

Referências Bibliográficas

Arora, J.S., **ntroduction to optimun design**. McGraw-Hill, Inc., 1989.

Bard, Y., **Nonlinear Parameter Estimation**, Academic Presss, Inc., San Diego, Ca., 1974.

Barros Filho, G., **Um ensaio de campo para a determinação das propriedades hidráulicas de solos não saturados**, Iniciação Científica, DEC/PUC-Rio, 2004.

Beck, J. V. e Arnold, K. J., **Parameter Estimation in Engineering and Science**, John Wiley & Sons, Inc., 1977.

Beck J. V., e Woodbury K. A., **Inverse problems and parameter estimation : integration of measurements and analysis : Inverse problems and parameters estimation**, Measurement science & technology, vol. 9, no6, pp. 839-847, 1998.

Beneveli, R.M., **Estudo dos Efeitos de Umedecimento e Secagem na Resistência ao Cisalhamento de um Solo Compactado em Laboratório**, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil - PUC-Rio, Rio de Janeiro, 186 p., 2002.

Brooks, R. H., e Corey A., T., **Propierties of porous media affecting fluid flow**, Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE Proc. 72 (IR2), 61-88, 1966.

Campos Velho, H. F., **Problemas Inversos: Conceitos Básicos e Aplicações - Mini-curso**, In: IV Encontro de Modelagem Computacional, Nova Friburgo (RJ), Anais do IV Encontro de Modelagem Computacional, p. 63-79, 2001.

Dane, J.H., e Hruska, S., **In situ determination of soil hydraulic properties during drainage**, Soil Science Society of America Journal, 47, 619-624, 1983.

Delgado C. W. C., **Resistência ao Cisalhamento dos Solos Coluvionares e Residuais Não Saturados da Vista Chinesa**, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil - PUC-Rio, Rio de Janeiro, 1993.

Demuelenaere, R. G., **Caracterização de Propriedades de Transporte de Metais Pesados em Solos Residuais do Rio de Janeiro**, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil - PUC-Rio, Rio de Janeiro, 120 p., 2004.

De Mello, B.D., **Estudo Experimental da Permeabilidade Saturada-Não Saturada de um Solo de Uma Encosta do Rio de Janeiro**, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil - PUC-Rio, Rio de Janeiro, 84 p., 1998.

Diniz, B., **Estudo experimental da permeabilidade saturada-não saturada de um solo de uma encosta do Rio de Janeiro**, Dissertação de Mestrado. DEC/PUC-Rio, 1998.

Enching, S. O., e Hopmans, J. W., **Optimization of hydraulic functions fom transient outflow and soil water pressure data**, Soil Science Society of America Journal, 57, 1167-1175, 1993.

Finsterle, S. e Pruess, K., **Solving the estimation-identification problem in two-phase flow modeling**, Water Resource Research, 31(4), 913-923, 1995.

Fredlund, D.G. e Morgenstern, N.R., **Stress State Variables for Unsaturated Soils**, ASCE Journal of the Geotechnical Engineering. Division, v. 103 (GT5), n. 3, pp. 447-466, 1977.

Fredlund, D.G., e Xing, A., **Equations for the soil-water characteristic curve**, Canadian Geotechnical Journal, 31, 521-532, 1994.

Freeze, R. A., e Cherry, J. A., **Groundwater**, Prentice Hall, Inc., NJ, 604p., 1979.

Gribb, M.M., **Parameter estimation for determining hydraulic properties of a fine sand from transient flow measurements**, Water Resource Research, 32(7), 1996.

Gribb, M.M., Simunek, J., e Leonard, M.F., **Development of cone penetrometer method to determine soil hydraulic properties**, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, V. 124, N. 9, 820-829, 1998.

Hopmans, J. W., J. Šimůnek, N. Romano, e W. Durner, **Inverse Modeling of Transient Water Flow**, In: Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical Methods, Chapter 3.6.2, Third edition, SSSA, Madison, WI, 963-1008, 2002.

Huyakorn, P.S., e Pinder, G.F., **Computational methods in subsurface flow**, Academic Press, Inc., Londres, 1983.

Kodesova, R., Gribb, M. M., Simunek, J., **Estimation soil hydraulic properties from transient cone permeameter data**, Soil Science, 163(6), 436-453, 1998.

Kool, J. B., Parker, J. C. e Van Genuchten, M. T., **Determining soil Hydraulic properties from one-step outflow experiments by parameter estimation: I. Theory and numerical studies**, Soil Science Society of America Journal, 49, 1348-1354, 1985.

Kool, J. B., Parker, J. C., Van Genuchten, M. T., **Parameter estimation for unsaturated flow and transport models**, A Review. Journal of Hydrology, 91, 255-293, 1987.

Lambe, T. W. e Whitman, R. V. **Soil Mechanics**, SI version. New York: Wiley, 1969.

Lu, N.; Likos, W. J., **Unsaturated Soil Mechanics**, John Wiley & Sons, 2004.

Maquart, D. W., **An algorithm for least-squares estimation of non-linear parameters**, SIAM Journal on Applied Mathematics, 11, 431-441, 1963.

Mateus, M. S. C. S., **Discussão sobre a utilização do modelo empírico de van Genuchten (1980) para ajuste de curva característica**, Salvador, VI Simpósio Brasileiro de Solos Não Saturados, 2007.

Marinho, F. A. M., **Estado da Arte - Medição de Sucção Em Solos**, In: Volume especial - 3o Seminário Brasileiro sobre Solos Não Saturados., 1997.

Marinho, F. A. M., 2006. **Comunicação Pessoal**.

Mendoza, C. A., Therrien, R., Sudicky, E. A., **ORTHOFEM User's guide, version 1.02**, Waterloo Centre for Groundwater Research, Univ. of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada, 1991.

Mous, S. L. J., **Identification of the movement of water in unsaturated soils: The problem of identifiability of the model**, Journal of Hydrology, 143, 153-167, 1993.

Nunes, C. M. F., **Aplicações do GRP. (Ground Penetrating Radar) na Caracterização de Perfis de Aletação de Rochas Gnaissicas do Rio de Janeiro**, 140p. Dissertação de Mestrado - DEC/PUC-Rio, 2002.

Rassam, D., Simunek, J., van Genuchten, M. Th., **Modelling Variably Saturated Flow with HYDRUS-2D**, Second edition, 2004.

Reichardt, K.; e Timm, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**, 1. ed. Barueri, São Paulo: Manole, 2004.

Richards, L. A., **Capillary conduction of liquids in porous media**, Physics I, p.318-333, 1931.

Rocha, J. C. S., **Caracterização Geológico-Geotécnica dos Materiais Envolvidos nos Movimentos de Massa Ocorridos em Fevereiro de 1988, na Vista Chinesa**, Departamento de Engenharia Civil - PUC-Rio, Rio de Janeiro,– p.164, 1993.

Saliba, F. P. M.; **Avaliação Hidrogeotécnica da Fundação da Pilha de Estéril nº 5 da Mina do Andrade - Bela Vista de Minas (Minas Gerais)**, 224p. Dissertação de Mestrado - DEC/PUC-Rio, 2007.

Schaap, M. G., F. J. LEIJ, e M. Th. Van Genuchten, **Neural network analysis for hierarchical prediction of soil hydraulic properties**, Soil Science Society of America Journal, 62(4):847- 855, 1998.

Simunek, J. e Van Genuchten, M. T., **Estimating unsaturated soil hydraulic properties from tension disc infiltrometer data by numerical inversion**. Water Resource Research, 32(9), 2683-2696, 1996.

Simunek, J. e Van Genuchten, M. T., **Estimating unsaturated soil hydraulic properties from multiple tension disc infiltrometer data**, Soil Science, 62(6), 383-398, 1997.

Simunek, J., O. Wendroth, e M. Th. Van Genuchten, **Parameter estimation analysis of the evaporation method for determining soil hydraulic properties**, Soil Science Society of America Journal, 62(4):894-905, 1998.

Simunek, J., Van Genuchten M. Th. e Šejna M., **The HYDRUS Software Package for Simulating the Two- and Three-Dimensional Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably-Saturated Media - Technical Manual**, PC Progress, Prague, Czech Republic, 2006.

Simunek, J., Van Genuchten M. Th. e Šejna M., **The HYDRUS Software Package for Simulating the Two- and Three-Dimensional Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably-Saturated Media – User Manual**, PC Progress, Prague, Czech Republic, 2006.

Soares, A. P. A. L., **Avaliação do mecanismo de ruptura em solo não saturado da encosta da vista chinesa**, Rio de Janeiro, 138p. Dissertação de Mestrado - DEC/PUC-Rio, 1999.

Soares, R. M., **Resistência ao Cisalhamento de um Solo Coluvionar Não Saturado do Rio de Janeiro**, Rio de Janeiro, 214 p. Dissertação de Mestrado - DEC/PUC-Rio, 2005.

Soil Moisture Equipment Corp. **Guelph Permeameter model 2800KI (user manual)**, Rev 8. Santa Bárbara, CA. 1986.

Toorman, A. F. e Wierenga, P. J., **Parameter estimation of hydraulic properties from one-step outflow data**, Water Resource Research, 28(11), 3021-3028, 1992.

Vargas Jr, E. A., **Relatorio em andamento**, 2008.

Van Genuchten, M. T., **A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils** Soil Science Society of America Journal, 44, 892-898, 1980.

Van Genuchten, M. Th. e D. R. Nielsen, **On describing and predicting the hydraulic properties of unsaturated soils**, Annales Geophysicae, 3(5), 615-628, 1985.

Velloso, R. Q., **Estudo numérico da estimativa de parâmetros hidráulicos em solos parcialmente saturados**, Rio de Janeiro. 80p. Dissertação de Mestrado - DEC/PUC-Rio, 2000.

