

Resistência tênsil de agregados de solos com argilominerais 2:1

**DAVI ALEXANDRE VIEIRA⁽¹⁾, JOSÉ MIGUEL REICHERT⁽²⁾, DALVAN JOSÉ REINERT⁽²⁾,
CLÁUDIA ALESSANDRA PEIXOTO DE BARROS⁽³⁾, MARCELO IVAN MENTGES⁽³⁾, VINÍCIUS
SHERER HILBIG⁽³⁾ & DAVID PERES DA ROSA⁽⁴⁾**

RESUMO – Este estudo teve como objetivo avaliar a resistência tênsil (RT) de solos com argilominerais 2:1. Foram realizadas amostragens em seis solos do Rio Grande do Sul, sendo coletadas amostras dos horizontes A e B de cada solo. As amostragens foram feitas em cortes de estradas, sendo analisados os horizontes A e B de cada solo. Para a realização dos testes de resistência tênsil, os agregados foram submetidos às tensões de 6 kPa e 33 kPa, sendo que para cada tensão foram utilizados 25 agregados de cada horizonte. O ensaio de tensão indireta foi realizado usando um aparelho simples. Os solos Vertissolo Ebânico (VEo) e Planossolo Háplico eutrófico arênico (SXea) apresentaram a maior RT para as tensões de 6 e 33 kPa, respectivamente, no horizonte A e B. Entre os menos resistentes houve variação a 6 kPa, sendo os solos com menor RT o SXea e Planossolo Háplico eutrófico típico (SXet), respectivamente, nos horizontes A e B. Na tensão 33kPa, observou-se uma menor resistência no SXea para o horizonte A e no Luvisolo Crômico (TCo) para o horizonte B. Dentre os fatores que podem interferir na RT, a saturação por bases foi a variável mais significativa na tensão de 6 kPa, sendo que em 33 kPa nenhuma variável apresentou significância estatística. Para a tensão de 33 kPa não foi possível ajustar nenhum modelo matemático. Para a tensão de 6 kPa a relação entre os valores observados e estimados apresentaram baixa dispersão até 50 kPa de RT. Pela equação obtida na literatura, na tensão de 6 kPa a equação ajustada mostrou boa relação entre os valores observados e estimados, enquanto que para a tensão de 33 kPa a equação subestimou os valores.

Introdução

Devido às diferentes formações geológicas, o Rio Grande do Sul apresenta uma diversidade de classes de solos, com características distintas, exigindo formas de uso e manejo específicas. Na fração argila desses solos, predominam três grupos de argilominerais: os argilominerais 1:1, os óxidos e os argilominerais 2:1.

Os argilominerais 2:1, constituídos de duas lâminas de silício e uma de alumínio em cada camada. Esse grupo tem como principais características à alta capacidade de troca de cátions (CTC), a alta área superficial específica (ASE) e a substituição isomórfica. Esses argilominerais ocorrem em solos pouco desenvolvidos e pouco profundos. As regiões da Depressão Central e Sul do estado são os locais de maior ocorrência desses argilominerais. Como exemplos desse grupo têm-se a vermiculita e a ilita.

A presença de diferentes argilominerais na fração argila dos solos confere aos mesmos distintas características físico-químicas, as quais podem afetar sua capacidade produtiva. A escolha do solo para o cultivo pode ser feita por meio de indicadores de qualidade. Para Islam & Weil [1], os indicadores podem ser distinguidos em três grandes grupos: os efêmeros, cujas alterações ocorrem em curto espaço de tempo ou são modificados pelas práticas de cultivo; os permanentes, que são inerentes ao solo; e os indicadores intermediários. Esses demonstram influência na capacidade do solo em desempenhar suas funções.

