

UTILIZAÇÃO DO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS NO CÁLCULO DE ESTRUTURAS DE SOLOS REFORÇADOS

ROBERTO F. AZEVEDO

J.G. ZORNBERG

C.L. NOGUEIRA

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO

RESUMO

A utilização de estruturas de solos reforçados tem tido uma aceitação crescente nos últimos tempos. O método dos elementos finitos (MEF), por ser muito geral, oferece a oportunidade de estudar com detalhes estas estruturas. Este artigo inicia discutindo aspectos particulares da aplicação de elementos finitos em solos reforçados e, em seguida, apresenta uma revisão bibliográfica da utilização do MEF no estudo de obras de solos reforçados tais como: contenções, escavações, taludes, aterros sobre solos moles, fundações e encontro de pontes.

SUMMARY

Reinforced earth structures have been increasingly utilized recently. The finite element method (FEM), due to its general application, offers an opportunity to study in details these structures. This paper begins discussing particular aspects of finite elements applied to model reinforced earth. Following, the paper presents a bibliographic review of the FEM utilization to study reinforced earth construction such as: retaining structures, slopes, embankments over soft foundations, foundations and bridge approaches.

1. INTRODUÇÃO

Os benefícios associados à incorporação numa massa de solo de materiais que resistem a esforços de tração são bastante conhecidos e tem sido comprovados pela bem sucedida construção de várias obras que utilizam este artifício ao qual, habitualmente, dá-se o nome de solo reforçado. Os métodos de projeto de estruturas de solo reforçado são geralmente baseados em teorias de equilíbrio limite que, como se sabe, não consideram explicitamente nem as deformações do solo, nem a interação que ocorre entre os elementos de tração e o solo. Estas limitações, entretanto, podem ser ultrapassadas pelo método dos elementos finitos que possibilita o estudo adequado de estruturas de solo reforçado. A seguir discute-se alguns aspectos particulares da aplicação deste método para representar

adequadamente solos reforçados e, em seguida, apresenta-se uma revisão bibliográfica sobre trabalhos nos quais o MEF foi utilizado para estudar estruturas de solos reforçados.

2. REPRESENTAÇÃO DE SOLOS REFORÇADOS ATRAVÉS DO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

Existem duas maneiras de representar solos reforçados através do método dos elementos finitos. Na primeira, habitualmente chamada de representação composta, utiliza-se um único elemento para representar o solo reforçado e, na segunda, geralmente denominada de representação discreta, utilizam-se diferentes elementos para representar o solo, o reforço e a interface entre o solo e o reforço.

2.1. Representação Composta

Neste caso a massa de solo reforçado é tratada como um meio único, anisotrópico e homogêneo. A matriz de rigidez dos elementos compostos é formada superpondo-se a rigidez do reforço com a rigidez do solo, normalmente supondo-se não haver deslocamento relativo entre os dois (Romstad e outros, 1976 e Chang e Forsyth, 1977). A elaboração da malha de elementos finitos fica facilitada porque as camadas de reforço são diretamente incorporadas nos elementos compostos, reduzindo substancialmente o tamanho da malha de elementos finitos e, conseqüentemente, o trabalho computacional. Claramente as desvantagens desta representação são a impossibilidade de, primeiro, modelar o deslocamento relativo entre o reforço e o solo, segundo, estudar as tensões no reforço e, finalmente, modelar adequadamente o processo construtivo.

Algumas tentativas tem sido feitas no sentido de se desenvolver elementos compostos que permitam o deslocamento relativo entre o solo e o reforço (Herrmann e Al-Yassin, 1978 e Naylor e Richards, 1978). Entretanto, estes desenvolvimentos complicam o elemento composto, tornando o esforço computacional substancialmente maior, praticamente eliminando a vantagem da representação composta mencionada acima.

2.2. Representação Discreta

A representação discreta do solo reforçado fornece diretamente informações a respeito das deformações e tensões nas interfaces, no reforço, entre as camadas de reforço e na massa de solo. Além disso, permite a modelagem do deslocamento relativo entre o reforço e o solo, bem como a simulação adequada do processo construtivo. Entretanto, para se obter resultados precisos é necessário que a escolha do elemento finito, assim como a sua distribuição, seja feita de forma a permitir suficiente flexibilidade na malha, sobretudo entre as camadas de reforço, de forma a obter-se uma distribuição correta de deformações e tensões.

