## **Referências Bibliográficas**

1 Desai, Chandrakant S.; Siriwardane, Hema J.**Contitutive Laws for Engineering Materials with Emphasis on Geologic Materials**. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, 1984.

2 Chou, Pei Chi; Pagano ,Nicholas J .**Elasticity Tensor, Dyadic,** and Engineering Approaches. Dover Publications, Inc., New York, 1967.

3 Goodman, Richard E. Introduction to Rock Mechanics. 2.ed. John Wiley & Sons, 1989.

4 Lambe, T. William; Whitman, Robert V.**Soil Mechanics**. SI version.John Wiley & Sons, 1969.

5 Jaeger, J.C.; Cook, N.G.W. **Fundamentals of Rock Mechanics**. Chapman and Hall, 1979.

6 Chen, Wai-Fah; Han, Da-Jian. **Plasticity for structural engineers**. J. Ross Publishing, 2007, pp. 606.

7 Cosserat, Eugène; Cosserat, François. **Sur la thèorie des corps minces**. Sciences de Paris 146, 1908, pp.169-172.

8 Germain , P. **The Method of Virtual Power in Continuum Mechanics part 2:Microstructure**. Siam J. Appl. Math. Vol.25, 1973.

9 Papamichos , E., Vardoulakis I.; Sulem , J. **Generalized continuum models for borehole stability analysis**. SPE/ISRM Rock Mechanics in Petroleum Engineering Conference held in Delft, The Netherlands, 1994.

10 Mühlhaus , H.-B.; Vardoulakis , I.**The thickness of shear in** granular materials. Géotechnique 37, N° 3, 1987, pp. 271-283.

11 Bogdanova-Bontcheva, Sofia Bulgarien N.; Lippmann, Karlsruche H. **Rotationssymmetrisches ebenès Fließen eines granularen modelmaterials**. Act Mechanical 21, 1974, pp. 93-113.

12 Figueiredo, Rodrigo Peluci. **Modelagem de Maciços Rochosos como Meios Contínuos Generalizados de Cosserat**. Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2001.

13 Mendoza, Ângela Rocio Bayona. Análise de Instabilidade de Poços de Petróleo associada à Produção de Areia através de um Modelo do Continuo de Cosserat. Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2003. 14ASTM.D2664-04:StandardTestMethodForTriaxialCompressiveStrenghtofUndrainedRockCoreSpecimenswithoutPorePressureMeasurements.2004.

15 ASTM. **D4543-09: Standard Practices for Preparing Rock Core as Cylindrical Test Specimens and Verifying Conformance to Dimensional Shape Tolerances**. 2007.

16 ASTM. **D2938-86: Unconfined Compressive Strength of Intact Rock Core Specimens**. 1986.

17 ASTM. **D3967-86: Splitting Tensile Strength of Intact Rock Core Specimens.** 1986.

18 Tejchman , J.. **Numerical study on localized deformation in a Cosserat continuum.** Institute for Soil Mechanics and Rock Mechanics, Karlsruhe University Germany, 1994.

19 Vardoulakis, I.; Aifantis , E.C. **Gradient dependent dilatancy and its implications in shear banding and liquefaction**. Ingenieu-Archiv 59, 1989, pp.197-208.

20 Vardoulakis , I. Shear-banding and liquefaction in granular materials on the basis of Cosserat continuum. Ingenieu-Archiv 59, 1989, pp.106-113.

21 Detournay, Emmanuel; John, Christopher M. St. **Design Charts** for a **Deep Circular Tunnel Under Non-uniform Loading**. Rock Mechanics and Rock Engineering 21, 1988, pp. 119-137.

22 Detournay , E.; Fairhurst , C. **Two-dimensional Elastoplastic** Analysis of a Long, Cylindrical Cavity Under Non-hydrostatic Loading .Int. J. Rock Mech. Min. Set. & Geomech. Abstr. Vol 24, N° 4, 1987, pp. 197-211.