O uso, o manejo, o nível e o tempo de utilização do solo promovem alterações nos indicadores efêmeros e intermediários, principalmente na estrutura do solo, a qual está relacionada à sua agregação. Na maioria dos casos, o uso intensivo do solo causa redução da estabilidade dos agregados, deixando os solos mais suscetíveis aos processos erosivos, diminuindo sua capacidade produtiva. Para um mesmo solo, diferentes práticas de manejo podem afetar distintamente suas propriedades, incluindo os processos de agregação [2, 3]. Diante de um recurso natural de grande utilidade e complexidade, é de fundamental importância o monitoramento da qualidade do solo mediante avaliações de seus atributos físicos, para manutenção da sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

A resistência tênsil (RT) é definida como a tensão ou força por unidade de área requerida para que o solo se rompa mediante a aplicação de uma tensão (Dexter & Watts [4]). Esse parâmetro é influenciado por diversos fatores como a umidade do solo (Utomo & Dexter [5]), o conteúdo de argila dispersa no solo, os ciclos de umedecimento e secagem, o teor de matéria orgânica do solo (Dexter & Watts [4]), o teor e a mineralogia da fração

⁽¹⁾ Acadêmico do curso de Agronomia, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Bolsista do CNPq, Av. Roraima, 1000, prédio 44, Santa Maria, RS, CEP 97105-900. E-mail: daviperigoti@yahoo.com.br.

⁽²⁾ Engenheiro Agrônomo, Professor Titular do Departamento de Solos, Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima, 1000, prédio 44, Santa Maria, RS, CEP 97105-900, Bolsista do CNPq. E-mail: reicher@smail.ufsm.br; reinert@ccr.ufsm.br.

⁽³⁾ Acadêmico (a) do curso de Agronomia, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima, 1000, prédio 44, Santa Maria, RS, CEP 97105-900. E-mail: marcelomentges@gmail.com; dinhaufsm@gmail.com; vsilbig@yahoo.com.br.

⁽⁴⁾ Engenheiro Agrícola, Doutorando do PPG em Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima, 1000, prédio 44, Santa Maria, RS, CEP 97105-900. Bolsista Capes. E-mail: david.dpr@ibestvip.com.br

argila (Kemper [6]) e os materiais cimentantes (Kay & Dexter [7]), além das condições climáticas, práticas de manejo e características do solo (Kay & Dexter [7]). Neste contexto, a resistência tênsil surge como um bom indicador de qualidade física do solo.

Este trabalho teve por objetivo avaliar a resistência tênsil de agregados de solos do Rio Grande do Sul, apresentando em sua constituição argilominerais 2:1.

Palavras-Chave: indicador de qualidade, matéria orgânica.

Material e métodos

O trabalho foi desenvolvido nos anos de 2006 e 2007. Foram realizadas amostragens em seis solos do Rio Grande do Sul, onde, segundo classificação de Köpen, ocorrem os tipos climáticos são Cfa e Cfb. As unidades de mapeamento (UM) (Streck et al. [8]) e os solos (EMBRAPA [9]) analisados foram: (i) UM Escobar - Vertissolo Ebânico órtico típico (VEo); (ii) UM Cambaí - Luvisolo Crômico órtico típico (TCo); (iii) UM Pirai - Luvisolo Hipocrômico órtico típico (TPo); (iv) UM Vacacaí - Planossolo Háplico eutrófico arênico (SXea); (v) UM Santa Maria - Argissolo Bruno-Acinzentado alítico típico (PBACal) e (vi) UM São Gabriel - Planossolo Háplico eutrófico típico (SXet). Foram coletados aproximadamente 5 kg de solo por amostra. As amostragens foram feitas em cortes de estradas, sendo analisados os horizontes A e B de cada solo. Os solos apresentavam cobertura natural, predominando gramíneas, e em pousio, sem calagem e adubação.

Para a realização dos testes de resistência tênsil, os agregados foram submetidos às tensões de 6 kPa e 33 kPa. Para a tensão de 6 kPa os agregados foram colocados sob uma mesa de tensão e saturados durante 24 horas. Em seguida, a mesa de tensão foi ajustada para aplicar uma tensão de 6 kPa nas amostras, durante 48 horas. Para a tensão de 33 kPa as amostras foram saturadas durante 24 horas sob uma placa porosa e colocadas em uma câmara de pressão de Richards (Klute, [10]), aplicando uma tensão de 33 kPa sobre a amostra, durante 48 horas. Utilizou-se 50 agregados para cada horizonte de solo, sendo 25 amostras para cada tensão.