Velloso, R.; Vargas Junior, E. A.; Castro Filho, G., B.; Vaz L. E., **Desenvolvimento de procedimentos de campo para a determinação de propriedades hidráulicas de solos saturados/não saturados**, Curitiba: COBRAMSEG, 2006.

YEH, W., **Review of parameter identification procedures in groundwater hydrology: The inverse problem**, Water Resource Research, 22(2), 95-108, 1986.

APÊNDICE A – Malhas de Elementos Finitos e Geometria

Neste apêndice estão apresentadas as malhas de elementos finitos assim como sua geometria utilizada nas modelagens dos ensaios retroanalisados:

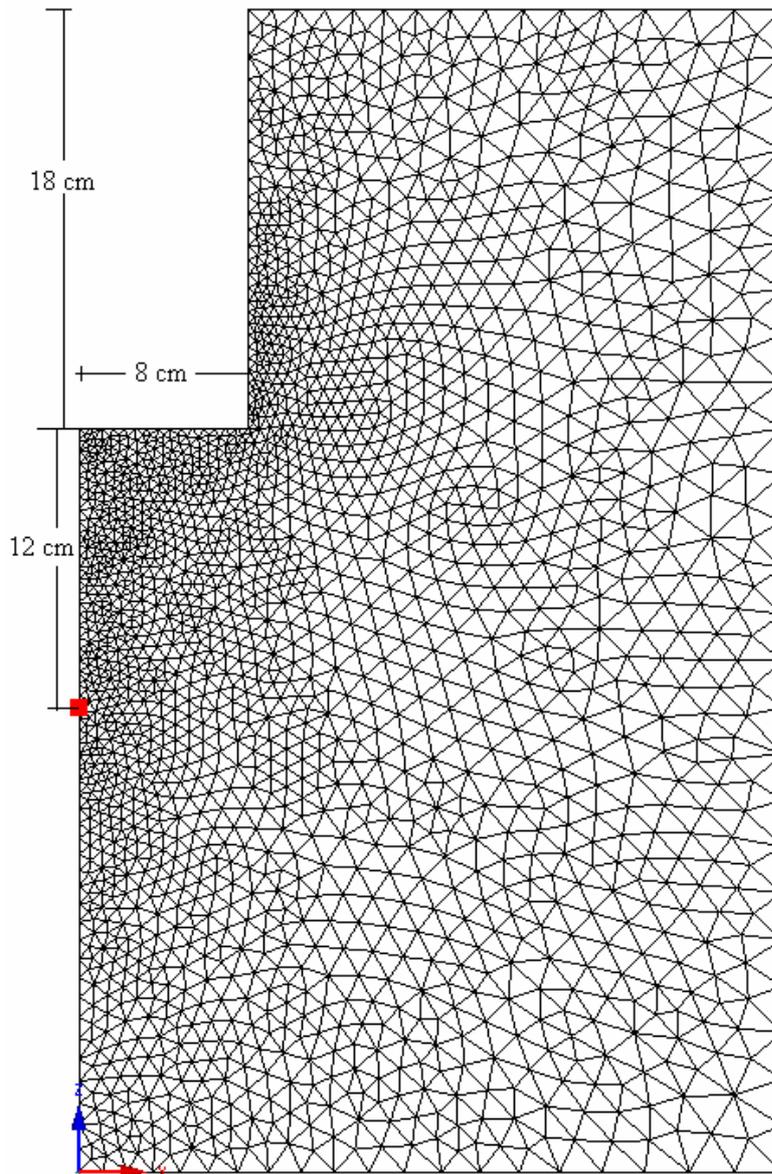


Figura A1.1 - Malha de elementos finitos para o ensaio de campo da
Observação 1 do Campo Experimental II PUC-Rio.

Número de nós: 1981

Número de elementos: 3815

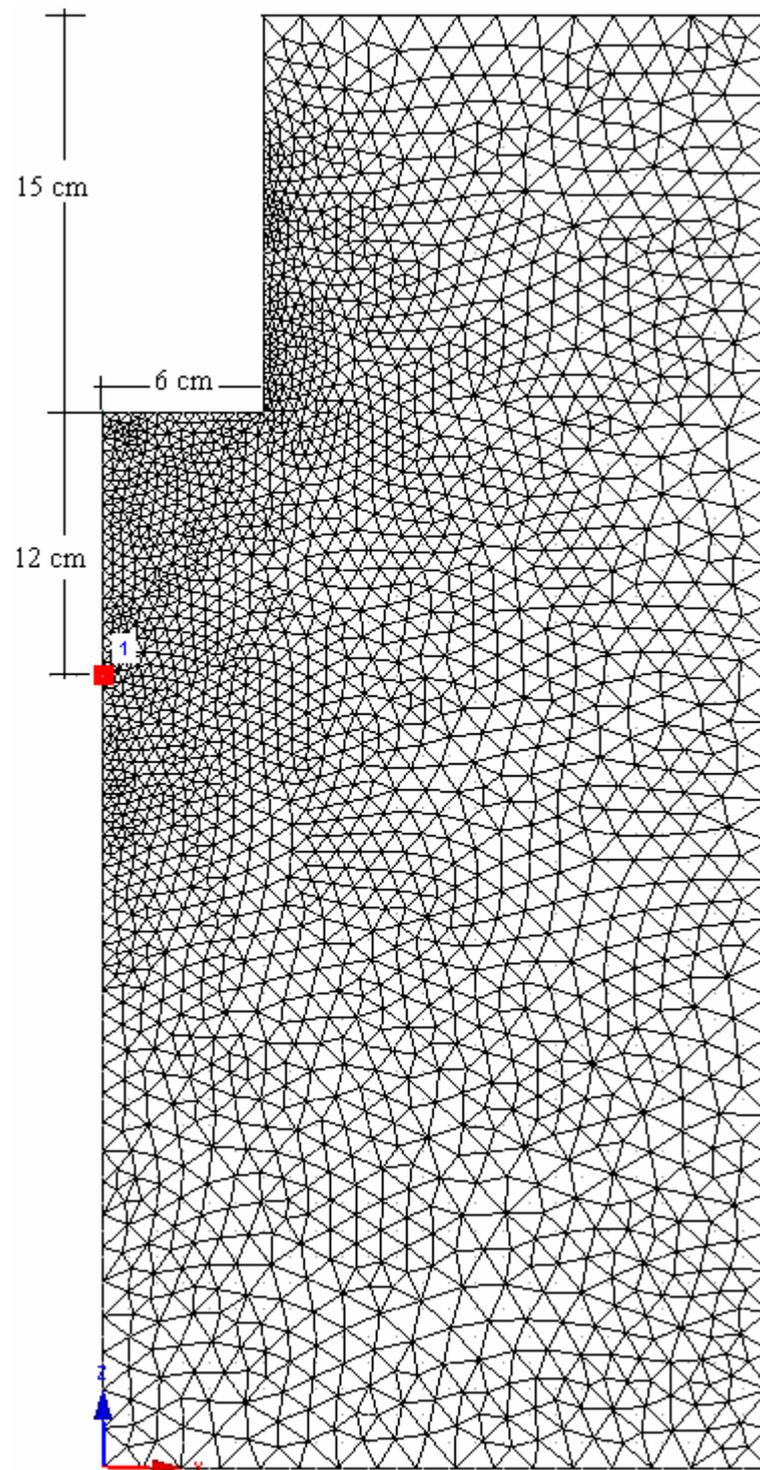


Figura A1.2 – Malha de elementos finitos para o ensaio de campo da
Obsevação 2 do Campo Experimental II.