A representação discreta envolve, portanto, a utilização de elementos para representar o solo, o reforço e a interface entre o solo e o reforço.

a. Modelagem do Solo

Existe na literatura uma grande variedade de elementos que podem ser empregados na modelagem do solo em duas ou três dimensões, desde os mais simples que assumem distribuições constante de deformação no seu interior, até os mais complexos que assumem distribuições de deformações não-lineares de diferentes ordens dentro do elemento. Em geral, qualquer um destes elementos pode ser usado. No entanto, elementos menos sofisticados, apesar de apresentarem menos dificuldade na implementação computacional, exigem malhas muito refinadas, trabalhosas de serem elaboradas, para simular gradientes de deformação e tensão. Elementos muito sofisticados, ao contrário, exigem mais na implementação computacional, porém são capazes de simular gradientes de deformação e tensão mesmo em malhas com um número reduzido de elementos. Entretanto, frequentemente, detalhes da geometria, do processo construtivo ou mesmo do perfil geotécnico condicionam o tamanho dos elementos, por vezes não permitindo a utilização de grandes elementos. Desta forma, elementos intermediários, como alguns elementos iso-paramétricos, tem sido bastante utilizado em problemas planos e axi-simétricos.

b. Modelagem do Reforço

O reforço é normalmente modelado com elementos uni-dimensionais de treliça capazes de resistir a esforços de tração e compressão. O reforço, no entanto, só resiste a esforços de tração, logo a implementação do elemento de treliça deve ser tal que sua rigidez seja nula quando solicitado à compressão. Em vista disto, torna-se muito fácil considerar um comportamento não-linear para o comportamento tração-extensão do reforço.

c. Modelagem da Interface Solo-Reforço

A interação entre o solo e o reforço pode ser modelada introduzindo-se ou elementos de interface ou de junta. Diversos tipos de elementos finitos tem sido propostos para modelar juntas e interfaces. Estes elementos podem ser classificados nos seguintes grupos:

- elementos finitos convencionais com espessura reduzida nos quais procura-se modelar as juntas e/ou interfaces usando os mesmos elementos usados para modelar o solo. Como a interface tem espessura reduzida, praticamente nula, a relação entre largura e altura destes elementos (aspect ratio) é muito grande, suscetível de gerar problemas numéricos de mal condicionamento do elemento (Pande e Sharma, 1979). Griffiths (1985) conclui a respeito deste problema:

"as the element aspect ratio increased up to 1000, a much tighter tolerance was required than would be needed in normal usage of the elements. For smaller aspect ratio (up to 100) slippage was modelling quite accurately ..."

Handel e outros (1990) usaram o elemento isoparamétrico plano de oito nós conjugado com uma matriz constitutiva de um modelo multilaminar (Pande e Xiong, 1982)

para modelar interfaces num teste de arrancamento (pull-out test) e num aterro sobre solo mole obtendo resultados satisfatórios para valores de "aspect ratios" até 1000.

- elementos de ligação que são bastante simples e consistem em conectar diretamente os nós do reforço com os nós correspondentes do solo, diretamente acima e abaixo do reforço, por molas: uma na direção normal ao reforço, outra na direção do reforço. Obviamente esta modelagem é limitada pelo fato de não considerar um acoplamento completo entre os diversos nós (Frank e outros, 1982).

- elementos de junta nos quais a principal variável de deformação é o deslocamento relativo entre nós opostos do solo e do reforço. Estes elementos foram inicialmente propostos por Goodman e outros (1968) supondo a junta (ou interface) com espessura nula e unidimensional (junta para problemas planos). A partir deste trabalho pioneiro, vários destes elementos com espessura nula (Ghaboussi e outros, 1973; Carol e Alonso, 1983; Carol e outros, 1985; Beer, 1985; Gens e outros, 1988) ou finita (Desai e outros, 1984) foram desenvolvidos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica feita neste trabalho sobre utilização de elemento finitos nas análises de obras de solos reforçados mostrou trabalhos sobretudo associados a obras de contenção e aterros. As Tabelas 1 e 2 abaixo apresentam um resumo destes trabalhos.

TABELA 1 - OBRAS DE CONTENÇÃO

REF.	SOLO		REFORÇO			INTERFACE	
	elemento	modelo	tipo	elemento	modelo	elemento	modelo
Adib e outros (1990)	isoparamétrico	hiperbólico	qualquer	barra	linear elástico	junta	hiperbólico
Al-Hussaini e outros (1978)	5 nós quadrilateral	hiperbólico	fita metálica	2 nós barra	linear elástico	junta Goodman (1968)	hiperbólico
Bathrust e outros (1992)	8 nós isoparamétrico	hiperbólico	geogrid	3 nós isoparamétrico	não-linear	junta Ghaboussi e outros (1973)	