O ensaio de tensão indireta foi realizado usando um aparelho simples baseado no modelo de Horn & Dexter [11]. Antes de realizar o ensaio, cada agregado foi pesado. A resistência tênsil (RT) foi calculada segundo Dexter [12]:

$$RT = 0,576 * (P/D^2)$$

sendo que: 0,576 é uma constante de proporcionalidade que reflete a relação entre o estresse compressivo aplicado e o estresse tênsil gerado no interior do agregado, P é a força aplicada na ocasião da ruptura (N) e D^2 o diâmetro efetivo de cada agregado (m). O diâmetro efetivo foi calculado segundo Watts & Dexter [13]:

$$D = (D1 + D2 + D3)/3$$

sendo D o diâmetro médio (mm); e D1, D2 e D3 são as dimensões do diâmetro do agregado.

Após a realização dos ensaios, cada agregado foi utilizado para determinação da umidade, sendo seco em estufa, a 105 °C, até peso constante.

Avaliaram-se também as propriedades químicas e físicas do solo. Na análise química avaliou-se o teor de matéria orgânica do solo, saturação por bases, saturação por alumínio e a capacidade de troca de cátions. As análises físicas avaliadas foram a textura do solo e a argila dispersa em água, pelo método da pipeta (EMBRAPA [14]).

A partir dos dados de RT e propriedades químicas e físicas realizaram-se análises de correlação e regressão linear simples e múltipla pelo procedimento "stepwise" utilizando o programa SAS (Statistical Analysis System [15]).

Resultados e discussão

Os valores médios de resistência tênsil (RT), umidade do solo, análise granulométrica, argila dispersa, teor de matéria orgânica (MO), saturação por bases e alumínio e CTC_{pH7} dos solos em estudo estão dispostos na tabela 1. Na tensão de 6 kPa, o solo VEO apresentou, no horizonte A, a maior RT (101 kPa). No mesmo horizonte, o solo que obteve menor RT foi o solo SXea com valor médio de 32 kPa. Isso se deve, provavelmente, ao maior teor de areia e menor teor de MO nesse solo. No solo VEO o maior teor de MO foi o principal responsável pelo aumento na RT. É importante salientar que o teor de MO desse foi o maior de todos os solos estudados.

A matéria orgânica pode ser incorporada dentro de poros pequenos, entre as unidades do solo classificadas como "domínios argilosos" e/ou "clusters" (agrupamentos maiores), contribuindo na estabilização de microagregados e, como consequência, incrementado a resistência de agregados de tamanho maior (Dexter [11]).

No horizonte B, o solo SXea apresentou a maior RT (97 kPa) e o solo SXet apresentou menor RT, com valor médio de 14 kPa. A baixa RT no solo SXet, pode estar associada ao baixo teor de MO, juntamente com a baixa saturação por bases.

Nas amostras que foram equilibradas na tensão de 33 kPa, novamente os solos VEO e SXea mostraram-se mais resistentes, respectivamente nos horizontes A e B. Os solos SXea e TCo apresentaram uma menor RT, respectivamente nos horizontes A e B. Este resultado se deve, provavelmente, a alta percentagem de areia em ambos os horizontes.

Em geral, com a redução da umidade houve um incremento na RT. Contudo, esse fato pode não estar relacionado à umidade do solo, mas sim aos fatores que influenciam na capacidade de armazenamento de água do solo, como sua estrutura e conteúdos de argila e matéria orgânica.

Na tensão de 6 kPa houve correlação da RT com saturação por bases V(%) e, para as amostras equilibradas na tensão de 33 kPa, não ocorreu correlação da RT com nenhum dos parâmetros

analisados (tabela 2). Com o aumento da saturação por bases, ocorreu um incremento na RT (figura 1). Esse aumento na resistência pode ser função do incremento de cargas elétricas, favorecendo, assim, a formação de ligações entre partículas minerais e/ou partículas minerais e orgânicas (Imhoff, [15]).

Pela análise de regressão linear múltipla, na tensão de 6 kPa foi significativa a variável saturação por bases (V), resultando na equação: $RT = 14,515 + 0,758 \times V$ ($R^2 = 0,43$; $P < 0,0202$). Para a tensão de 33 kPa nenhuma variável foi significativa, não sendo possível estimar um modelo matemático para essa tensão.