Número de nós: 2100

Número de elementos: 4039

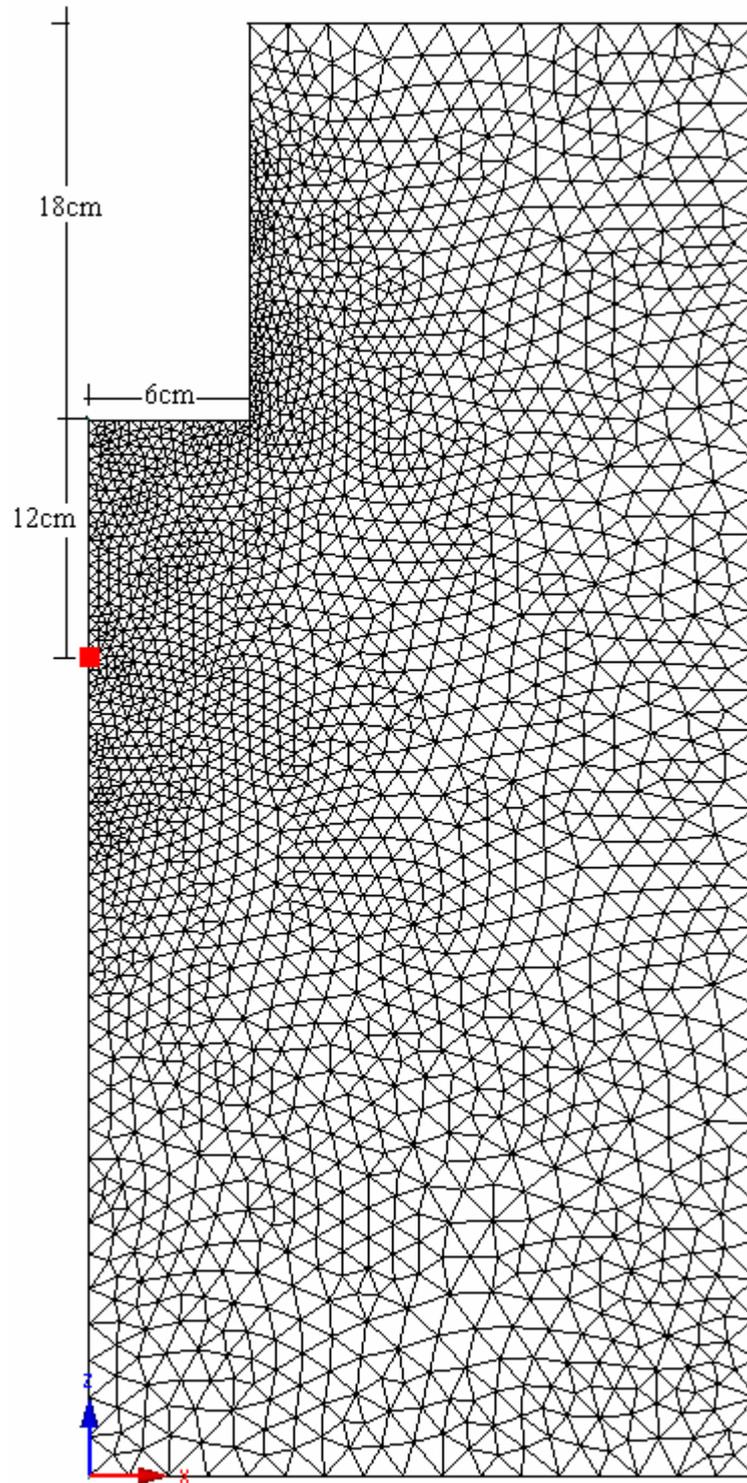


Figura A1.3 - Malha de elementos finitos para o ensaio de campo da Observação 1 do Duque de Caxias.

Número de nós: 2079

Número de elementos: 3998

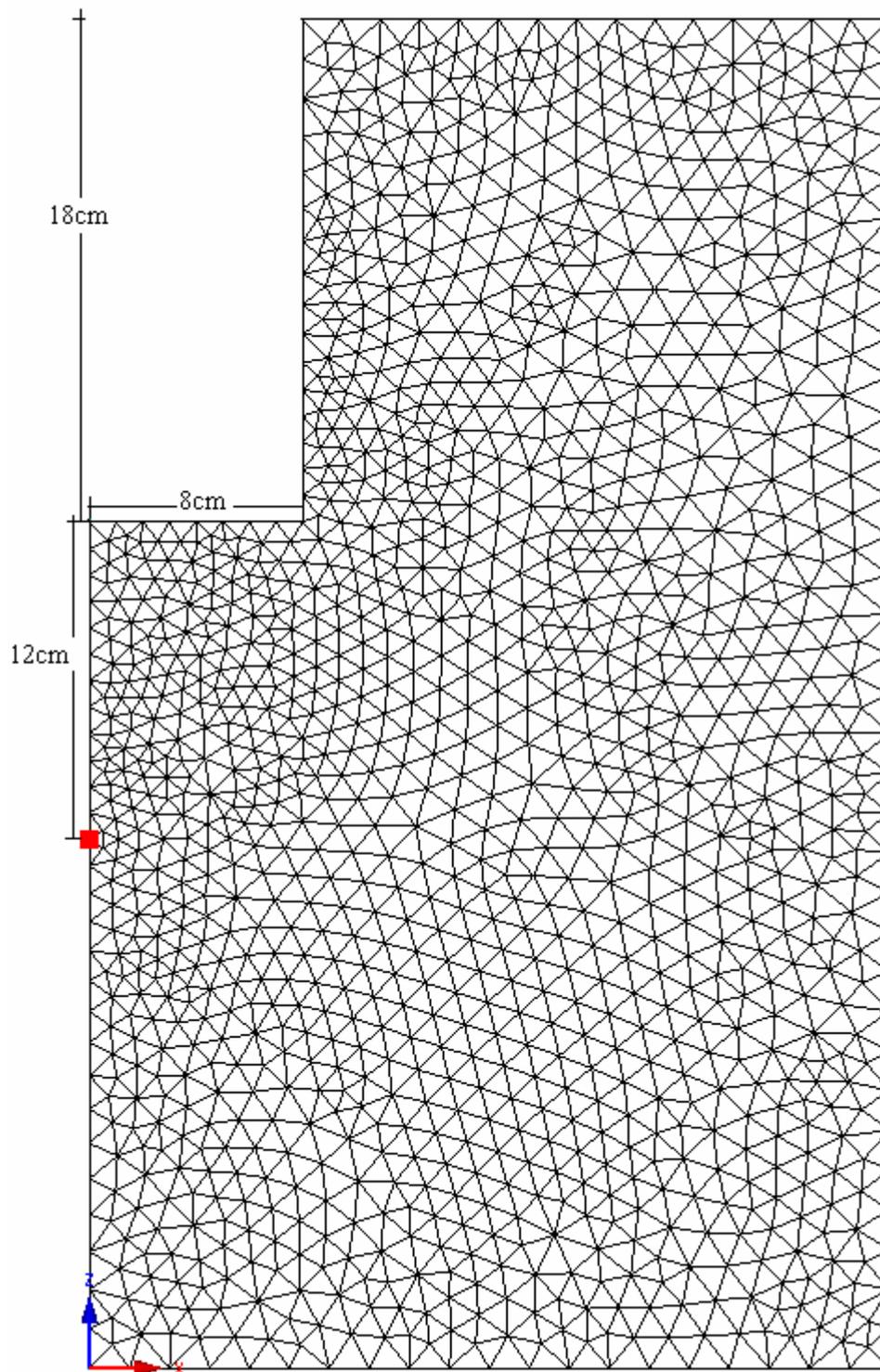


Figura A1.4 - Malha de elementos finitos para o ensaio de campo do Material 1 do Rebouças.

Número de nós: 2175

Número de elementos: 4195

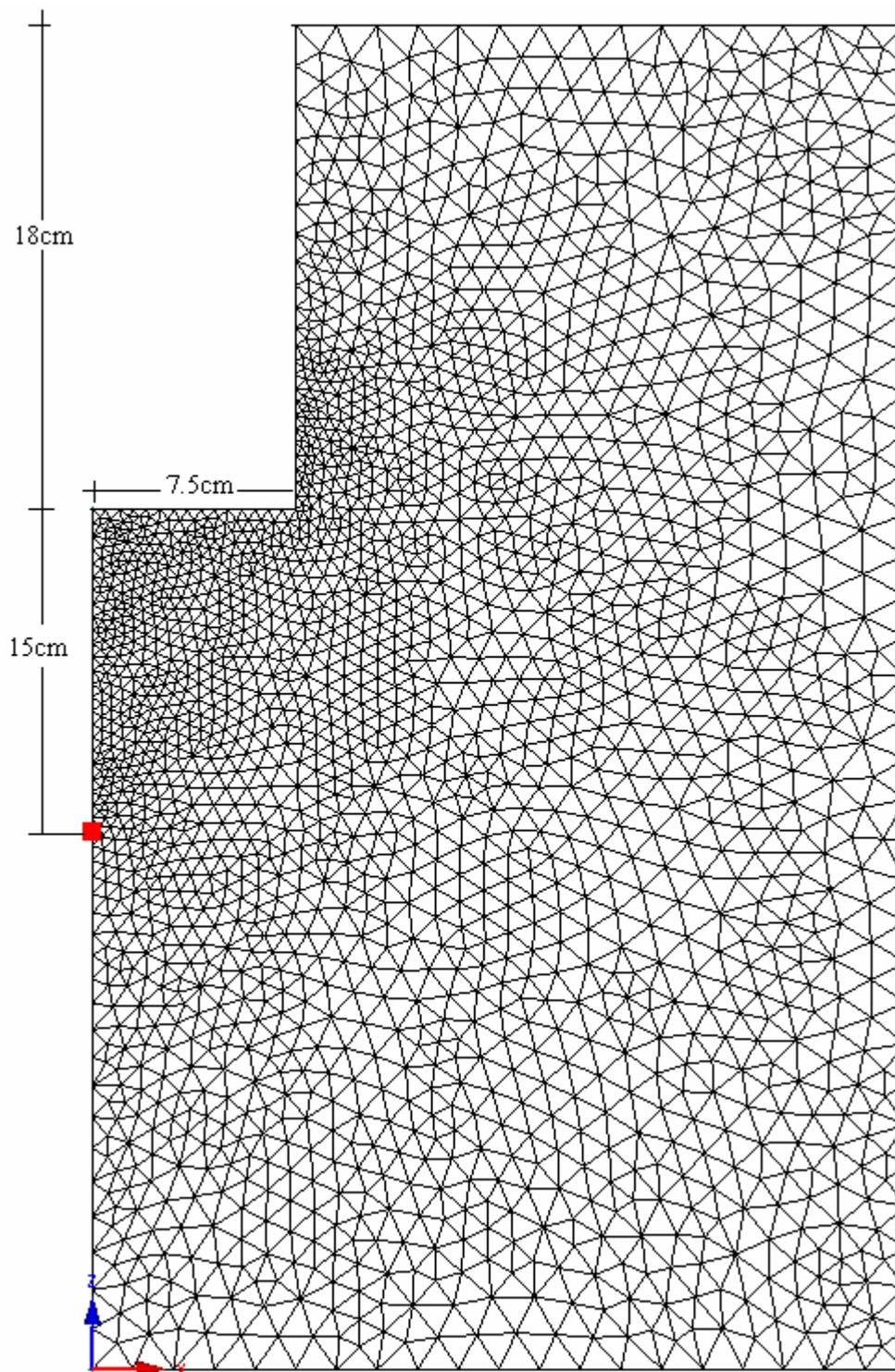


Figura A1.5 - Malha de elementos finitos para o ensaio de campo Material 2 do Rebouças.