23 Santos, Janaina Barreto. **Estudo experimental dos mecanismos de produção de areia empregando tomografia computadorizada de raios-X**. Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2004.

24 Hoek, P.J. van den; Koojiman, A.P.; Kenter, C.J. **Size-Dependency of Hollow Cylinder Collapse Strength**. 67<sup>th</sup> Annual Technical Conference and Exhibition of the SPE, 1994.

25 Koojiman , A.P.et al. Horizontal Wellbore Stability an Sand **Production in Weakly Consolidated Sandstones**. SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 1996, pp. 35-48.

26 Hoek , P.J. van den et al. **A New Concept of Sand Production Prediction: Theory and Laboratory Experiments**. SPE Drill. & Completion 15, 2000, pp.261-273.

27 Aifantis, E.C. Strain gradient interpretation of size effects – International Journal of Fracture, 1999, pp.95:299-314.

28 Bazant, Zdenek P.; Jirásek, Milan. **Nonlocal Integral Formulations of Plasticity and Damage: Survey of Progress**. American Society of Civil Engineers, 2002, pp. 1119-1149.

29 Potts , David M.; Zdravkovic , Lidija. **Finite element analysis in geotechnical engineering, application**. Thomas Telford Ltd, 2001.

30 Papamichos E et al. **Rock Type and hole failure pattern effects on sand production.**ARMA, 42<sup>th</sup> US Rock Mechanics Symposium and 2<sup>nd</sup> US – Canada Rock Mechanics Symposium, 2008.

31 Cosserat, Eugene; Cosserat, Françoise. **Sur la mécanique générale**. Compte Rendus Acd. Sci. Paris 145, n° 24, 1907, pp.1139-1142.

32 Tronvoll , J. et al. Sand Production in Ultra-Weak Sandstones: Is Sand Control Absolutely Necessary. Paper SPE 39042 presented at the 5th Latin American and Caribbean Conference, Rio de Janeiro, 30 August-3 September 1997.

33 Wilson , S.M. et al. **New Model for Predicting the Rate of Sand Production**. Paper SPE/ISRM 78168, presented at the SPE/ISRM Rock Mech. Conf. in Irving, Texas, 20-23 October 2002.

34 Palmer, Ian D.; Higgs, N.G. **Sand Production Analysis for Saint Malo, Deepwater Gulf of Mexico**. Internal report HT-UNO007, June 2005.

35 Mindlin, R. D.**Micro-structure in linear elasticity**. Arch. Rational Mech. Anal. 16, 1964, pp. 51-78.

36 Mindlin, R. D.**On the Equations of elastic materials with microstructure**. Internal J. Solids Struct 1,1965a, pp. 73-78.

37 Mindlin, R. D.**Stress functions for a Cosserat continuum**. Internal J. Solids Struct 1, 1965b, pp. 265-271.

38 Mindlin, R. D. Second gradient of strain and surface-tension in linear elasticity. Internal J. Solids Struct 1, 1965 c, pp. 417-438.

39 Mindlin, R. D.; Tiersten , H. F. **Effects of couple-stresses in linear elasticity**. Arch. Rational Mech. Anal 11, 1962, pp. 415-448.

40 Mühlhaus, H. B. **Application of Cosserat theory in numerical solutions of limit load problems**.Ingenieur, Archiv 59, 1989a, pp.124-137.

41 Mühlhaus, H. B. **Stress and couple-stress in a layered and half plne with surface loading**.Int. J. Num. Anal. Meth. Geomech. 13, 1989b, pp. 545-563.

42 Cowin, S.C. e J.W. Nunziato. **Stress-functions for Cosserat** elasticity. Int. J. Solids Struct. 6, 1970, pp.389-398.