Bauer e Mowafy (1986)	?	hiperbólico composto	qualquer	composto	elasto-plástico		
Cardoso (1986)	5 nós	hiperbólico	micro-estacas	2 nós barra	linear elástico	junta Goodman (1968)	hiperbólico
Chew e outros (1990)	4 e 3 nós isoparamétrico	hiperbólico	fitas	2 nós barra	linear elástico	junta Goodman (1968)	hiperbólico
Dondi (1990)	vários	elasto-plástico	geotextil	?	linear elástico	4 nós isoparamétrico	Mohr-Coulomb
Fishman e Desai (1991)	8 nós isoparamétrico	linear elástico	geogrid	8 nós isoparamétrico	linear elástico	8 nós isoparamétrico	linear elástico
Ho e Smith (1990)	8 nós tri-dim.	Mohr-Coulomb	fitas micro-estacas	2 nós barra	?		
Karpurapu e Bathurst (1992)	8 nós	hiperbólico	geogrid	3 nós barra	não-linear	junta Ghaboussi e outros (1973)	Mohr-Coulomb
Ogisako e outros (1988)	?	hiperbólico	geogrid	2 nós barra	linear elástico	junta	?
Sawicki (1990)	composto	elasto-plástico	qualquer	composto	elasto-plástico		
Schmertmann e outros (1989)	3 ou 4 nós isoparamétrico	hiperbólico e bi-linear	qualquer	2 nós barra	linear elástico	ligações nodais	não-linear
Seed e outros (1986)	4 nós isoparamétrico	hiperbólico compactação	fitas	2 nós barra	linear elástico	ligações nodais	hiperbólico
Smith (1992)	8 e 14 nós tri-dim.	linear-elástico Mohr-Coulomb	fitas	2 nós barra	linear elástico	8 e 14 nós tri-dim.	linear-elástico Mohr-Coulomb

TABELA 2 - ATERROS

REF.	SOLO		REFORÇO			INTERFACE	
	elemento	modelo	tipo	elemento	modelo	elemento	modelo
Adib e outros (1990)	isoparamétrico	hiperbólico	qualquer	barra	linear elástico	junta	hiperbólico
Bauer e Mowafy (1985)	composto	hiperbólico	qualquer	composto	elasto-plástico		
Chalaturnyk e outros (1990)	?	hiperbólico	geogrid	barra	não-linear		
Chou e outros (1987)	?	hiperbólico	geogrid	barra	linear-elástico		
Ebeling e outros (1992)	5 nós subparamétrico	hiperbólico	fitas	2 nós barra ou composto	?	junta Goodman (1968)	hiperbólico
Haji e Tee (1990)	?	hiperbólico	qualquer	barra	linear elástico	elem. de ligação	não-linear
Hird e outros (1990)	6 nós triang.	elást.-perf.-plástico				junta Goodman (1968)	elást.-perf.-plástico
Matsui e San (1988)	?	hiperbólico	?	barra	linear elástico	junta	elasto-plástico
Miki e outros (1988)	?	elasto-plástico	geogrid	?	linear elástico		
Monnet e outros (1989)	?	elasto-plástico	qualquer	barra	linear elástico	isoparamétrico	elástico perf.-plást.
Rowe (1986)							

Schaefer e Duncan (1989)	4 nós e 8 nós	hiperbólico Cam-clay	geogrid	barra	linear elástico		
Taki e outros (1988)	?	composto elasto-plástico	geogrid		composto elástico perf.-plást		

Além destes trabalhos ainda foram encontrados artigos de escopo mais geral (Jones, 1988; Koga e outros, 1988; Kutara e outros, 1986; Mahmoud e Mashhour, 1986; Mitchell e Christopher, 1990 e Wu, 1989) e artigos que apresentavam análises numéricas de estruturas de solos reforçados usadas para fundações (Omar e outros, 1992; Parke outros, 1988 e Poran e outros, 1991), encontro de pontes (Wu e Helway, 1990 e Wu Monley, 1989) e pavimento de estradas (Burd e Houlby, 1989 e Miura e outros, 1990).