Número de nós: 2061

Número de elementos: 3970

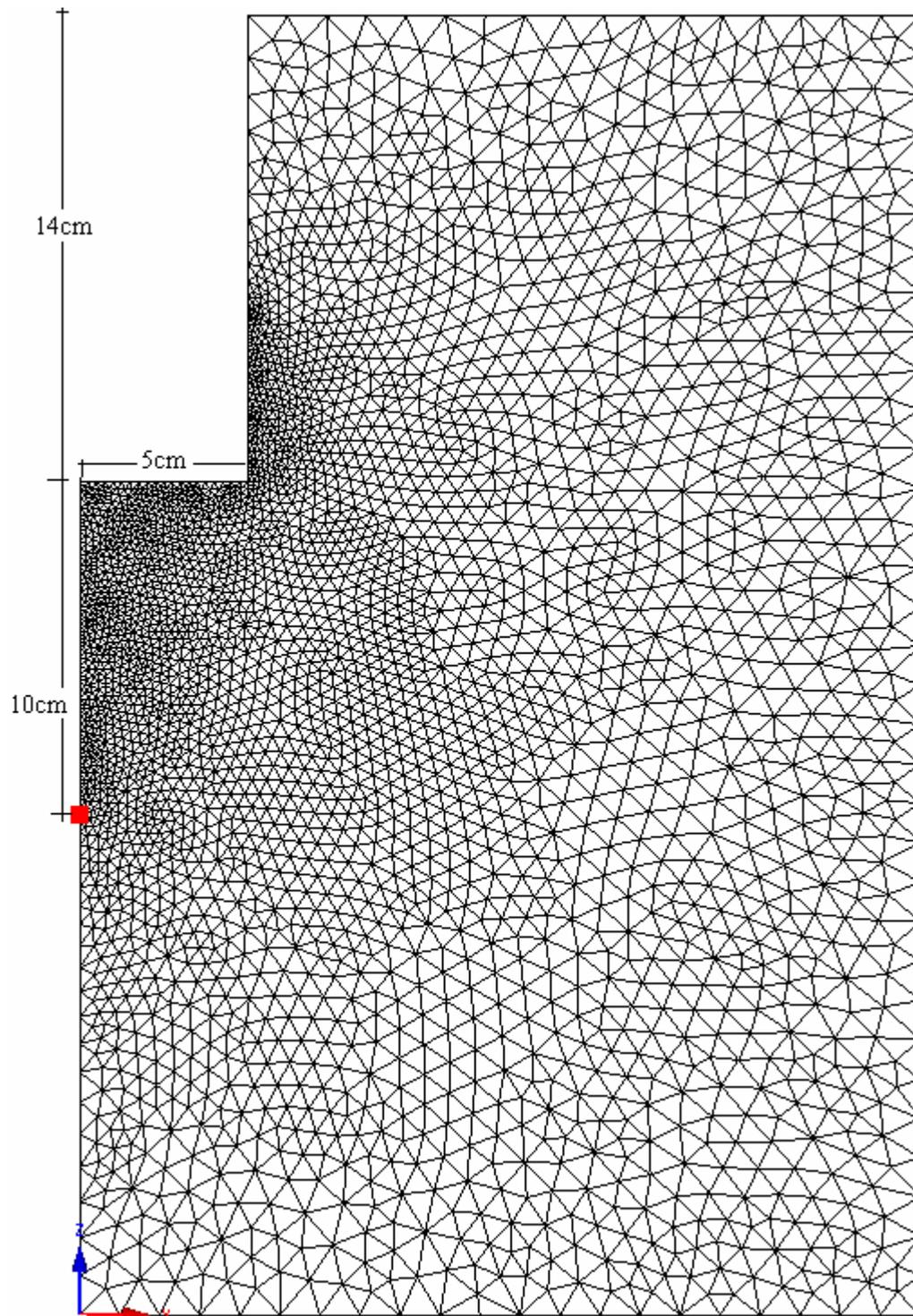


Figura A1.6 - Malha de elementos finitos para o ensaio de campo EnTen_01 da Pilha de Estéril nº 5 da Mina do Andrade - Bela Vista de Minas.

Número de nós: 3115

Número de elementos: 6044

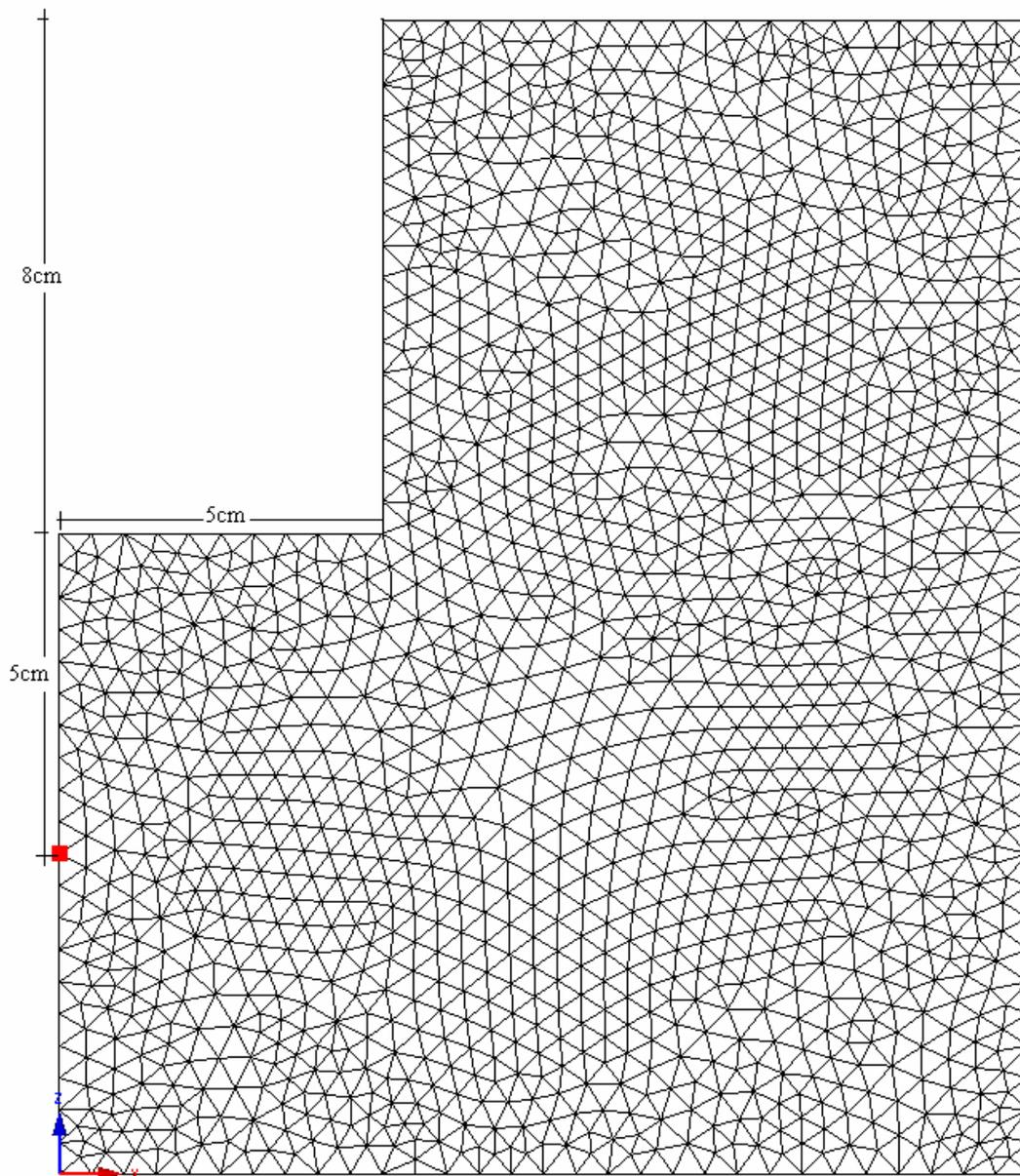


Figura A1.7 - Malha de elementos finitos para o ensaio de campo EnTen_02 da Pilha de Estéril nº 5 da Mina do Andrade - Bela Vista de Minas.