Na tabela 3 estão dispostos os valores de RT observados para as tensões de 6 e 33 kPa, e estimados para a tensão de 6 kPa pela equação ajustada pelos dados do presente estudo ($RT = 14,515 + 0,758 \times V$). Para a tensão de 33 kPa não houve modelo matemático significativo, não sendo possível estimar valores de RT. A figura 2 apresenta graficamente a RT observada e a estimada para a tensão de 6 kPa, com os dados presentes na tabela 3. Observa-se que até, aproximadamente 50 kPa de RT, a relação entre os valores observados e estimados apresentaram baixa dispersão. A partir desse valor, a dispersão dos valores aumentou. Não houve uma relação clara entre sub e superestimação dos valores de RT.

Imhoff [15] obteve uma equação para estimar a RT de Latossolos. No modelo, foram significativas as variáveis argila, silte e matéria orgânica, resultando na equação: $\ln RT = 4,3707 + (-0,0209) \times (\text{argila} + \text{silte}) + (-0,0596) \times (\text{matéria orgânica}) + 0,0015 \times [(\text{argila} + \text{silte}) \times (\text{matéria orgânica})]$.

A tabela 4 apresenta os valores médios de RT observada e estimada pelo modelo Imhoff [15]. Observa-se que a equação não se ajustou para o solo VEO, obtendo valores elevados em relação aos valores observados. Isso se deve ao alto teor de argila, silte e matéria orgânica presente nesse solo, o que levou a superestimação dos valores de RT. A partir dessa tabela, obtivemos a figura 3a para a tensão de 6 kPa e a figura 3b para a tensão de 33 kPa, com exceção do VEO que apresentou valores muito elevados e, portanto, não foram plotados nos gráficos. Para a tensão de 6 kPa, a equação ajustada mostrou boa relação entre os valores observados e estimados. Para a tensão de 33 kPa, a equação subestimou os valores.

Considerações

A resistência ténisil (RT) pode variar nos horizontes A e B de um mesmo solo e entre os solos. Os solos VEO e SXea apresentaram a maior RT para as tensões de 6 e 33 kPa, respectivamente, no horizonte A e B. Entre os menos resistentes houve variação a 6 kPa, sendo os solos com menor RT o SXea e SXet, respectivamente, nos horizontes A e B. Na tensão 33kPa, observou-se uma menor resistência no SXea para o horizonte A e no TCo para o horizonte B.

Dentre os fatores que podem interferir na RT, a saturação por bases foi a variável mais significativa na

tensão de 6 kPa, sendo que em 33 kPa nenhuma variável apresentou significância estatística.

Para a tensão de 33 kPa não foi possível ajustar nenhum modelo matemático. Para a tensão de 6 kPa a relação entre os valores observados e estimados apresentaram baixa dispersão até 50 kPa de RT.

Pela equação obtida na literatura, na tensão de 6 kPa a equação ajustada mostrou boa relação entre os valores observados e estimados, enquanto que para a tensão de 33 kPa a equação subestimou os valores. Para os solos com alto teor de argila, silte e matéria orgânica, como no caso do Vertissolo, a equação superestimou os valores de RT.

Referências

- [1] ISLAM, K.R. & WEIL, R.R. 2000. Soil quality indicator properties in mid-atlantic soils as influenced by conservation management. *J. Soil Water Conser.*, v. 55, p. 69-78.
- [2] ROTH, C.H.; PAVAN, M.A. 1991. Effect of lime and gypsum on clay dispersion and infiltration in samples of a Brazilian Oxisol. *Geoderma*, 48:351-361.
- [3] CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A.L. 1998. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico em um Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 22:527-538.
- [4] DEXTER, A.R. & WATTS, C. 2000. Tensile Strength and Friability. In: SMITH, K. & MULLINS, C. (Ed.) *Soil and environmental analysis. Physical methods*. 2. ed. New York: Marcel Dekker, p. 401-430.
- [5] UTOMO, W.H. & DEXTER, A.R. 1981. Soil friability. *Journal of Soil Science*, 32:203-213.
- [6] KEMPER, W.D.; ROSENAU, R.C.; DEXTER, A.R. 1987. Cohesion development in disrupted soils as affected by clay and organic matter content and temperature. *Soil Science Society of America Journal*, 51: 860-867.
- [7] KAY, B.D. & DEXTER, A.R. , 1992. The influence of dispersive clay and wetting/drying cycles on the tensile strength of a red-brown Earth. *Australian Journal of Soil Research*, 30:297-310.
- [8] STRECK, E.V.; KÄMPF, N.; DALMOLIM, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C.; & SCHNEIDER, P. 2002. *Solos do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: UFRGS. 107p.
- [9] EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. 1999. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Brasília. 412p.
- [10] HORN, R. & DEXTER, A.R. 1989. Dynamics of soil aggregation in an irrigated desert loess. *Soil and Tillage Research*, 13:253-266.
- [11] DEXTER, A.R. 1988. Advances in characterization in soil structure. *Soil and Tillage Research*, 11:199- 38.
- [12] WATTS, C. & DEXTER, A. R. 1998. Soil friability: theory, measurement and the effects of management and organic carbon content. *European Journal of Soil Science*, 29:73-84.
- [13] EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. 1997. *Manual de métodos de análise de solo*. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 212 p.
- [14] STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE. 1991. *SAS/STAT procedure guide for personal computers*. 5. ed. Cary: SAS Institute. 1104p.
- [15] IMHOFF, S. 2002. *Indicadores de qualidade estrutural e trafegabilidade de Latossolos e Argissolos Vermelhos*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, USP, Piracicaba. 94p.

