a$) em torno de 100kPa e aplica-se valores de sucção mátrica de valores aproximados de 25, 50, 100, 150 e 200kPa.

Na figura 52 estão mostradas as curvas deslocamento vertical e variação volumétrica de água em função do tempo, referentes à fase de adensamento. As curvas tensão cisalhante, deslocamento vertical e variação volumétrica em função do tempo, obtidas para os ensaios da série II, estão apresentadas na figura 53.

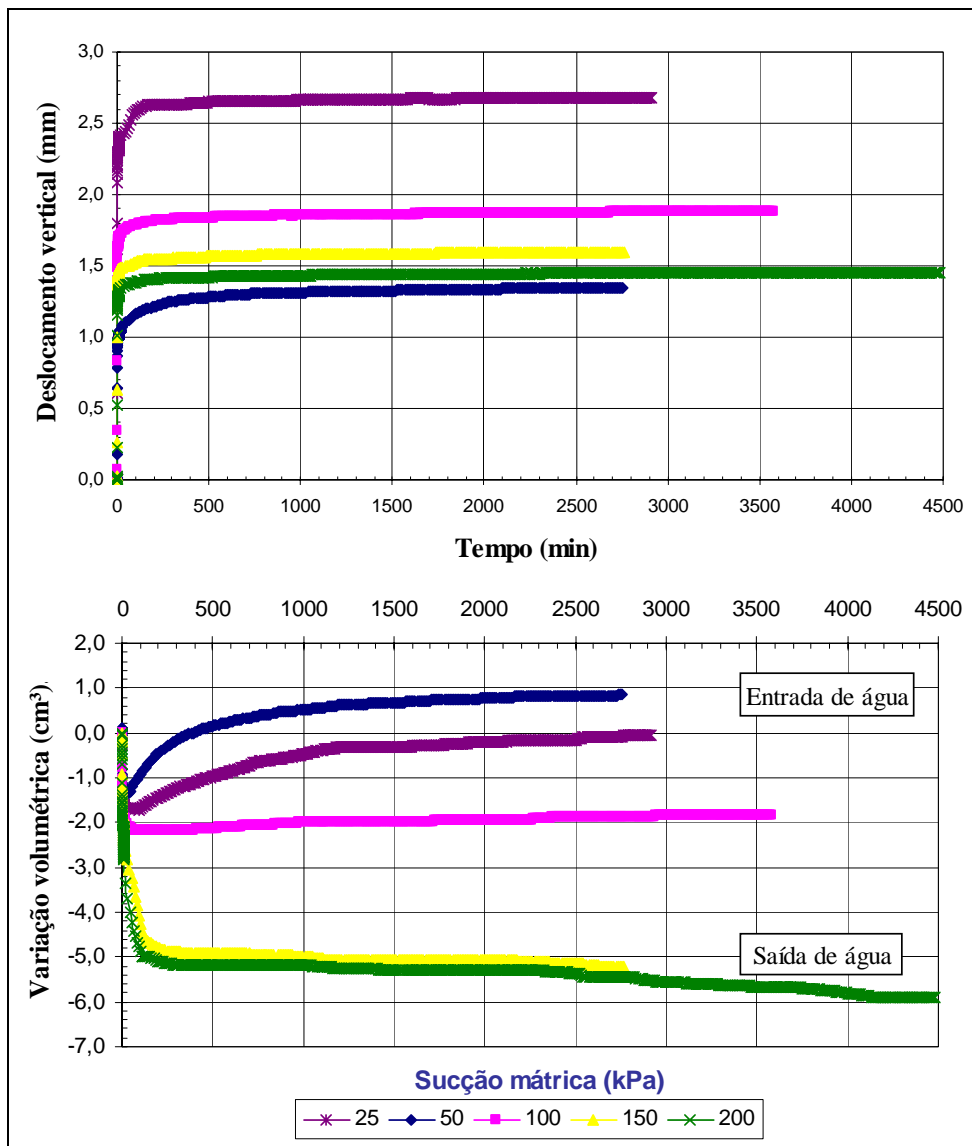


Figura 52: Curvas de variação volumétrica e deslocamento vertical em função do tempo (série II).