Número de nós: 1510

Número de elementos: 2886

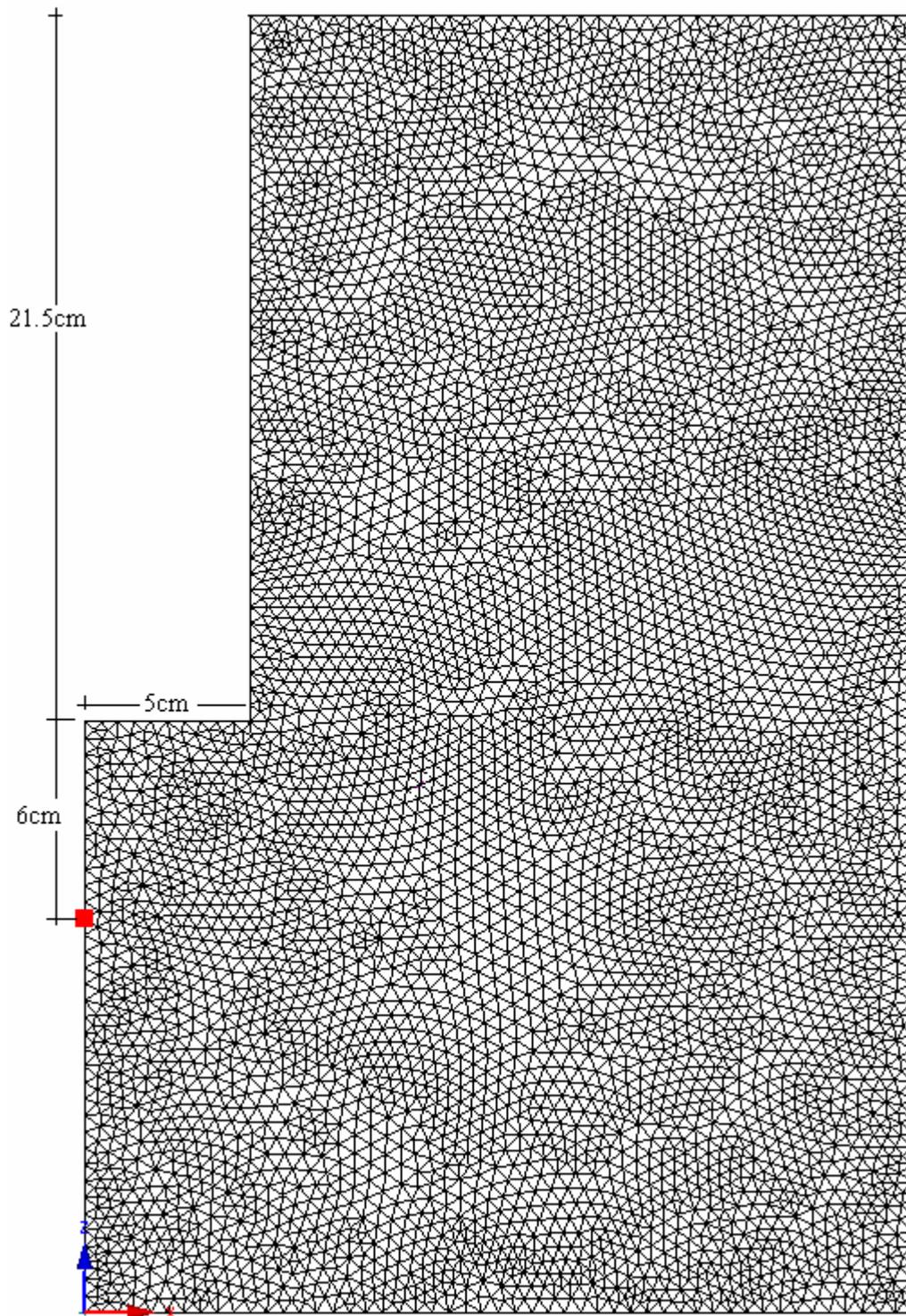


Figura A1.8- Malha de elementos finitos para o ensaio de campo EnTen_05 da Pilha de Estéril nº 5 da Mina do Andrade - Bela Vista de Minas.

Número de nós: 5512

Número de elementos: 10764

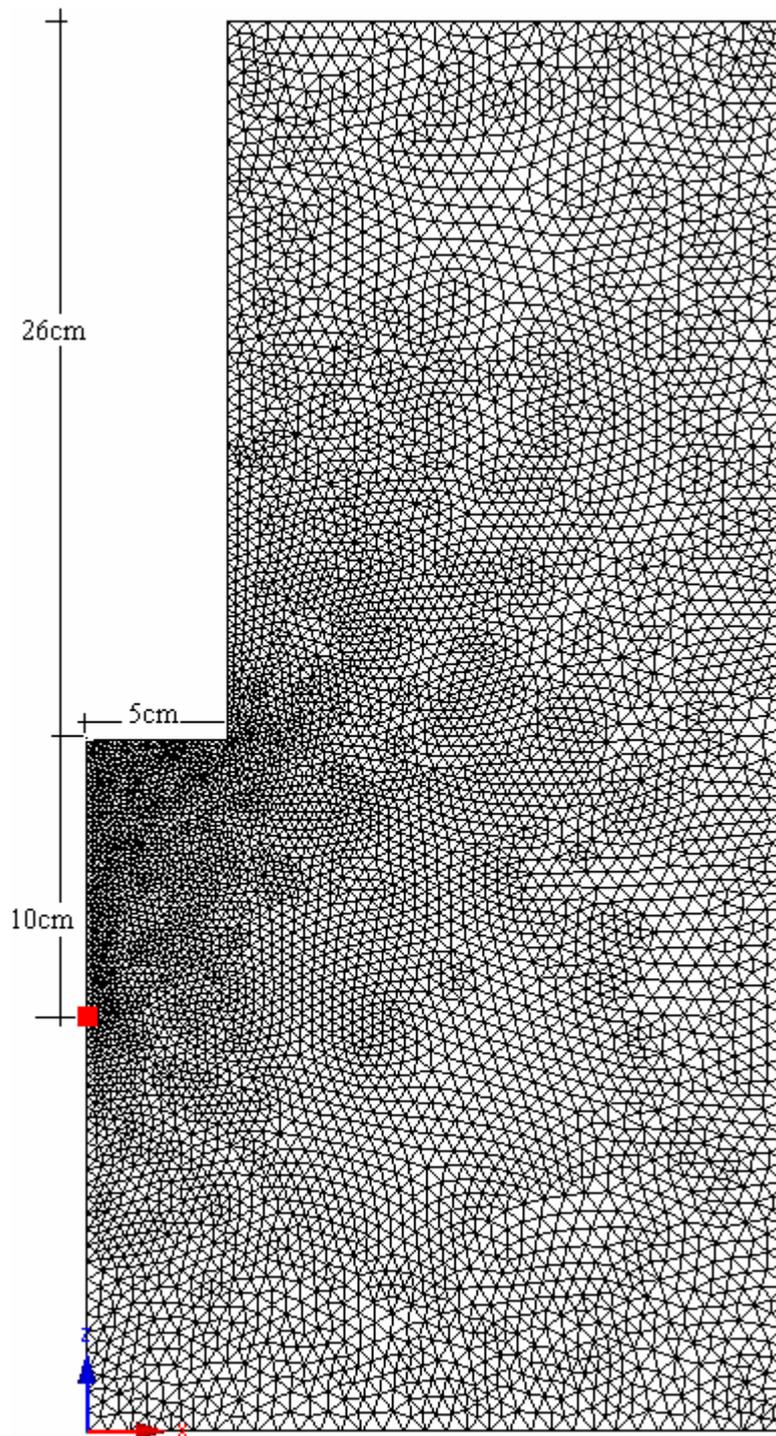


Figura A1.9- Malha de elementos finitos para o ensaio de campo EnTen_08 da Pilha de Estéril nº 5 da Mina do Andrade - Bela Vista de Minas.

Número de nós: 5893

Número de elementos: 11514

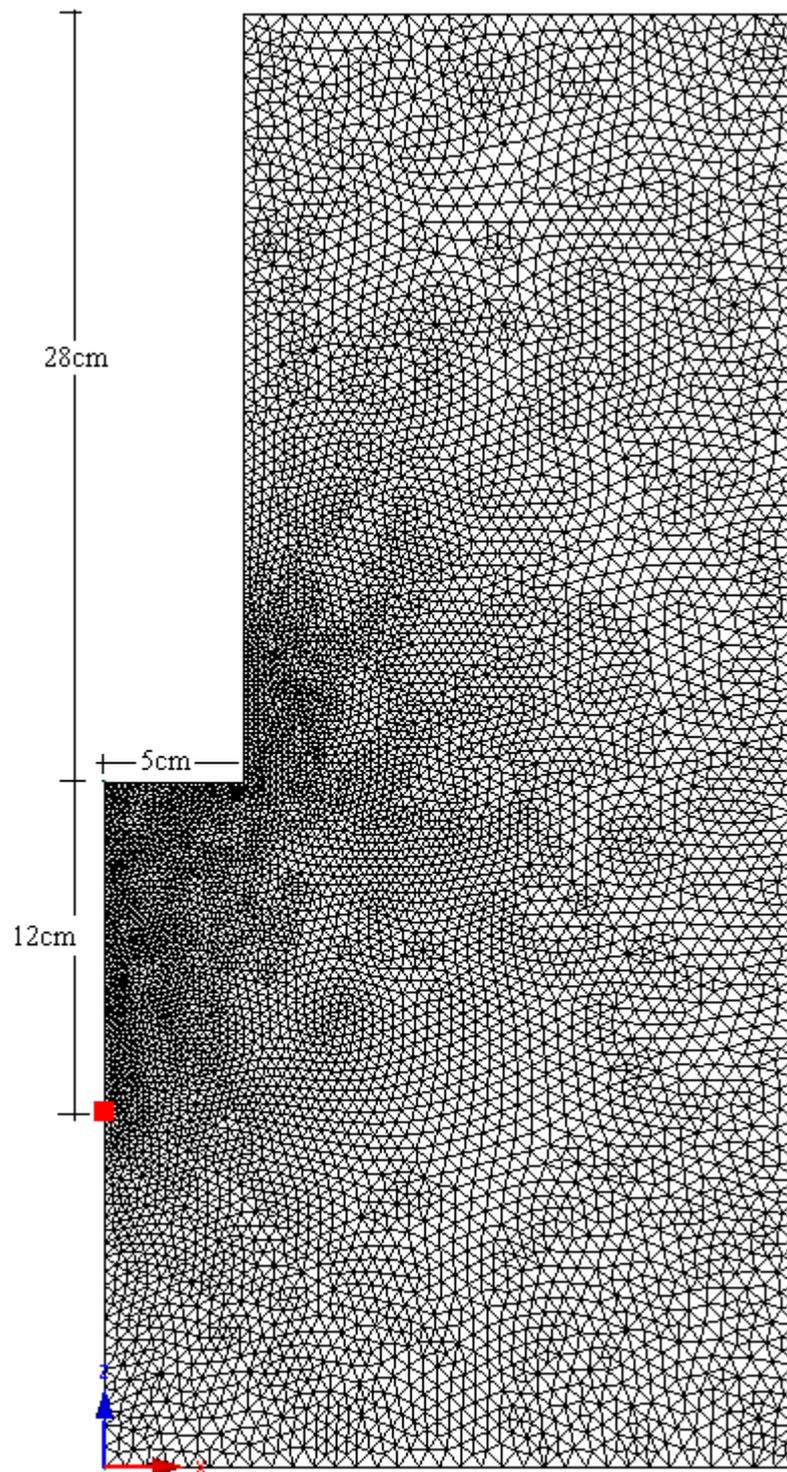


Figura A1.10 - Malha de elementos finitos para o ensaio de campo EnTen_09 da Pilha de Estéril nº 5 da Mina do Andrade - Bela Vista de Minas.