Tabela 1. Valores médios de resistência tênsil (RT), umidade do solo, análise granulométrica, argila dispersa, teor de matéria orgânica, saturação por bases e alumínio e CTC_{pH7} dos seis solos em estudo.

Solo	Hz	RT (kPa)		Ug (%)		Textura (%)			Argila Dispersa	M O	Saturação		CTC _{pH7}
		6kPa	33kPa	6kPa	33kPa	Areia	Silte	Argila	(%)	(%)	Al (%)	V (%)	cmol/dm ³
VEo	A	101	66	38	43	10	44	46	27	7,3	0	81	40
	B	62	65	54	49	7	33	60	40	4	0	88	53
TCo	A	38	56	22	19	45	25	30	13	4,1	5	45	25
	B	36	17	22	19	51	26	23	18	1,5	14	63	17
TPo	A	45	47	27	17	31	40	28	12	1,8	44	29	22
	B	49	94	40	39	21	35	44	28	1,7	11	58	46
SXea	A	32	27	16	14	65	24	11	5	1,8	35	19	12
	B	97	120	22	21	44	24	32	25	0,4	22	45	20
PBACal	A	34	57	13	10	66	20	14	4	2,4	29	27	15
	B	84	112	28	23	47	25	28	26	0,8	4	80	25
SXet	A	40	51	21	16	29	53	18	7	2,1	19	48	12
	B	14	28	28	21	28	42	30	22	0,7	42	22	31

Tabela 2. Coeficiente de determinação (r) e significância da correlação entre a resistência tênsil e as variáveis: areia, silte, argila, argila dispersa, matéria orgânica (MO), saturação por alumínio (Al %), saturação por bases (S %) e capacidade de troca de cátions (CTC_{pH7}).

Resistência Tênsil	Coeficiente de determinação (r) e significância							
	Areia	Silte	Argila	Arg. Disp.	MO	AL (%)	V (%)	CTC _{pH7}
6 kPa	-0.32283 ^{ns}	-0.04165 ^{ns}	0.47551 ^{ns}	0.54802 ^{ns}	0.32534 ^{ns}	-0.57174 ^{ns}	0.65729*	0.30083 ^{ns}
33 kPa	0.17254 ^{ns}	-0.18555 ^{ns}	-0.10046 ^{ns}	-0.09466 ^{ns}	0.08317 ^{ns}	-0.12981 ^{ns}	0.05124 ^{ns}	0.06480 ^{ns}

*P<0,05; ns: não significativo

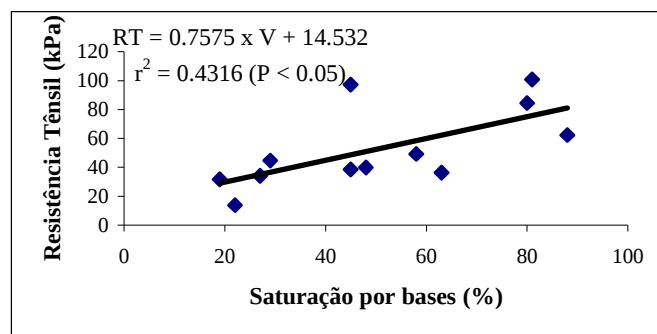


Figura 1. Regressão linear entre a resistência tênsil e saturação por bases na tensão de 6 kPa.