43 Erigen, A. C. Mechanics of micromorphic continua – Em Mechanics of Generalized Continua . IUTAM Symp., Freudenstadt and Stuttgart, Kröner (ed.), Berlin: Springer-Verlag , 1968, pp.18-35;

44 Erigen, A. C.**Theory of micromorphic materials with memory**. Int. J. Engng. Sci 10, 1972, pp. 623-641.

45 AZEVEDO, F.S. **Estudo Experimental da Influência de Tensões na Permeabilidade de Rochas Produtoras de Petróleo**. Tese de mestrado: PUC, Rio de Janeiro, Abril, 2005.

46 AZEVEDO, F.S.; SOARES, A.C.; VARGAS, E.A. **Influência de Tensões na Permeabilidade de Rochas Produtoras de Petróleo**. IV Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas: Curitiba, 2006, pp. 2449-2454.

47 AZEVEDO, F.S.; VARGAS, E.A.; SOARES, A.C. **Efeito do Estado de Tensão na Permeabilidade de Rocha-Reservatório de Petróleo**. Rio Oil & Expo and Conference, IBP-1128/06, Rio de Janeiro, Setembro, 2006.

48 Soares, A.C. **Um Estudo da Influência do Estado de Tensões na Permeabilidade de Rochas Produtoras de Petróleo**. Tese de doutorado, UFRJ, Rio de Janeiro, Abril, 2005.

## Anexo A

Estão anexados os filmes com a recosntrução 3D das tomografias realizadas antes e depois dos ensaios, na célula poliaxial, dos seguintes corpos-de-prova CP-01, CP-04, CP-08 e CP-13.

## Anexo B

Abaixo são apresentadas a área plastificada, deformação xx, deformação yy e a malha deformada para cada simulação numérica, com algoritmo de Newton-Raphson Modificado, realizada para os ensaios poliaxiais CP-01, CP-08 e CP-13.



Figura 149 – Área Plastificada, modelo Mohr-Coulomb, contínuo clássico para CP-01.



Figura 150 – Deformação yy ao longo da geometria com malha deformada e não deformada, modelo Mohr-Coulomb, contínuo clássico para CP-01.



Figura 151 – Deformação xx ao longo da geometria com malha deformada e não deformada, modelo Mohr-Coulomb, contínuo clássico para CP-01.



Figura 152 – Malha deformada, modelo Mohr-Coulomb, contínuo clássico para CP-01.



Figura 153 – Área Plastificada, modelo Mohr-Coulomb cinemático, contínuo Cosserat para CP-01.



Figura 154 – Deformação yy ao longo da geometria com malha deformada e não deformada, modelo Mohr-Coulomb cinemático, contínuo Cosserat para CP-01.



Figura 155 – Deformação xx ao longo da geometria com malha deformada e não deformada, modelo Mohr-Coulomb cinemático, contínuo Cosserat para CP-01.



Figura 156 – Malha deformada, modelo Mohr-Coulomb cinemático, contínuo Cosserat para CP-01.



Figura 157 – Área Plastificada, modelo Mohr-Coulomb estático, contínuo Cosserat para CP-01.





Figura 158 – Deformação yy ao longo da geometria com malha deformada e não deformada, modelo Mohr-Coulomb estático, contínuo Cosserat para CP-01.



Figura 159 – Deformação xx ao longo da geometria com malha deformada e não deformada, modelo Mohr-Coulomb estático, contínuo Cosserat para CP-01.



Figura 160 – Malha deformada, modelo Mohr-Coulomb estático, contínuo Cosserat para CP-01.



Figura 161 – Área Plastificada, modelo Bogdanova e Lippmann Modificado, contínuo Cosserat para CP-01.



Figura 162 – Deformação yy ao longo da geometria com malha deformada e não deformada, modelo Bogdanova e Lippmann Modificado o, contínuo Cosserat para CP-01.



Figura 163 – Deformação xx ao longo da geometria com malha deformada e não deformada, modelo Bogdanova e Lippmann Modificado, contínuo Cosserat para CP-01.