4. OBSERVAÇÕES FINAIS

Neste trabalho procurou-se abordar as principais características que os elementos finitos devem ter para modelar estruturas que utilizam solos reforçados. Além disso, fez-se uma pesquisa bibliográfica a respeito de trabalhos que, usando o método dos elementos finitos, estudaram diversos tipos de obras com solos reforçados. As principais questões despertadas ao longo do estudo foram:

- primeiro, deve-se utilizar um modelo plano (estado plano de deformação) ou tri-dimensional? A rigor quase todos os caso são tri-dimensionais, porém tem sido aceito e comprovado que reforços planos tipo geotextil e geogrid, por serem contínuos, enquadram-se mais razoavelmente nas hipóteses de estado plano de deformação do que os reforços descontínuos tipo fitas metálicas ou micro-estacas para as quais a modelagem tri-dimensional parece ser mais recomendada;

- segundo, como escolher entre usar elementos compostos (mais simples e menos informativos) ou elementos discretos? Esta escolha, além de eventuais restrições econômicas e computacionais, fica também condicionada pelo fato de que, longe da ruptura, o deslocamento relativo entre o reforço e o solo é pequeno, desta forma tornando o uso dos elementos compostos menos problemático. Por outro lado, quando se está interessado na carga de ruptura ou em situações próximas à ruptura, com certeza os elementos discretos são mais recomendados;

- terceiro, deve-se ou não simular o processo construtivo? Como é sobejamente reconhecido, o comportamento dos solos depende da história e da trajetória de tensões. Portanto, a resposta a esta pergunta é indiscutivelmente afirmativa: o processo construtivo deve ser simulado e o método dos elementos finitos fornece todas as condições para que isto seja feito;

- quarto, que tipo de modelo constitutivo deve ser empregado? Pelas mesmas razões da resposta anterior, tem sido crescente o nível de sofisticação na modelagem dos materiais e, neste sentido, os modelos elasto-plástico tem sido utilizados com frequência crescente;

- finalmente, as análises devem ser feitas em termos de tensões totais ou efetivas? A grande maioria dos solos reforçados são materiais granulares que drenam muito rapidamente, tornando as duas opções equivalentes. Há uma tendência de se usar materiais coesivos, menos drenantes, e, neste caso, recomenda-se análises em termos de tensões efetivas o que implica em forçosamente trabalhar com modelos que acoplam deformação e dissipação de poro-pressões (Zornberg, 1992).

5. BIBLIOGRAFIA

1. Adib, M.; Mitchell, J.K. e Christopher, B. (1990) - "Finite Element Modeling of Reinforced Soil Walls and Embankments", Design and Performance of Earth Retaining Structures, Geotechnical Publication No.25, ASCE, 409-423.
2. Al-Hussaini, M.M. e Johnson, L.D. (1978) - "Numerical Analysis of a Reinforced Earth Wall", Proc. of the Symposium on Earth Reinforcement, ASCE, Pittsburg, 98-126.
3. Bathurst, R.J.; Karpurapu, R. e Jarrett, P.M. (1992) - "Finite Element Analysis of a Geogrid Reinforced Soil Wall", Grouting, Soil Improvement and Geosynthetics, Borden R.H., Holtz, R.D. and Juran, I. (Eds.), Geotechnical Special Publication No. 30, ASCE, Vol. 2, New Orleans, 1213-1224.
4. Bauer, G.E. e Mowafy, Y.M. (1985) - "A Non-Linear Finite Element Analysis of Reinforced Embankments Under External Loadings", Proc. of the Fifth International Conference on Numerical Methods in Geomechanics, Nagoya, 905-918.
5. Bauer, G.E. e Mowafy, Y.M. (1986) - "The Behaviour of Reinforced Earth Walls under Self-Weight and External Loading", Proc. of the Second International Symposium on Numerical Models in Geomechanics, Ghent, 519-530.
6. Beer, G. (1985) - "An Isoparametric Joint/Interface Element for FE Analysis", Int. J. Num. Meth. Eng., 21, 585-600.
7. Burd, H.J. e Houlsby, G.T. (1989) - "Numerical Modelling of Reinforced Unpaved Road", Proc. of the Third International Symposium on Numerical Models in Geomechanics, Niagara Falls, 699-706.
8. Cardoso, A.S. (1986) - "A Model to Simulate Excavations Supported by Nailing", Proc. of the Second International Symposium on Numerical Models in Geomechanics, Ghent, 531-537.
9. Carol, I. e Alonso, E.E. (1983) - "A New Joint Element for the Analysis of Fractured Rock", Fifth Int. Conf. Rock Mechanics, Melbourne, F147-F151.