Número de nós: 6768

Número de elementos: 13243

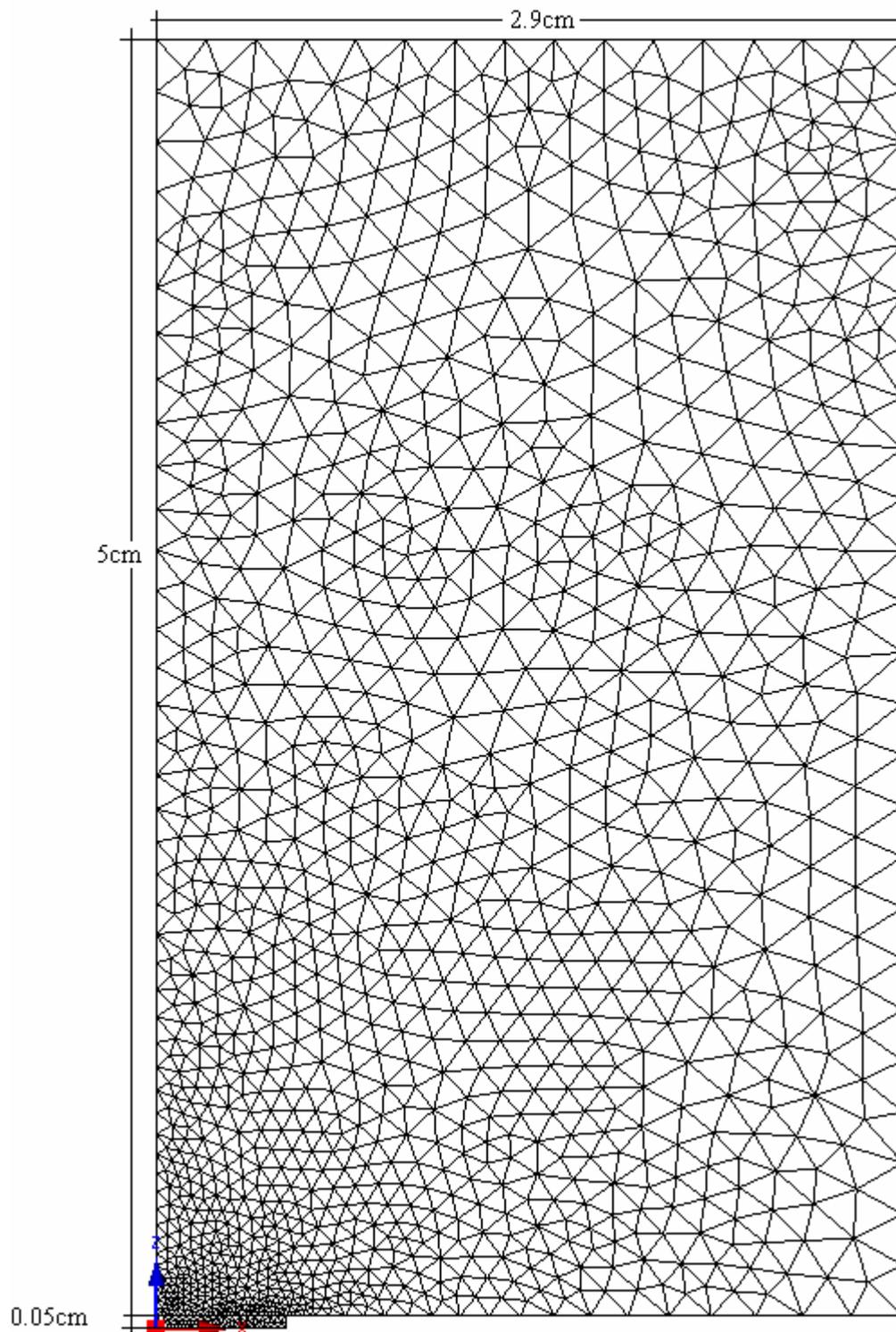


Figura A1.11 - Malha de elementos finitos para o ensaio de laboratório proposto por Marinho de Duque de Caxias.

Número de nós: 1229

Número de elementos: 2331

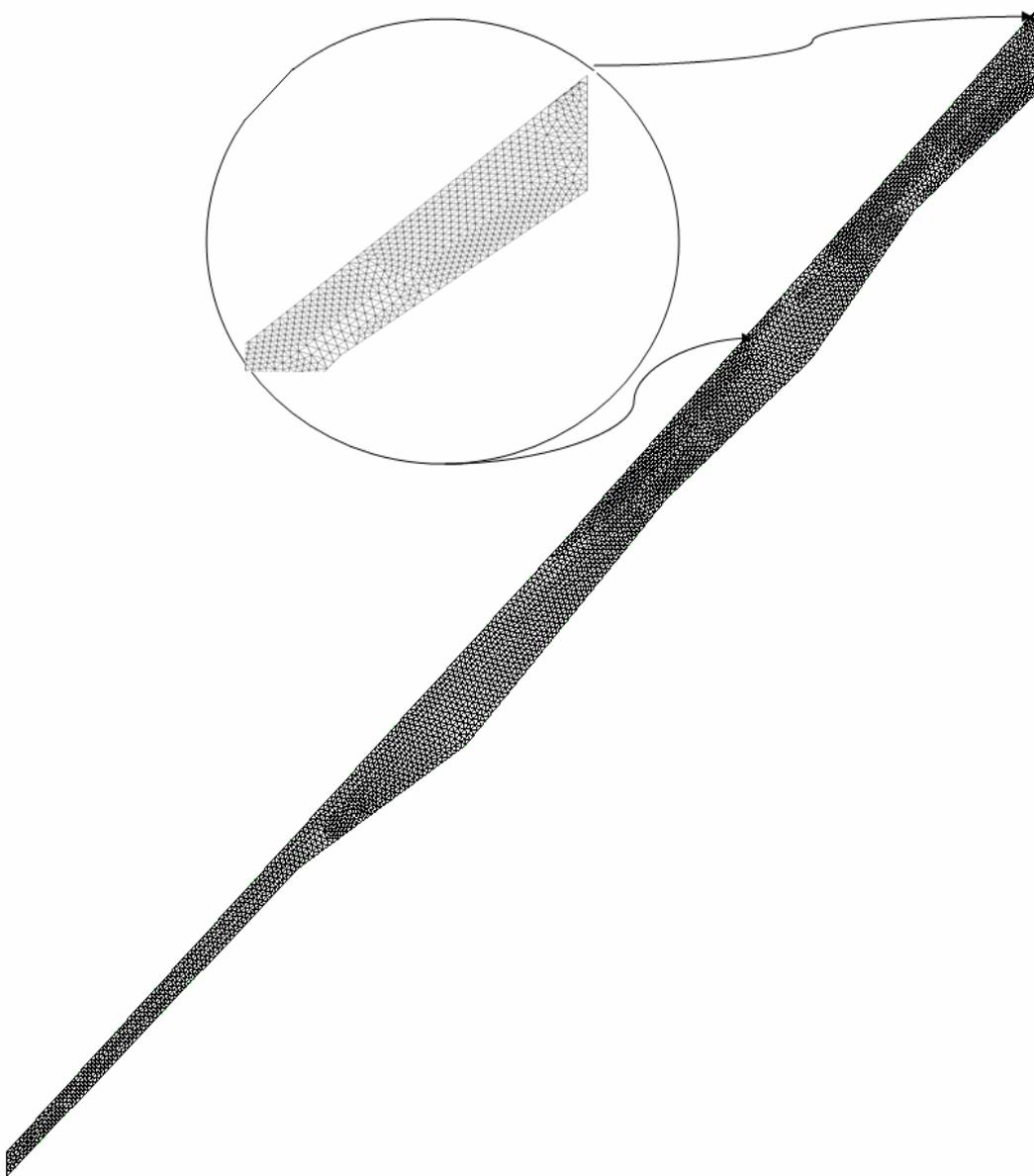


Figura A1.12 - Malha de elementos finitos para a simulação da Vista chinesa 2D.