Figura 164 – Malha deformada, modelo Bogdanova e Lippmann Modificado, contínuo Cosserat para CP-01.



Figura 165 – Área Plastificada, modelo Mohr-Coulomb, contínuo clássico para CP-08.



Figura 166 – Deformação yy ao longo da geometria com malha deformada e não deformada, modelo Mohr-Coulomb, contínuo clássico para CP-08.



Figura 167 – Deformação xx ao longo da geometria com malha deformada e não deformada, modelo Mohr-Coulomb, contínuo clássico para CP-08.



Figura 168 – Malha deformada, modelo Mohr-Coulomb, contínuo clássico para CP-08.



Figura 169 – Área Plastificada, modelo Mohr-Coulomb cinemático, contínuo Cosserat para CP-08.





Figura 170 – Deformação yy ao longo da geometria com malha deformada e não deformada, modelo Mohr-Coulomb cinemático, contínuo Cosserat para CP-08.



Figura 171 – Deformação xx ao longo da geometria com malha deformada e não deformada, modelo Mohr-Coulomb cinemático, contínuo Cosserat para CP-08.



Figura 172 – Malha deformada, modelo Mohr-Coulomb cinemático, contínuo Cosserat para CP-08.



Figura 173 – Área Plastificada, modelo Mohr-Coulomb estático, contínuo Cosserat para CP-08.



Figura 174 - Deformação yy ao longo da geometria com malha deformada e não deformada, modelo Mohr-Coulomb estático, contínuo Cosserat para CP-08.



Figura 175 – Deformação xx ao longo da geometria com malha deformada e não deformada, modelo Mohr-Coulomb estático, contínuo Cosserat para CP-08.



Figura 176 – Malha deformada, modelo Mohr-Coulomb estático, contínuo Cosserat para CP-08.



Figura 177 – Área Plastificada, modelo Bogdanova e Lippmann Modificado, contínuo Cosserat para CP-08.



Figura 178 – Deformação yy ao longo da geometria com malha deformada e não deformada, modelo Bogdanova e Lippmann Modificado o, contínuo Cosserat para CP-08.



Figura 179 – Deformação xx ao longo da geometria com malha deformada e não deformada, modelo Bogdanova e Lippmann Modificado, contínuo Cosserat para CP-08.



Figura 180 – Malha deformada, modelo Bogdanova e Lippmann Modificado, contínuo Cosserat para CP-08.



Figura 181 – Área Plastificada, modelo Mohr-Coulomb, contínuo clássico para CP-13.



Figura 182 – Deformação yy ao longo da geometria com malha deformada e não deformada, modelo Mohr-Coulomb, contínuo clássico para CP-13.



Figura 183 – Deformação xx ao longo da geometria com malha deformada e não deformada, modelo Mohr-Coulomb, contínuo clássico para CP-13.



Figura 184 – Malha deformada, modelo Mohr-Coulomb, contínuo clássico para CP-13.



Figura 185 – Área Plastificada, modelo Mohr-Coulomb cinemático, contínuo Cosserat para CP-13.



Figura 186 – Deformação yy ao longo da geometria com malha deformada e não deformada, modelo Mohr-Coulomb cinemático, contínuo Cosserat para CP-13.



Figura 187 – Deformação xx ao longo da geometria com malha deformada e não deformada, modelo Mohr-Coulomb cinemático, contínuo Cosserat para CP-13.



Figura 188 – Malha deformada, modelo Mohr-Coulomb cinemático, contínuo Cosserat para CP-13.



Figura 189 – Área Plastificada, modelo Mohr-Coulomb estático, contínuo Cosserat para CP-13.



Figura 190 – Deformação yy ao longo da geometria com malha deformada e não deformada, modelo Mohr-Coulomb estático, contínuo Cosserat para CP-13.



Figura 191 – Deformação xx ao longo da geometria com malha deformada e não deformada, modelo Mohr-Coulomb estático, contínuo Cosserat para CP-13.