10. Carol, I.; Gens, A. e Alonso, E.E. (1985) - "A Three Dimensional Elasto-Plastic Joint Element", *Int. Symp. Fundam. of Rock Joints, Bjorkliden*, 441-451.
11. Chalaturnyk, R.J.; Scott, D.H.; Chan, K. e Richards, E.A. (1990) - "Stresses and Deformations in a Reinforced Soil Slope", *Canadian Geotechnical Journal* 27, 224-232.
12. Chang, J.C. e Forsyth R.F. (1977) - "Finite Element Analysis and Design of Reinforced Earth Wall", *J. Geotechnical Eng. Div., ASCE*, Vol. 103, GT 7, 711-724.
13. Chew, S.H.; Schmertmann, G.R. e Mitchell, J.K. (1990) - "Reinforced Soil Wall Deformations by the Finite Element Method", *Performance of Reinforced Soil Structures*, A. McGown, K. Yeo and K. Z. Andrawes (Eds.), London: Thomas Telford Ltd., 35-40.
14. Chou, N.S.S.; Tzong, W.H. e Siel, B.D. (1987) - "The Effectiveness of Tensile Reinforcement in Strengthening an Embankment over Soft Foundation", *Proc. of the Geosynthetics'87 Conference, New Orleans*, 332-340.
15. Dondi, G. (1990) - "Load Test on Retaining Wall Reinforced with Geosynthetics", *Proc. of the International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products. The Hague, Netherlands*, 101-106.
16. Desai, C.S.; Zaman, M.M.; Lightner, J.G. e Siriwardane, H.J. (1984) - "Thin-Layer Element for Interfaces and Joints", *Int. Journal Num. and Anal. Meth. in Geomech.*, 8, 19-43.
17. Ebeling, R.M.; Peters, J.F. e Mosher, R.L. (1992) - "Finite Element Analysis of Slopes with Layer Reinforcement", *Stability and Performance of Slopes and Embankments II, Geotechnical Publication No. 31, ASCE, Berkeley, California, June*, 1427-1443.
18. Fishman, K.L. e Desai, C.S. (1991) - "Response of a Geogrid Earth Reinforced Retaining Wall with Full Height Precast Concrete Facing", *Proc. of the Geosynthetics'91 Conference, Atlanta*, 691-700.
19. Frank, P. ; Guenot, A. e Humbert, P. (1982) - "Numerical Analysis of Contacts in Geomechanics", *Fourth International Conference in Numerical Methods in Geomechanics, Vol. 1, Edmonton*, 37-45.
20. Fukuoka, M. e Goto, M. (1987) - "Embankment for Interchange Constructed on Soft Ground Applying New Methods of Soil Improvement", *Proc. of the Conference on Prediction and Performance in Geotechnical Engineering, Calgary*, 169-176.
21. Ghaboussi, J.; Wilson, E.L. e Isenberg, J. (1973) - "Finite Element for Rock Joints and Interfaces", *J. Soil Mech. and Found. Division, ASCE*, 99, 833-848.
22. Gens, A.; Carol, I. e Alonso, E.E. (1988) - "An Interface Element Formulation for the Analysis of Soil-Reinforcement Interaction", *Computers and Geotechnics* 7, 133-151.

23. Goodman, R.E.; Taylor, R.L. e Brekke, T.L. (1968) - "A Model for the Mechanics of Jointed Rock", *J. Soil Mech. Found. Div., ASCE* 94 (SM3), 637-659.
24. Gourc, J.P.; Monnet, J. e Mommessin, M. (1986) - "Renforcement des Remblais sur Sol Mou: Differentes Approches Theoretiques", *Proc. of the Third International Conference on Geotextiles*. Vienna, 217-222.
25. Griffiths, D.V. (1985) - "Numerical Modelling of Interfaces Using Conventional Finite Elements", *Proc. of the Fifth International Conference on Numerical Methods in Geomechanics*, Nagoya, 837-844.
26. Haji, A. F. e Tee, H.E. (1990) - "Reinforced Slopes: Field Behavior and Prediction", *Proc. of the Fourth International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products*. The Hague, Netherlands, 17-20.
27. Handel, E.; Schweiger, H.F. e Yeo, K.C. (1990) - "A Simple Thin-Layer Element to Model Soil-Geotextile Interaction", *Performance of Reinforced Soil Structures*, A. McGown, K. Yeo and K.Z. Andrawes (Eds.), London: Thomas Telford Ltd., 317-321.
28. Herrmann, L.C. e Al-Yassin, Z. (1978) - "Numerical Analysis of Reinforced Soil System", *Proc. ASCE Symposium on Earth Reinforcement*, Pittsburg, 428-457.
29. Hird, C.C.; Pyrah I.C. e Russell, D. (1990) - "Finite Element Analysis of the Collapse of Reinforced Embankments on Soft Ground", *Geotechnique* 40 (4), 633-640.
30. Ho, D.K.H. e Smith, I.M. (1990) - "Modelling of Reinforced Soil Wall: Construction by a 3-D Finite Element Method", *Performance of Reinforced Soil Structures*, A. McGown, K. Yeo and K.Z. Andrawes (Eds.), London: Thomas Telford Ltd., 335-340.
31. Humphrey, D.N. e Holtz, R.D. (1989) - "Effect of the Surface Crust on Reinforced Embankment", *Proc. of the Geosynthetics'89 Conference*, San Diego, 136-147.
32. Jones, C.J.F.P. (1988) - "Predicting the Behaviour of Reinforced Soil Structures", *Proc. of the International Geotechnical Symposium on Theory and Practice of Earth Reinforcement*, Fukuoka, Kyushu, Japan, 535-540.
33. Karpurapu, R. e Bathurst, R.J. (1992) - "Analysis of Geosynthetic Reinforced Soil Wall by Finite Element Method", *Proc. of the Fourth International Symposium on Numerical Models in Geomechanics*, Vol.2, Swansea, 861-870.
34. Katagiri, T.; Haneda, H.; Moriyama, M.; Tsuruoka, T.; Toriumi, S.; Takaoka, K. e Yahada, T. (1990) - "Steep Reinforced Embankment Using Geogrid. Laboratory Pull-Out Test of Geogrid and Its Finite Element Analysis", *Proc. of the Fourth International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products*. The Hague, Netherlands, 45-51.