Tabela 3. Valores médios de resistência tênsil (RT) observada e calculada para os seis solos em estudo.

Solo	Hz	RT observada (kPa)		RT estimada (kPa)
		6 kPa	33 kPa	6 kPa*
VEo	A	101	66	76
	B	62	65	81
TCo	A	38	56	49
	B	36	17	62
TPo	A	45	47	36
	B	49	94	58
SXea	A	32	27	29
	B	97	120	49
PBACal	A	34	57	35
	B	84	112	75
SXet	A	40	51	51
	B	14	28	31

*RT = 14.51531

+ 0.75771 x V

(%)

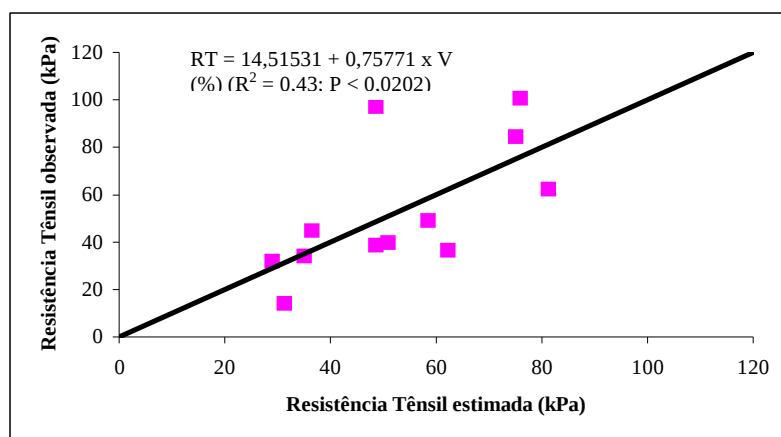


Figura 2. Relação entre a resistência tênil observada e a resistência tênil estimada pelas equações de regressão para a tensão de 6kPa.

Tabela 4. Valores médios de resistência tênil (RT) observada e resistência tênil calculada segundo o modelo de RT (Imhoff, [15]), para os seis solos.

Solo	Hz	RT observada (kPa)		RT estimada (kPa)	
		6 kPa	33 kPa	6 kPa*	33 kPa*
VEo	A	101	66	2886	2886
	B	62	65	276	276
TCo	A	38	56	65	65
	B	36	17	35	35
TPo	A	45	47	41	41
	B	49	94	41	41
SXea	A	32	43	33	33
	B	47	15	27	27
PBACal	A	34	57	31	31
	B	84	112	31	31
SXet	A	40	51	48	48
	B	14	28	25	25

* $\ln RT = 4,3707 + (-0,0209) \times AS + (-0,0596) \times MO + 0,0015 \times ASMO$; AS = Argila + Silte (%); MO = matéria orgânica ($g\ kg^{-1}$); ASMO= interação entre AS e MO.

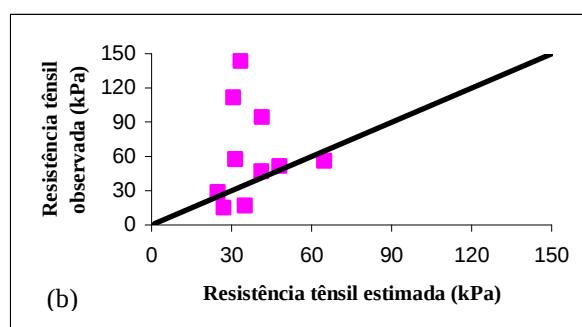
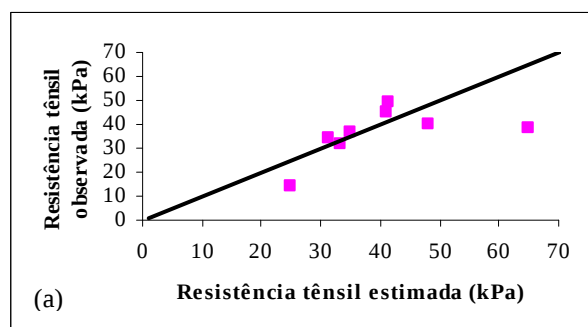


Figura 3. Relação entre a resistência tênil observada e a resistência tênil estimada pelo modelo de RT (Imhoff, [15]) para as tensões de 6 kPa (a) e 33 kPa (b).