Figura 192 – Malha deformada, modelo Mohr-Coulomb estático, contínuo Cosserat para CP-13.



Figura 193 – Área Plastificada, modelo Bogdanova e Lippmann Modificado, contínuo Cosserat para CP-13.



Figura 194 – Deformação yy ao longo da geometria com malha deformada e não deformada, modelo Bogdanova e Lippmann Modificado o, contínuo Cosserat para CP-13.



Figura 195 – Deformação xx ao longo da geometria com malha deformada e não deformada, modelo Bogdanova e Lippmann Modificado, contínuo Cosserat para CP-13.



Figura 196 – Malha deformada, modelo Bogdanova e Lippmann Modificado, contínuo Cosserat para CP-13.

Abaixo serão apresentadas a função de escoamento, deformação xx, deformação yy e a malha deformada para cada simulação numérica, com algoritmo de Relaxação Dinâmica e amortecimento global, realizada para os ensaios poliaxiais CP-01, CP-08 e CP-13.



Figura 197 – Área Plastificada, modelo Mohr-Coulomb, contínuo clássico para CP-01.



Figura 198 – Deformação yy ao longo da geometria com malha deformada e não deformada, modelo Mohr-Coulomb, contínuo clássico para CP-01.



Figura 199 –Deformação xx ao longo da geometria com malha deformada e não deformada, modelo Mohr-Coulomb, contínuo clássico para CP-01.



Figura 200 – Malha deformada, modelo Mohr-Coulomb, contínuo clássico para CP-01.



Figura 201 – Área Plastificada, modelo Mohr-Coulomb cinemático, contínuo Cosserat para CP-01.



Figura 202 – Deformação yy ao longo da geometria com malha deformada e não deformada, modelo Mohr-Coulomb cinemático, contínuo Cosserat para CP-01.



Figura 203 – Deformação xx ao longo da geometria com malha deformada e não deformada, modelo Mohr-Coulomb cinemático, contínuo Cosserat para CP-01.



Figura 204 – Malha deformada, modelo Mohr-Coulomb cinemático, contínuo Cosserat para CP-01.



Figura 205 – Área Plastificada, modelo Mohr-Coulomb estático, contínuo Cosserat para CP-01.



Figura 206 – Deformação yy ao longo da geometria com malha deformada e não deformada, modelo Mohr-Coulomb estático, contínuo Cosserat para CP-01.



Figura 207 –Deformação xx ao longo da geometria com malha deformada e não deformada, modelo Mohr-Coulomb estático, contínuo Cosserat para CP-01.



Figura 208 – Malha deformada, modelo Mohr-Coulomb estático, contínuo Cosserat para CP-01.



Figura 209 – Área Plastificada, modelo Bogdanova e Lippmann Modificado, contínuo Cosserat para CP-01.



Figura 210 –Deformação yy ao longo da geometria com malha deformada e não deformada, modelo Bogdanova e Lippmann Modificado o, contínuo Cosserat para CP-01.



Figura 211 – Deformação xx ao longo da geometria com malha deformada e não deformada, modelo Bogdanova e Lippmann Modificado, contínuo Cosserat para CP-01.



Figura 212 – Malha deformada, modelo Bogdanova e Lippmann Modificado, contínuo Cosserat para CP-01.



Figura 213 – Área Plastificada, modelo Mohr-Coulomb, contínuo clássico para CP-08.



Figura 214 –Deformação yy ao longo da geometria com malha deformada e não deformada, modelo Mohr-Coulomb, contínuo clássico para CP-08.



Figura 215 – Deformação xx ao longo da geometria com malha deformada e não deformada, modelo Mohr-Coulomb, contínuo clássico para CP-08.



Figura 216 – Malha deformada, modelo Mohr-Coulomb, contínuo clássico para CP-08.



Figura 217 – Área Plastificada, modelo Mohr-Coulomb cinemático, contínuo Cosserat para CP-08.