35. Koga, K.; Aramaki, G. e Valliappan (1988) - "Finite Element Analysis of Grid Reinforcement", Proc. of the Int. Geot. Symposium on Theory and Practice of Earth Reinforcement. Fukuoka, Kyushu, Japan, 407-411.
36. Kutara, K.; Gomadou, M. e Takeuchi, T. (1986) - "Deformation Analysis of Geotextiles in Soils Using the Finite Element Method", Geotextiles and Geomembranes 4, 191-205.
37. Mahmoud, F.F. e Mashhour, M.M. (1986) - "An Elastoplastic Finite Element for the Analysis of Soil-Geotextile Systems", Proc. Third International Conference on Geotextiles. Vienna, 229-231.
38. Matsui, T. e San, K.C. (1988) - "Finite Element Stability Analysis Method for Reinforced Slope Cutting", Proc. of the Int. Geot. Symposium on Theory and Practice of Earth Reinforcement. Fukuoka, Kyushu, Japan, 317-312.
39. Miki, H.; Kutara, K.; Minami, T.; Nishimura, J. e Fukuda, N. (1988) - "Experimental Studies on the Performance of Polymer Grid Reinforced Embankment", Proc. of the Int. Geot. Symposium on Theory and Practice of Earth Reinforcement. Fukuoka, Kyushu, Japan, 431-436.
40. Mino, S.; Noritake, K. e Innami, S. (1988) - "Field Monitoring Procedure of Cut Slopes Reinforced with Steel Bars", Proc. of the Int. Geot. Symposium on Theory and Practice of Earth Reinforcement. Fukuoka, Kyushu, Japan, 323-327.
41. Mitchell, J.K. e Christopher, B.R. (1990) - "North American Practice in Reinforced Soil Systems", Design and Performance of Earth Retaining Structures, Geotechnical Publication No.25, ASCE, June, 322-346.
42. Miura, N.; Sakai, A.; Taesiri, Y. Yamanouchi, T. e Yasuhara, K. (1990) - "Polymer Grid Reinforced Pavement on Soft Clay Grounds", Geotextiles and Geomembranes 9, 99-123.
43. Monnet, J.; Galera, I. e Mommessin, M. (1989) - "Some Theoretical Approaches about Reinforced Embankments on Weak Soil", Computers and Geotechnics 7, 37-52.
44. Monnet, J.; Gourc, J.P. e Mommessin, M. (1986) - "Study of Soil Geotextile Interaction - A Reinforced Embankment", Proc. of the Second International Symposium on Numerical Models in Geomechanics, Ghent, 539-542.
45. Mylleville, B.L.J. e Rowe, J.K. (1988) - "Steel Reinforced Embankment on Soft Clay Foundations", Proc. of the Int. Geot. Symposium on Theory and Practice of Earth Reinforcement. Fukuoka, Kyushu, Japan, 437-442.
46. Mylleville, B.L.J. e Rowe, J.K. (1991) - "On the Design of Reinforced Embankments on Soft Brittle Clays", Proc. of the Geosynthetics'91 Conference, Atlanta, 395-408.
47. Nagao, A.; Kitamura, T. e Mizutani, J. (1988) - "Field Experiment on Reinforced Earth: Its Evaluation Using FEM Analysis", Proc. of the Int. Geot. Symposium on Theory and Practice of Earth Reinforcement. Fukuoka, Kyushu, Japan, 329-334.