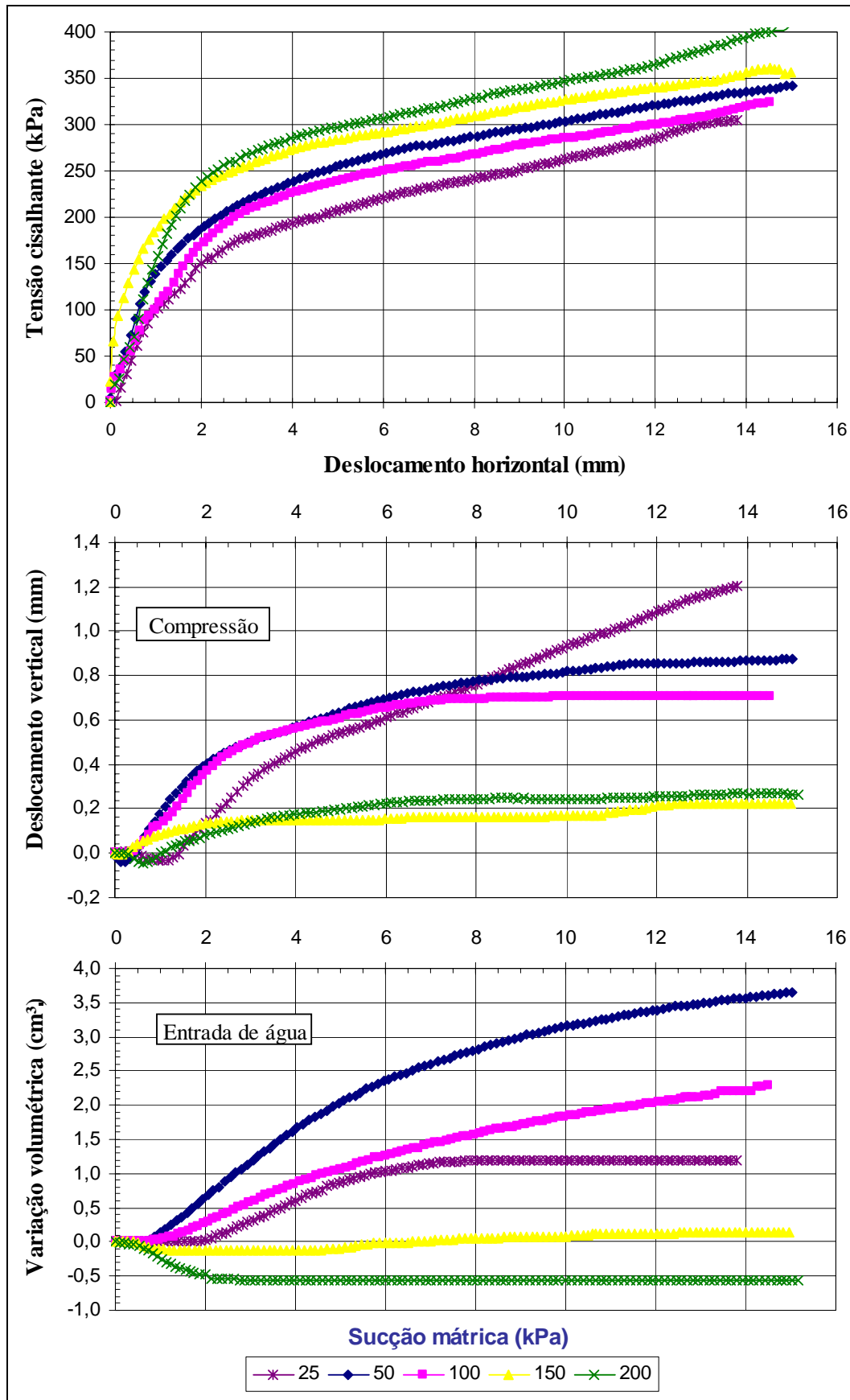


Figura 53: Curvas tensão cisalhante, deslocamento vertical e variação volumétrica em função do tempo (série II).

6.3.1.3.

Série III

A terceira série de ensaios é composta de 5 ensaios onde é mantida constante a tensão normal líquida ($\sigma-u_a$) em torno de 200kPa e aplica-se valores de sucção mátrica de valores aproximados de 25, 50, 100, 150 e 200kPa.

Na figura 54 estão mostradas as curvas deslocamento vertical e variação volumétrica de água em função do tempo, referentes à fase de adensamento. As curvas tensão cisalhante, deslocamento vertical e variação volumétrica em função do tempo, obtidas para os ensaios da série III, estão apresentadas na figura 55.