Número de nós: 3367

Número de elementos: 6200

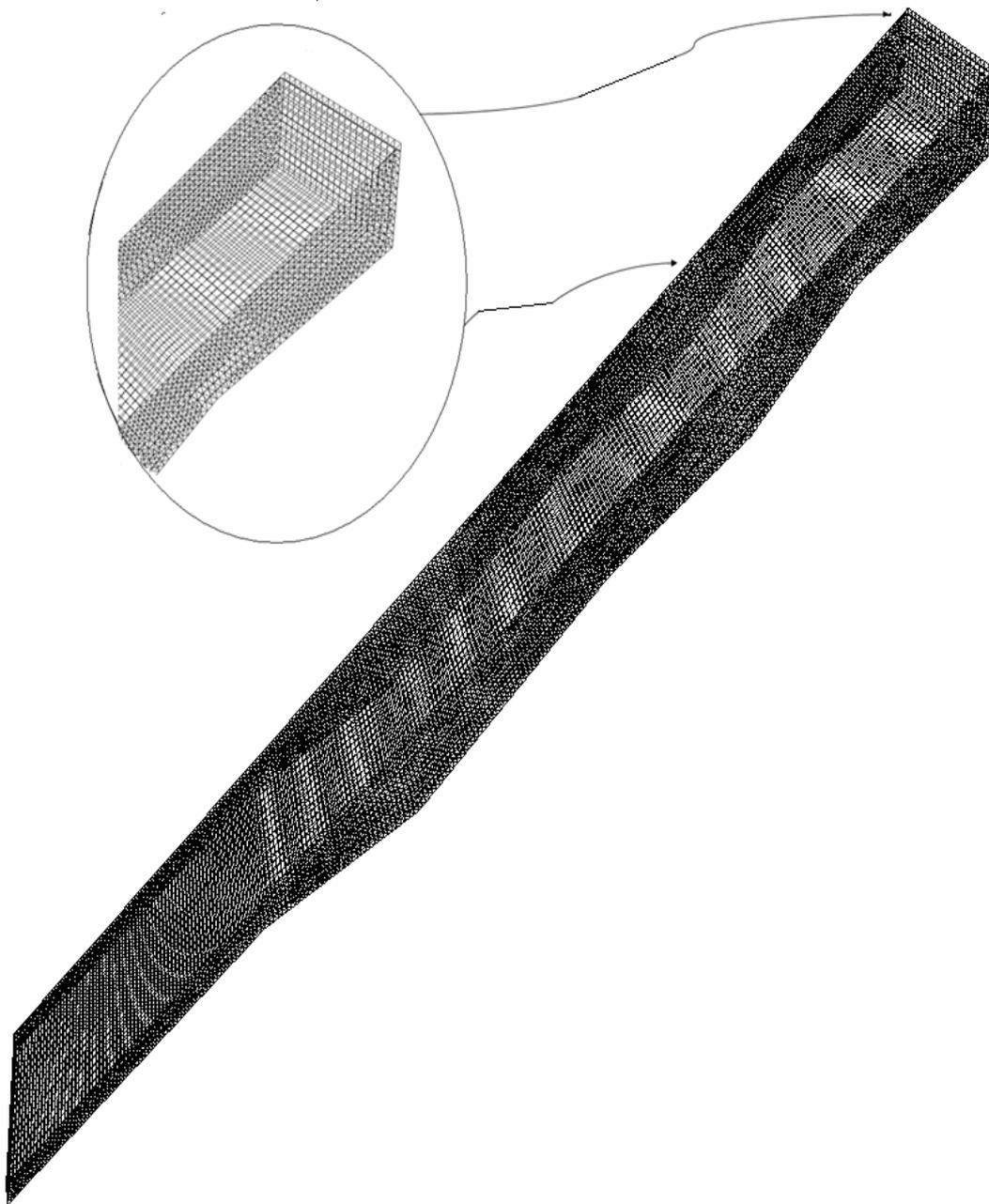


Figura A1.13 - Malha de elementos finitos para a simulação da Vista chinesa 3D.

Número de nós: 10707

Número de elementos: 124000

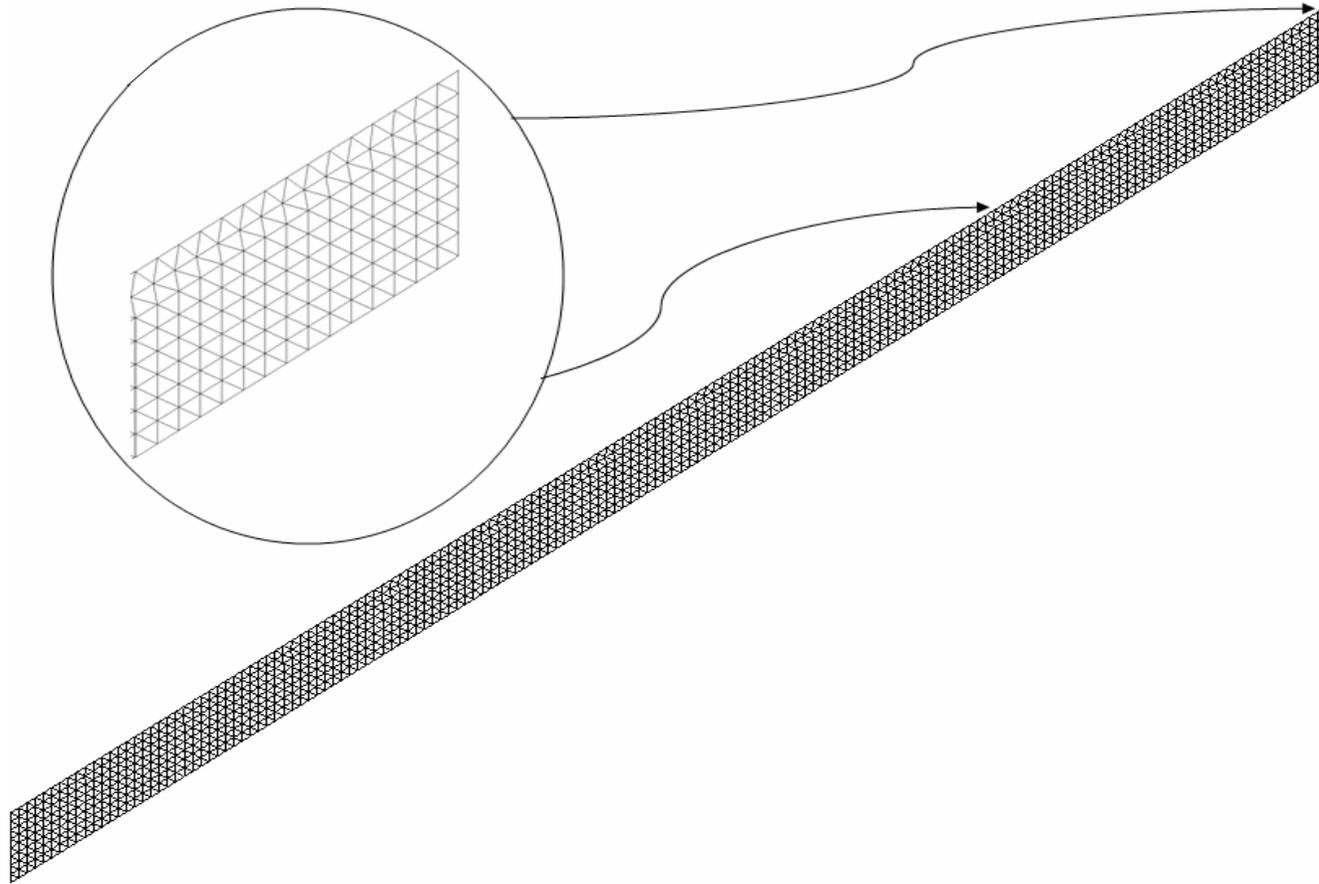


Figura A1.14 - Malha de elementos finitos para a simulação do Rebouças 2D.

Número de nós: 1440

Número de elementos: 2544

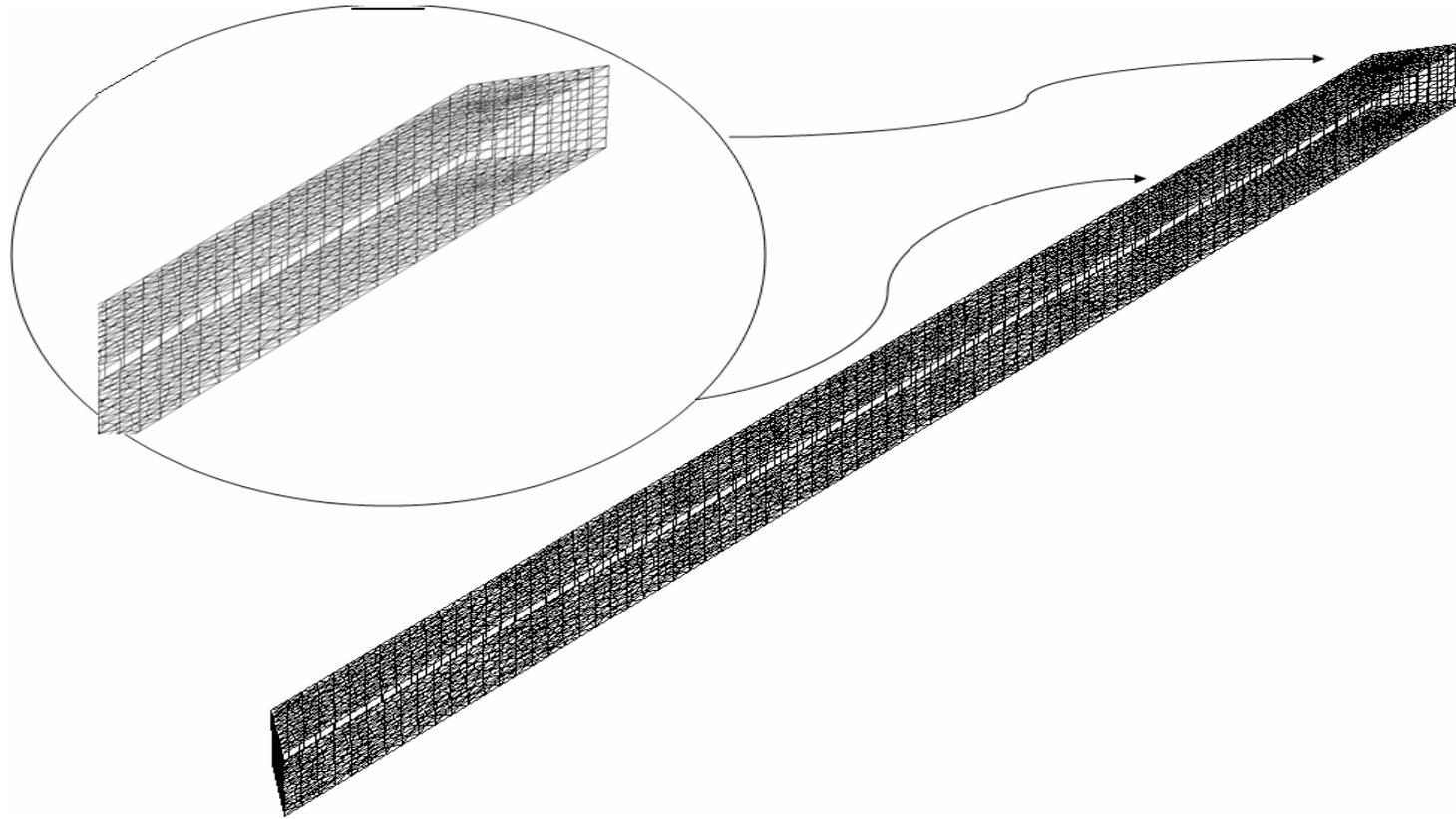


Figura A1.15 - Malha de elementos finitos para a simulação do Reboças 3D.