48. Naylor, D.J. e Richards, H. (1978) - "Slipping Strip Analysis of Reinforced Earth", Int. J. for Num. and Anal. Meth. in Geomechanics, Vol. 2, 343-366.
49. Ogisako, E.; Ochiai, H.; Hayashi, S. e Sakai, A. (1988) - "FEM Analysis of Polymer Grid Reinforced-Soil Retaining Walls and Its Application to the Design Method", Proc. of the Int. Geot. Symposium on Theory and Practice of Earth Reinforcement. Fukuoka, Kyushu, Japan, 559-564.
50. Omar, M.T.; Das, B.M.; Puri, V.K.; Yen, S.C. e Wright, M.A. (1992) - "A Comparison of the Ultimate Bearing Capacity of Square and Strip Foundation on Geogrid-Reinforced Sand", Proc. of the Fourth International Symposium on Numerical Models in Geomechanics, Vol.2, Swansea, 967-976.
51. Pande, G.N. e Sharma, K.G. (1979) - "On Joint/Interface Elements and Associated Problems of Numerical Illconditioning", Int. J. Num. Anal. Meth. Geomechanics, 3, 293-300.
52. Pande, G.N. e Xiong, W. (1982) - "An Improved Multilaminate Model of Jointed Rock Masses", Proc. of the First International Symposium on Numerical Models in Geomechanics, Zurich..
53. Park, B.K.; Lee, M.S. e Jeong, J.S. (1988) - "Restraint Effects on Deformation of Soft Foundation with Geotextile", Proc. of the Int. Geot. Symposium on Theory and Practice of Earth Reinforcement. Fukuoka, Kyushu, Japan, 153-158..
54. Poran, C.J.; Herrmann, L.R. e Romstad, K.M. (1989) - "Finite Element Analysis of Footings on Geogrid-Reinforced Soil", Proc. of the Geosynthetics'89 Conference, San Diego, 231-242.
55. Potts, D.M. e Ganendra, D. (1991) - "Finite Element Analysis of the Collapse of Reinforced Embankments on Soft Ground", Discussion, Geotechnique 41 (4), 627-630.
56. Romstad, K.M.; Herrman, L.R. e Shen, C.K. (1976) - "Integrated Study of Reinforced Earth- I. Theoretical Formulation", J. Geotech. Eng. Division, ASCE, Vol. 102, GT 5, 457-471.
57. Rowe, R.K. (1986) - "Numerical Modelling of Reinforced Embankments Constructed on Weak Foundations", Proc. of the Second International Symposium on Numerical Models in Geomechanics", Ghent, 543-551.
58. Rowe, R.K. e Soderman K.L. (1986) - "Reinforced Embankments on Very Poor Foundations", Geotextiles and Geomembranes 4, 65-81.
59. Sawicki, A. (1990) - "Development of the Failure in Reinforced Soil Structures", Performance of Reinforced Soil Structures, A. McGown, K. Yeo e K.Z. Andrawes (Eds.) London:Thomas Telford Ltd., 31-34.

60. Schaefer, V.R. e Duncan, J.M. (1988) - "Finite Element Analyses of the St. Alben Test Embankment", Geosynthetics for Soil Improvement, ASCE Special Publication, No.18, 158-177.
61. Schmertmann, G.R.; Chew, S.H. e Mitchell, J.K. (1989) - "Finite Element Modeling of Reinforced Soil Wall Behavior", Report No. UCB/GT/89-01, Department of Civil Engineering, University of California, Berkeley.
62. Seed, R.B.; Collin, J.G. e Mitchell, J.K. (1986) - "FEM Analyses of Compacted Reinforced Soil Walls", Proc. of the Second International Symposium on Numerical Models in Geomechanics, Ghent, 553-562.
63. Smith, I.M. (1992) - "Three-Dimensional Analysis of Reinforced Nailed Soil", Proc. of the Fourth International Symposium on Numerical Models in Geomechanics, Vol.2, Swansea, 829-838.
64. Taki, M.; Renge, S.; Hachiman, T.; Morioka, Y.; Matsuda, H. e Natori, J. (1988) - "Full Scale Testing and Numerical Analysis for Polymer Grid Reinforced Embankment", Proc. of the Int. Geot. Symposium on Theory and Practice of Earth Reinforcement. Fukuoka, Kyushu, Japan, 479-484.
65. Wu, T.H. (1989) - "Behavior of Soil-Geotextile Composites and Its Application to Finite Element Analysis", Proc. of the Geosynthetics'89 Conference, San Diego, 365-372.
66. Wu, T.H. e Helway, B. (1990) - "Alleviating Bridge Approach Settlement with Geosynthetic Reinforcement", Proc. of the Fourth International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products. The Hague, Netherlands, 107-111.
67. Wu, T.H. e Monley, G.J. (1989) - "Effectiveness of Tensile Reinforcement in Alleviating Bridge Approach Settlement", Proc. of the Geosynthetics'89 Conference, San Diego, 104-111.
68. Zornberg, J. (1992) - "Cohesive Soils Used as Bulk Backfill in Reinforced Soil Structures - A Literature Review", Internal Report, Dept. of Civil Eng., Univ. of California, Berkeley.