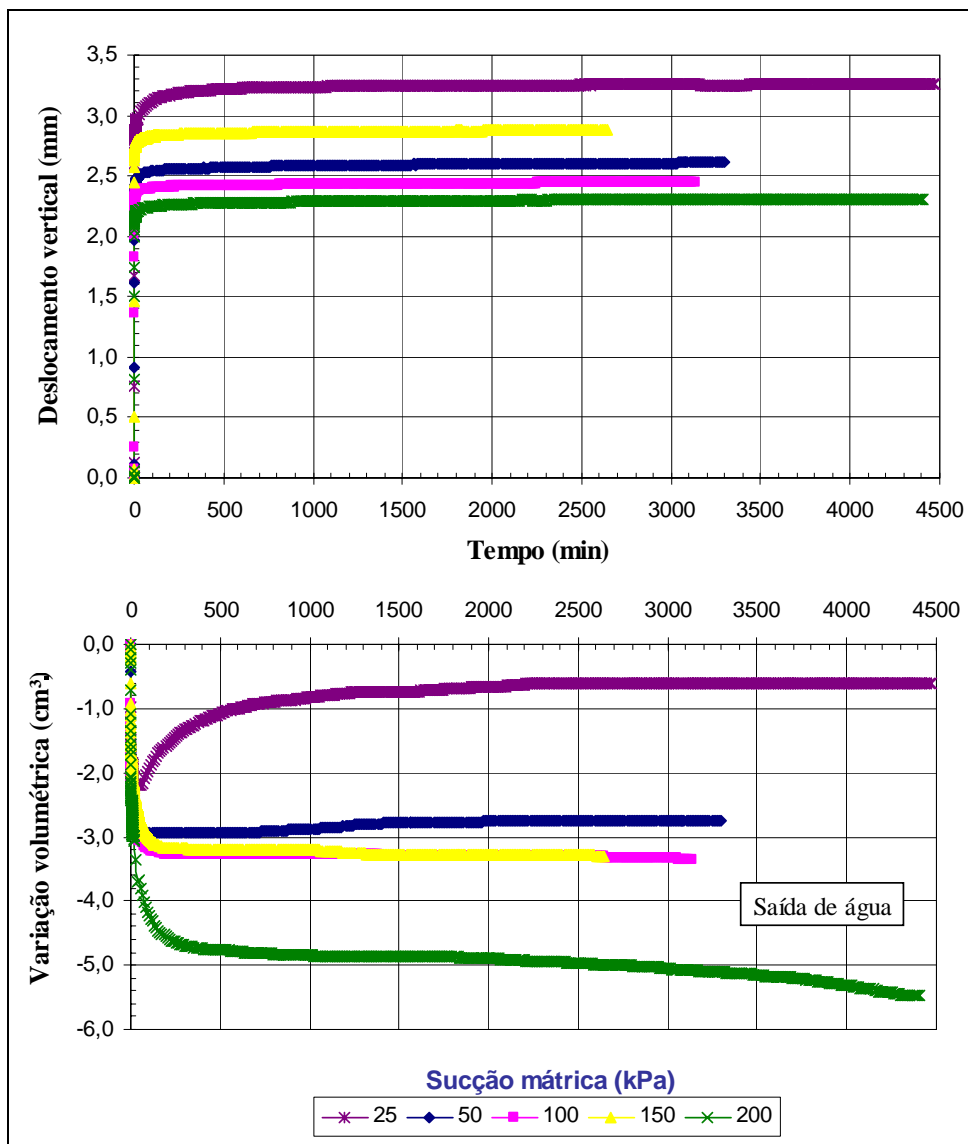


Figura 54: Curvas de variação volumétrica e deslocamento vertical em função do tempo (série III).

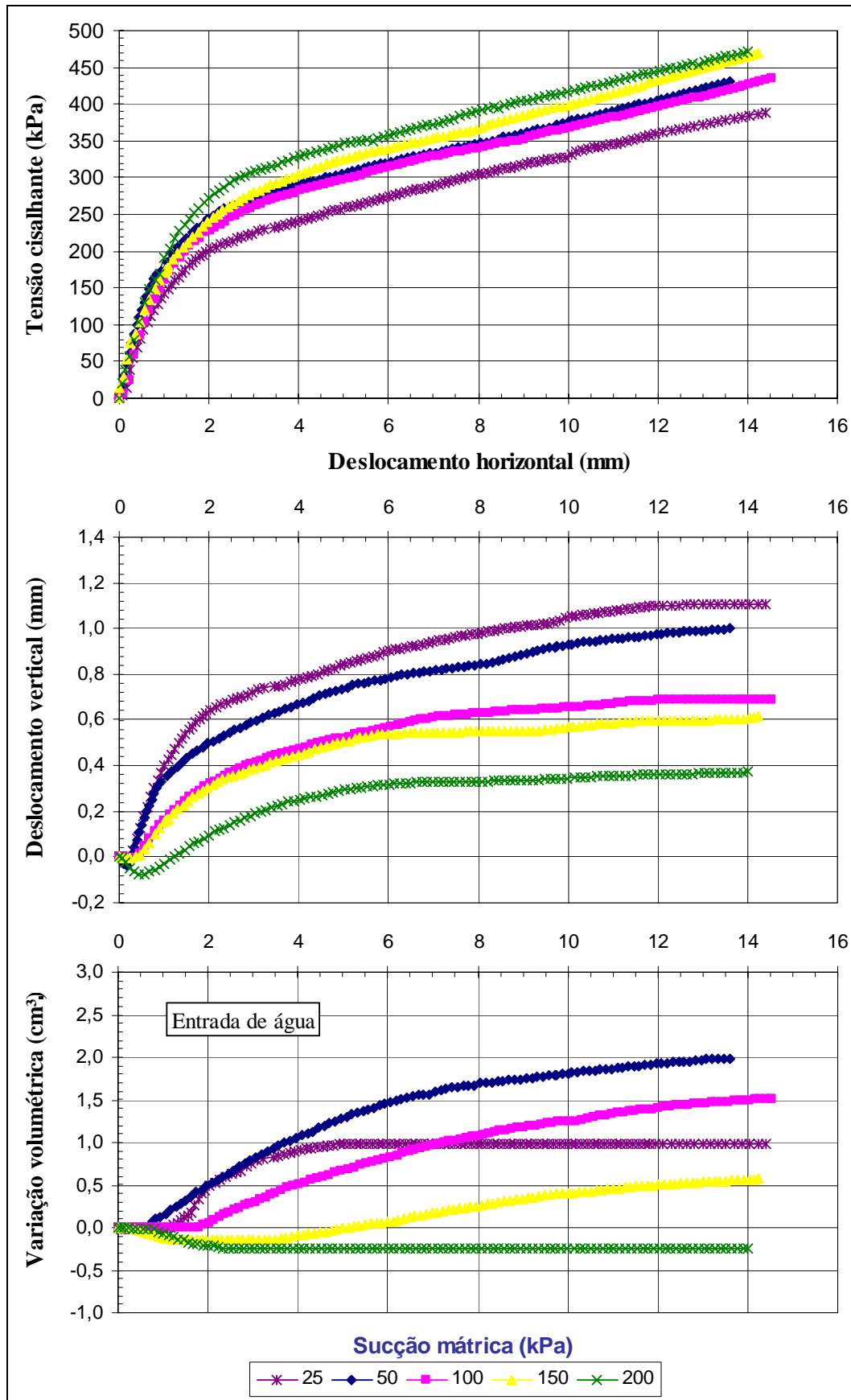


Figura 55: Curvas tensão cisalhante, deslocamento vertical e variação volumétrica em função do tempo (série III).

6.3.1.4.

Série IV

A quarta série de ensaios é composta de 4 ensaios onde é mantida constante a tensão normal líquida ($\sigma-u_a$) em torno de 100kPa e aplica-se valores de sucção mátrica de valores aproximados de 50, 100, 150 e 200kPa. Nesta série, a velocidade de cisalhamento é menor que nas demais, com o objetivo de avaliar a influência da mesma na resistência ao cisalhamento do solo.

Na figura 56 estão mostradas as curvas deslocamento vertical e variação volumétrica de água em função do tempo, referentes à fase de adensamento. As curvas tensão cisalhante, deslocamento vertical e variação volumétrica em função do tempo, obtidas para os ensaios da série IV, estão apresentadas na figura 57.