Número de nós: 12771

Número de elementos: 21248

APÊNDICE B - Resultados dos Ensaio de Campo

B.1. Ensaio com Tensiômetro

**TENSIÔMETRO
ENSAIO DE CAMPO**



CLIENTE: _____

PROJETO: Iniciação Científica DEC/PUC-Rio

LOCAL: Campo Experimental II PUC-rio DATA EXECUÇÃO: _____

TÉCNICO RESP.: Guilherme Barros

Tempo (s)	Carga de Pressão (cm)						
1	-575,150	168	-41,447				
10	-575,150	173	-39,744				
20	-575,150	180	-38,419				
30	-575,150	189	-38,419				
40	-575,150						
50	-575,150						
60	-575,150						
70	-571,550						
74	-566,820						
78	-553,380						
80	-538,620						
82	-518,370						
84	-493,960						
86	-466,890						
88	-438,690						
90	-410,310						
92	-380,780						
94	-349,550						
96	-318,710						
98	-290,130						
100	-261,550						
102	-233,160						
104	-206,670						
106	-184,900						
108	-165,790						
110	-149,130						
112	-134,370						
116	-107,500						
119	-90,842						
123	-75,134						
127	-65,672						
130	-60,940						
135	-55,073						
139	-51,477						
143	-49,774						
148	-47,503						
154	-45,421						
158	-44,475						
163	-42,961						

**TENSIÔMETRO
ENSAIO DE CAMPO**



CLIENTE: _____

PROJETO: Iniciação Científica DEC/PUC-Rio

LOCAL: Duque de Caxias DATA EXECUÇÃO: _____

TÉCNICO RESP.: Guilherme Barros

Tempo (s)	Carga de Pressão (cm)						
1	-470,910	390	-42,710				
10	-471,660	400	-39,872				
20	-473,560	410	-40,629				
30	-474,690						
40	-473,930						
50	-475,830						
60	-475,260						
70	-474,690						
80	-475,450						
90	-476,580						
100	-474,880						
110	-473,560						
120	-469,770						
130	-463,720						
140	-453,690						
150	-440,630						
160	-427,960						
170	-414,140						
180	-399,380						
190	-384,250						
200	-365,700						
210	-345,460						
220	-322,180						
230	-291,910						
240	-258,980						
250	-222,470						
260	-188,600						
270	-153,590						
280	-125,400						
290	-105,340						
300	-89,636						
310	-77,337						
320	-66,551						
330	-59,550						
340	-54,631						
350	-50,468						
360	-46,116						
370	-42,899						
380	-44,413						

PERMEÂMETRO DE GUELPH
ENSAIO DE CAMPO



CLIENTE: CVRD ENSAIO Nº: topo

PROJETO: Rebouças EMPRESA EXECUTORA: PUC-Rio

LOCAL: Rebouças (Material 1) DATA EXECUÇÃO: 30/11/2007

COORD N: _____ COORD E: _____ COTA: _____

TÉCNICO RESP.: Marlene Tapia AUXILIAR: _____

CONDIÇÕES DO ENSAIO

RESERVATÓRIO INTERNO (Y = 2,17cm²) X
RESERVATÓRIOS COMBINADOS (X = 35,39cm²)

INFORMAÇÕES GEOMÉTRICAS

DIÂMETRO DO FURO: 2,0 (pol.)
PROFUNDIDADE DO FURO: 20,50 (cm)

Nível de Água no Poço (cm) = **5,00**

Tempo t (s)	Leitura Nível Reservatório h (cm)	Taxa Δ Nível Reservatório Δh/Δt (cm/s)
00:00:00	3,00	-
00:02:00	5,70	0,023
00:04:00	10,30	0,038
00:06:00	13,90	0,030
00:08:00	17,30	0,028
00:10:00	19,00	0,014
00:12:00	20,50	0,013
00:14:00	21,60	0,009
00:16:00	22,30	0,006
00:18:00	22,80	0,004
00:20:00	23,20	0,003
00:22:00	24,20	0,008
00:24:00	25,50	0,011
00:26:00	26,40	0,008
00:28:00	26,90	0,004
00:30:00	26,90	0,000
00:32:00	27,00	0,001
00:34:00	27,20	0,002
00:36:00	27,40	0,002
00:38:00	27,60	0,002
00:40:00	28,00	0,003
00:42:00	28,70	0,006
00:44:00	28,90	0,002
00:46:00	29,20	0,003
00:48:00	29,50	0,003

Nível de Água no Poço (cm) = **10,00**

Tempo t (s)	Leitura Nível Reservatório h (cm)	Taxa Δ Nível Reservatório Δh/Δt (cm/s)
00:00:00	17,200	-
00:02:00	20,500	0,028
00:04:00	27,000	0,054
00:06:00	32,000	0,042
00:08:00	35,000	0,025
00:10:00	38,000	0,025
00:12:00	40,000	0,017
00:14:00	41,000	0,008
00:16:00	42,000	0,008
00:18:00	43,000	0,008
00:20:00	44,000	0,008
00:22:00	45,000	0,008
00:24:00		
00:26:00		
00:28:00		
00:30:00		

Considerações para Cálculo:

H₁ = 1ª carga hidráulica estabelecida no furo (cm).
R₁ = Taxa constante de fluxo, obtida quando R₁ possui o mesmo valor em 3 leituras com intervalos de tempo consecutivos (cm/s).
H₂ = 1ª carga hidráulica estabelecida no furo (cm).
R₂ = Taxa constante de fluxo, obtida quando R₂ possui o mesmo valor em 3 leituras com intervalos de tempo consecutivos (cm/s).
A_{trans} = Área transversal do reservatório (cm²) podendo ser X ou Y definido de acordo com cada ensaio.
X = Área transversal de 2 reservatórios (cm²).
Y = Área transversal do reservatório interno (cm²).
a = Raio do poço (cm).
K_E = Condutividade hidráulica saturada (cm/s).
Φ_m = Fluxo Potencial Mátrico, expresso em cm³/s.
α = Parâmetro alfa, expresso em cm⁻¹.
C = Parâmetro C, proporcional H/a (Gráfico C x H/a).
C₁, C₂ = Fator C correspondente a H₁/a e H₂/a, respectivamente.

Cálculo da Condutividade Hidráulica Saturada de Campo (Elrick et al., 1989)

Método 1:

$$C_1 = 0,9 \quad C_2 = 1,3$$

$$G_2 = H_1 \times C_2 / \pi [2 \times H_1 \times H_2 (H_2 - H_1) + a^2 (H_1 \times C_2 - H_2 \times C_1)]$$

$$G_1 = G_2 \times [(H_2 \times C_1) / (H_1 \times C_2)]$$

$$G_2 = \mathbf{0,005 \text{ cm}^2} \quad G_1 = \mathbf{0,0064 \text{ cm}^2}$$

$$Q_1 = A_{\text{base}} \times R_1 \rightarrow Q_1 = \mathbf{0,007 \text{ cm}^3/\text{s}}$$

$$Q_2 = A_{\text{base}} \times R_2 \rightarrow Q_2 = \mathbf{0,018 \text{ cm}^3/\text{s}}$$

$$J_1 = (2 \times H_2^2 + a^2 \times C_2) C_1 / 2 \times \pi [2 \times H_1 \times H_2 (H_2 - H_1) + a^2 (H_1 \times C_2 - H_2 \times C_1)]$$

$$J_2 = J_1 \times [(2 \times H_1^2 + a^2 \times C_1) \times C_2] / [(2 \times H_2^2 + a^2 \times C_2) \times C_1]$$

$$J_1 = \mathbf{0,061} \quad J_2 = \mathbf{0,023}$$

$$\Phi_m = J_1 \times Q_1 - J_2 \times Q_2 \quad \Phi_m = \mathbf{2,61E-05 \text{ cm}^3/\text{s}}$$

$$K_E = G_2 \times Q_2 - G_1 \times Q_1 \quad K_E = \mathbf{3,02E-05 \text{ cm/s}}$$

Método 2:

$$K_E = (C \times Q_2) / [2 \times \pi \times H^2 + C \times \pi \times a^2 + (2 \times \pi \times H / \alpha^2)]$$

$$\alpha = 12$$

$$K_E = \mathbf{- \text{ cm/s}}$$

Taxa constante de fluxo (R₁) 3 leituras consecutivas: **0,003**

Taxa constante de fluxo (R₂) 3 leituras: **0,008**