SEMINÁRIO SOBRE APLICAÇÕES DE GEOSSINTÉTICOS EM GEOTECNIA

GEOSSINTÉTICOS'92

BRASÍLIA - 9 A 11 DE NOVEMBRO DE 1992

AUDITÓRIO DA FACULDADE DE TECNOLOGIA - UnB

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Superfícies de Deslizamento Circulares. Afonso C.M. Marques Engecorps, S.P.	189
. Análise da Influência da Rigidez do Reforço e da Compactação em Solos Reforçados. Maurício Ehrlich Coppe/Universidade Federal do Rio de Janeiro	209
. Similitude e Modelação Física de Estruturas de Arrimo em Solos Reforçados com Geotêxteis. Romero C. Gomes Universidade Federal de Ouro Preto Daniela Lanz Universidade de Brasília	221
. Ensaios de Grandes Dimensões em Aterros Reforçados. Benedito S. Bueno Dario C. Lima Enivaldo Minette Universidade Federal de Viçosa	244
. Utilização do Método dos Elementos Finitos no Cálculo de Estruturas de Solos Reforçados. Roberto Azevedo J.G. Zornberg C.L. Nogueira Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro	263
 SESSÃO IV: Casos Históricos de Aplicações de Geossintéticos em Geotecnia.	
. Aterros Sobre Solos Moles Reforçados com Geossintéticos. Ennio Marques Palmeira Universidade de Brasília	276
. Aplicação de Geotêxteis à Pavimentação Rodoviária: Trechos Experimentais. Luiz G.R. Lopes Universidade de Brasília/DER-DF	301
. Uma Experiência em Aterro Reforçado com Geotêxteis. Cláudio M. Wolle Pedro Alexandre S. de Carvalho Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT	331
. Aterros Reforçados Sobre Solos Moles na Duplicação da Rodovia D. Pedro I. Gerson de Castro Escola Politécnica da Universidade de São Paulo Maubertec Engenharia e Projetos Ltda.	358
. O Emprego de Geossintéticos em Obras de Engenharia Civil. Paulo T. da Cruz Universidade de São Paulo Consultor em Geotecnia	369

SESSÃO I - Geossintéticos: Tipos, Terminologia e Normalização

- . Geossintéticos: Tipos e Evolução nos Últimos Anos. 1
Ennio Marques Palmeira
Universidade de Brasília
- . Terminologia e Normalização de Geossintéticos. 21
Delma M. Vidal
Instituto Tecnológico da Aeronáutica
- . Mecanismos de Interação Solos-Geotêxteis. 35
Romero C. Gomes
Universidade Federal de Ouro Preto
- . Mecanismos de Interação Solo-Geogrelha. 61
Washington M. Amorim Jr.
Universidade Federal de Pernambuco

SESSÃO II: Drenagem, Filtração e Impermeabilização

- . Geotêxteis: Propriedades Hidráulicas dos Geotêxteis-
Condições Críticas de Filtração e Drenagem. 78
Delma M. Vidal
Instituto Tecnológico da Aeronáutica
- . Princípios de Filtração com Geotêxtil. 93
Jorge Spada
Rede Ferroviária Federal S.A.
- . Geodrenos como Elementos de Aceleração de Recalques. 121
Marcio S.S. Almeida
Coppe/Universidade Federal do Rio de Janeiro
- . Geomembranas: Aplicações e Considerações Sobre
Confiabilidade e Controle de Qualidade. 140
David H. Pohl
Drexel University, USA
Roy F. Weston Inc., USA
Universidade de Brasília

SESSÃO III: Aterros Reforçados com Geossintéticos

- . Métodos de Análise do Comportamento de Estruturas
Reforçadas com Geossintéticos. 164
Luiz F.M. da Silva
Rede Ferroviária Federal S.A.
- . Análise de Estabilidade de Aterros Reforçados por