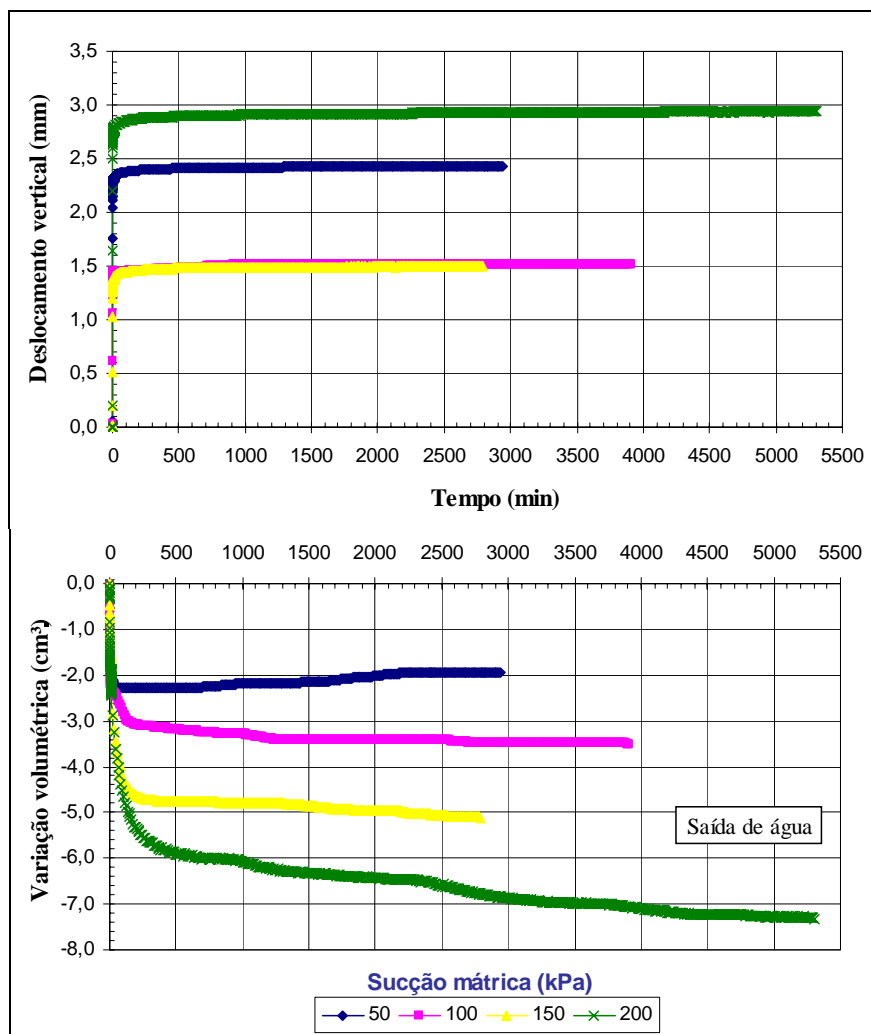


Figura 56: Curvas de variação volumétrica e deslocamento vertical em função do tempo (série IV).