Figura 218 – Deformação yy ao longo da geometria com malha deformada e não deformada, modelo Mohr-Coulomb cinemático, contínuo Cosserat para CP-08.



Figura 219 –Deformação xx ao longo da geometria com malha deformada e não deformada, modelo Mohr-Coulomb cinemático, contínuo Cosserat para CP-08.



Figura 220 – Malha deformada, modelo Mohr-Coulomb cinemático, contínuo Cosserat para CP-08.



Figura 221 – Área Plastificada, modelo Mohr-Coulomb estático, contínuo Cosserat para CP-08.



Figura 222 –Deformação yy ao longo da geometria com malha deformada e não deformada, modelo Mohr-Coulomb estático, contínuo Cosserat para CP-08.



Figura 223 –Deformação xx ao longo da geometria com malha deformada e não deformada, modelo Mohr-Coulomb estático, contínuo Cosserat para CP-08.



Figura 224 – Malha deformada, modelo Mohr-Coulomb estático, contínuo Cosserat para CP-08.



Figura 225 – Área Plastificada, modelo Bogdanova e Lippmann Modificado, contínuo Cosserat para CP-08.



Figura 226 –Deformação yy ao longo da geometria com malha deformada e não deformada, modelo Bogdanova e Lippmann Modificado o, contínuo Cosserat para CP-08.



Figura 227 –Deformação xx ao longo da geometria com malha deformada e não deformada, modelo Bogdanova e Lippmann Modificado, contínuo Cosserat para CP-08.



Figura 228 – Malha deformada, modelo Bogdanova e Lippmann Modificado, contínuo Cosserat para CP-08.



Figura 229 – Área Plastificada, modelo Mohr-Coulomb, contínuo clássico para CP-13.



Figura 230 – Deformação yy ao longo da geometria com malha deformada e não deformada, modelo Mohr-Coulomb, contínuo clássico para CP-13.



Figura 231 –Deformação xx ao longo da geometria com malha deformada e não deformada, modelo Mohr-Coulomb, contínuo clássico para CP-13.



Figura 232 – Malha deformada, modelo Mohr-Coulomb, contínuo clássico para CP-13.



Figura 233 – Área Plastificada, modelo Mohr-Coulomb cinemático, contínuo Cosserat para CP-13.



Figura 234 –Deformação yy ao longo da geometria com malha deformada e não deformada, modelo Mohr-Coulomb cinemático, contínuo Cosserat para CP-13.



Figura 235 – Deformação xx ao longo da geometria com malha deformada e não deformada, modelo Mohr-Coulomb cinemático, contínuo Cosserat para CP-13.



Figura 236 – Malha deformada, modelo Mohr-Coulomb cinemático, contínuo Cosserat para CP-13.



Figura 237 – Área Plastificada, modelo Mohr-Coulomb estático, contínuo Cosserat para CP-13.



Figura 238 –Deformação yy ao longo da geometria com malha deformada e não deformada, modelo Mohr-Coulomb estático, contínuo Cosserat para CP-13.



Figura 239 –Deformação xx ao longo da geometria com malha deformada e não deformada, modelo Mohr-Coulomb estático, contínuo Cosserat para CP-13.



Figura 240 – Malha deformada, modelo Mohr-Coulomb estático, contínuo Cosserat para CP-13.



Figura 241 – Área Plastificada, modelo Bogdanova e Lippmann Modificado, contínuo Cosserat para CP-13.



Figura 242 –Deformação yy ao longo da geometria com malha deformada e não deformada, modelo Bogdanova e Lippmann Modificado o, contínuo Cosserat para CP-13.



Figura 243 –Deformação xx ao longo da geometria com malha deformada e não deformada, modelo Bogdanova e Lippmann Modificado, contínuo Cosserat para CP-13.



Figura 244 –Malha deformada, modelo Bogdanova e Lippmann Modificado, contínuo Cosserat para CP-13.