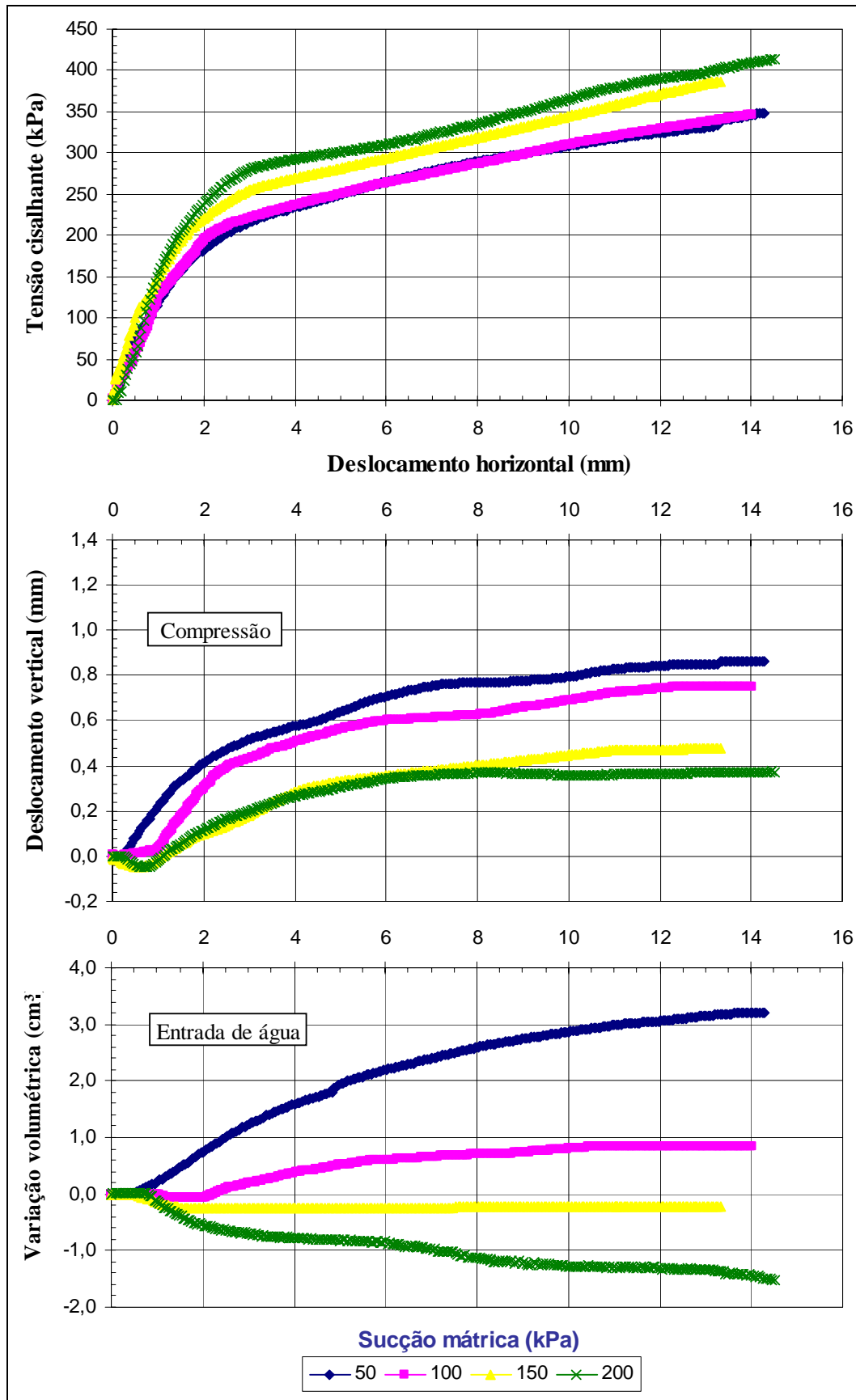


Figura 57: Curvas tensão cisalhante, deslocamento vertical e variação volumétrica em função do tempo (série IV).

6.3.2.

Ensaio com Sucção Mátrica Constante

Os resultados apresentados anteriormente, serão mostrados agora em função da tensão normal líquida aplicada, para os ensaios com o mesmo valor de sucção mátrica, de acordo com a tabela 18.

Tabela 18: Apresentação dos resultados em função da tensão normal líquida aplicada.

Figura	Ensaio	Sucção mátrica (kPa)	Tensão normal líquida (kPa)
58	CDSC 1	25	50
	CDSC 6	25	100
	CDSC 11	25	200
59	CDSC 2	50	50
	CDSC 7	50	100
	CDSC 12	50	200
	CDSC 16	50	100
60	CDSC 3	100	50
	CDSC 8	100	100
	CDSC 13	100	200
	CDSC 17	100	100
61	CDSC 4	150	50
	CDSC 9	150	100
	CDSC 14	150	200
	CDSC 18	150	100
62	CDSC 5	200	50
	CDSC 10	200	100
	CDSC 15	200	200
	CDSC 19	200	100

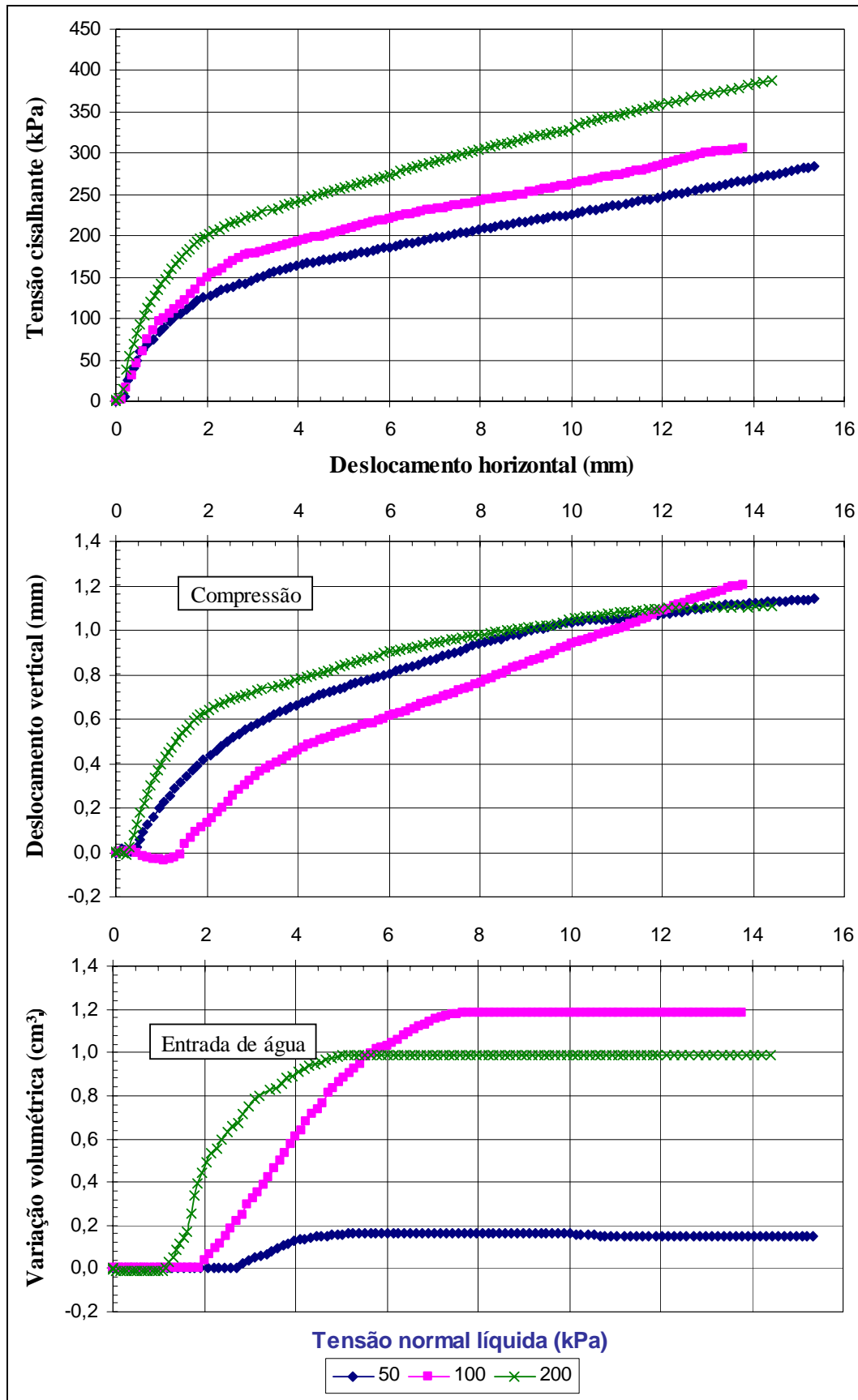


Figura 58: Curvas tensão cisalhante, deslocamento vertical e variação volumétrica em função do tempo (sucção mátrica constante de 25kPa).

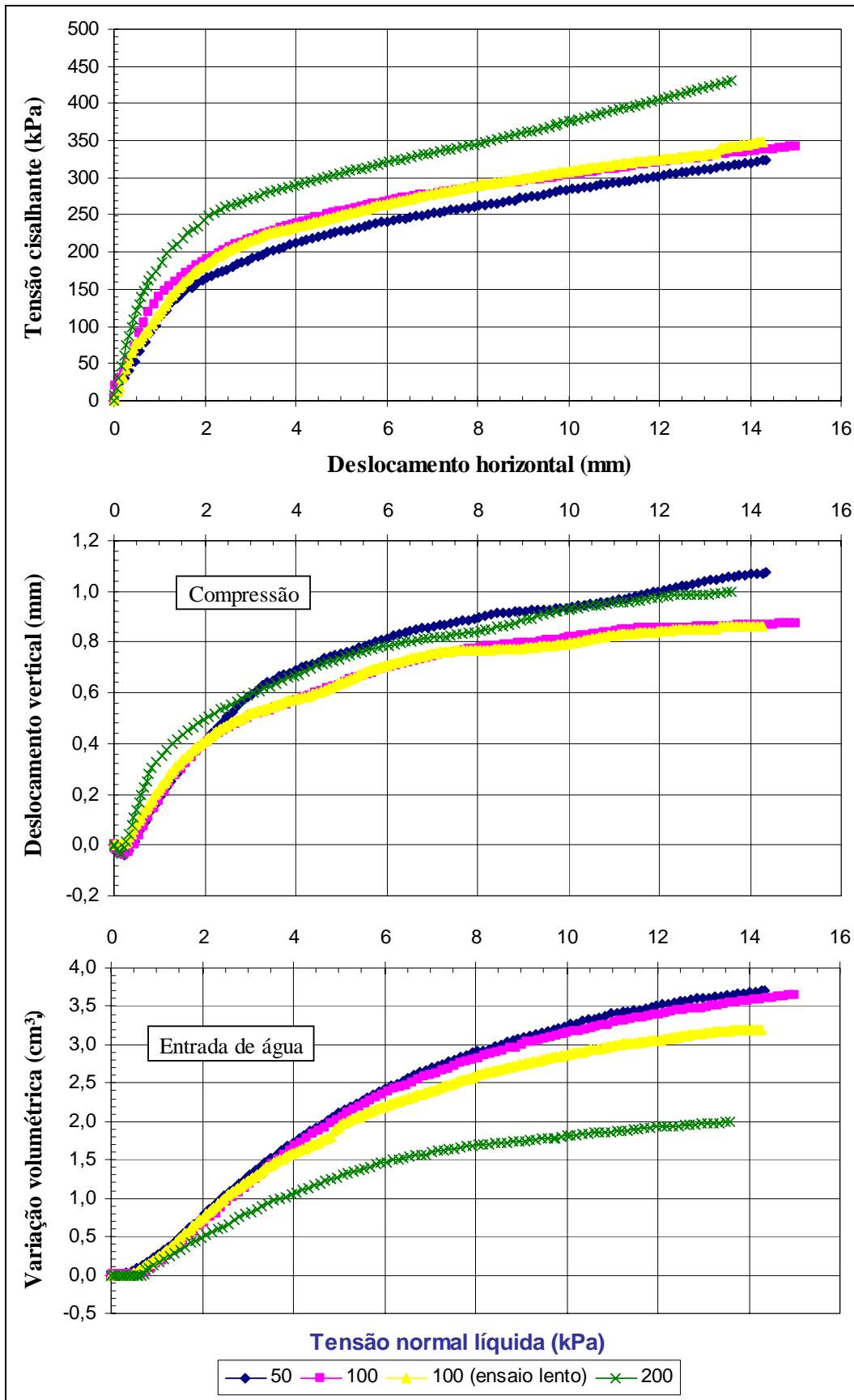


Figura 59: Curvas tensão cisalhante, deslocamento vertical e variação volumétrica em função do tempo (sucção mátrica constante de 50kPa).

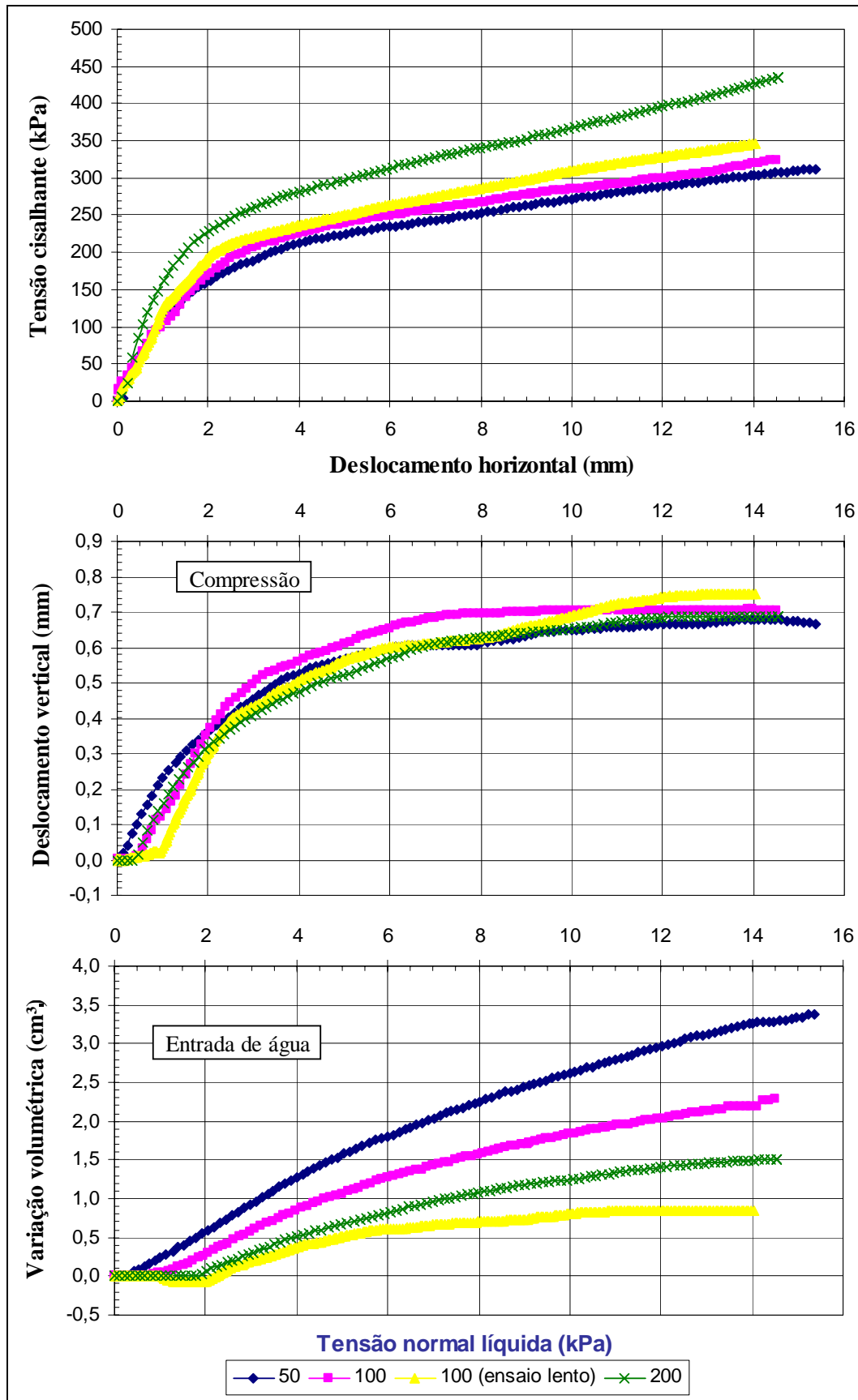


Figura 60: Curvas tensão cisalhante, deslocamento vertical e variação volumétrica em função do tempo (sucção mátrica constante de 100kPa).

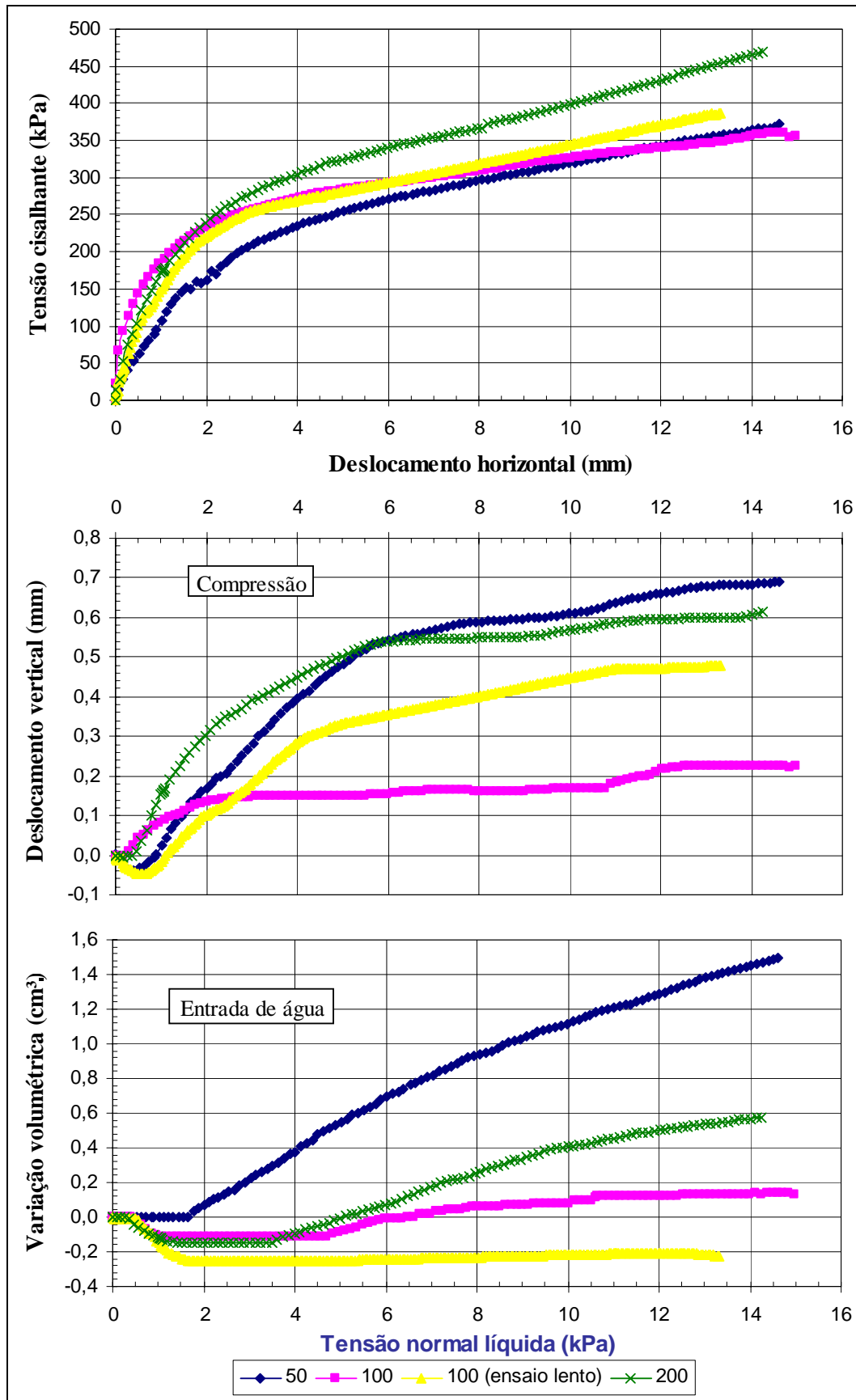


Figura 61: Curvas tensão cisalhante, deslocamento vertical e variação volumétrica em função do tempo (sucção mátrica constante de 150kPa).

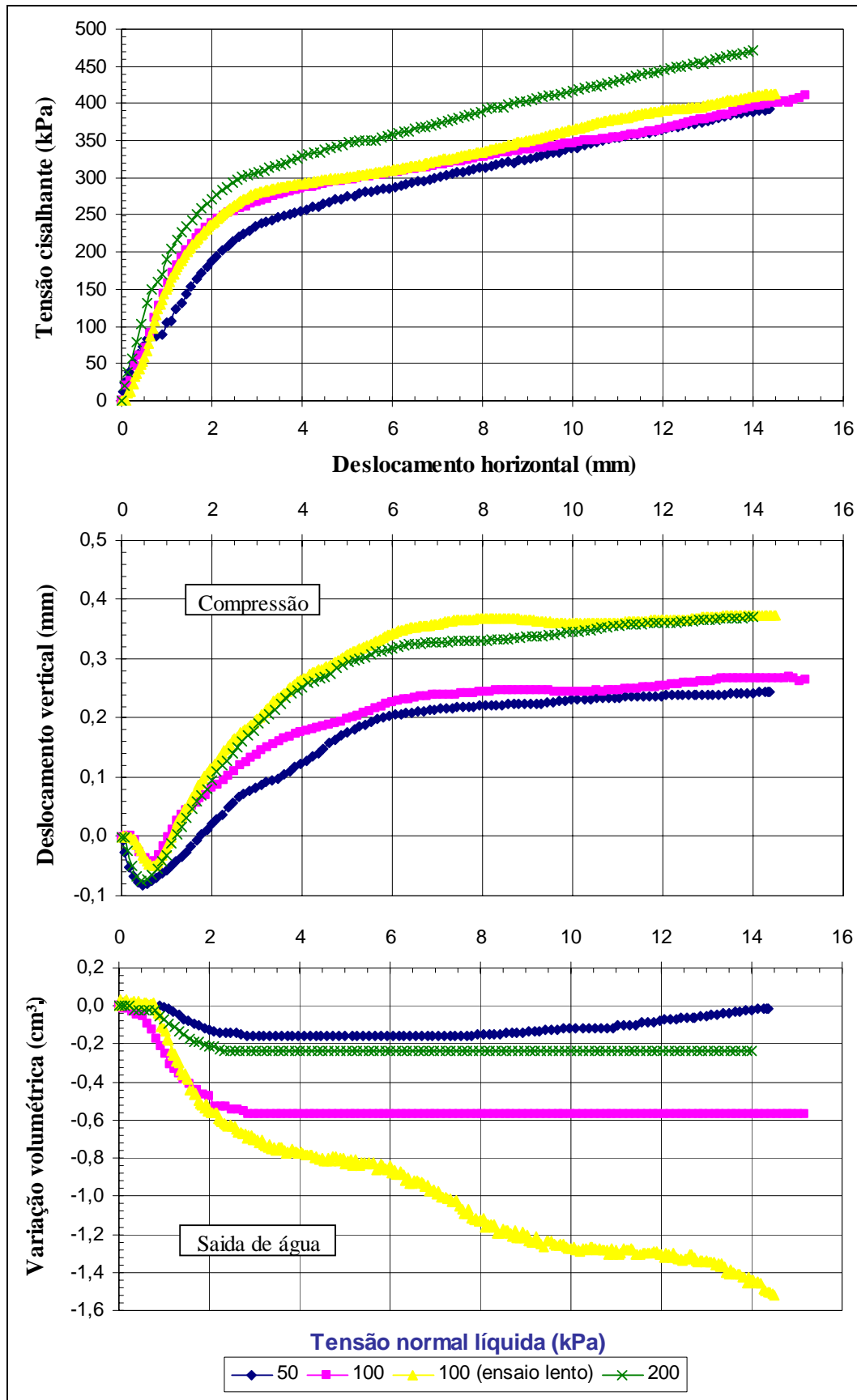


Figura 62: Curvas tensão cisalhante, deslocamento vertical e variação volumétrica em função do tempo (sucção mátrica constante de 200kPa).