

Análise comparativa de dimensionamento de estruturas de contenção para solos silto-argilosos

Jaíne Vieira Camargo

Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Santo Ângelo, Brasil,
jainevc@yahoo.com.br

Bóris Casanova Sokolovicz

Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Santo Ângelo, Brasil,
bsokolovicz@yahoo.com.br

RESUMO: As estruturas de contenção são elementos indispensáveis de uma grande variedade de obras e projetos de engenharia, como pontes, rodovias, ferrovias, prédios em geral, usinas, barragens. Justifica-se o presente trabalho por serem evidentes as patologias em taludes que geram grandes prejuízos em todo e qualquer tipo de estrutura, onde a busca de técnicas de estabilidade de taludes adequadas ao tipo de solo e esforços atuantes, contudo, reduzir os impactos ambientais, reduzir custos e eficiência na escolha do sistema de estabilidade. O presente trabalho abordou o dimensionamento para gabiões e muros de arrimo em concreto armado de altura igual a 5, 10 e 15 metros. Em relação aos resultados, houve grande destaque para a água, a qual exerceu influência marcante na estabilidade de uma estrutura de arrimo, sendo que em relação ao muro em gabiões, apresentou elevada permeabilidade e drenagem, por permitir o fluxo das águas de percolação, aliviando empuxos hidrostáticos (força de pressão, causados pela água). Já no que tange à estrutura de concreto armado, exigiu maior atenção quanto à drenagem, que deve ser feita internamente por meio de barbaças, sendo que, por consequência da ineficiência drenante desse muro, pode-se ter grandes pressões de água contra o muro e vir a entrar em colapso. Quanto à flexibilidade, o muro de concreto armado sofreu nítida desvantagem frente ao muro de gabião, inclusive para todas as alturas analisadas, pois sua estrutura é rígida. Assim, o muro de gabião apresenta extrema flexibilidade, o que permite a adaptação da estrutura aos movimentos do terreno, acompanhando o recalque ou acomodações, sem comprometer a estabilidade e a eficiência estrutural. Outro fator importante de ser analisado é quanto à estabilidade. Porém, para 15,00 metros o muro de concreto armado teve sua base de 22,76 m e para 10,00 m a base 15,05 m. Já no muro de gabião de 10,00 m a base necessária para suportar todas as cargas foi de somente 3,00 m e para 15,00 m de altura o necessário foi 4,50 m. Ainda, outra vantagem do muro em gabiões é a grande resistência aos esforços de empuxo e tração do terreno, pois são muros calculados como uma estrutura monolítica por gravidade, sendo que revestimento dos arames assegura a durabilidade por muitos anos.

PALAVRAS-CHAVE: Estabilização de taludes, Muro de concreto, Muro de gabiões.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente o país vive um momento de expansão econômica, influenciando toda a cadeia produtiva, bem como, abordando todas as áreas de desenvolvimento. Dentre essas áreas estão a infraestrutura de habitação, saúde, saneamento, educação, transportes entre outras áreas. Independente da natureza das atividades,

um ponto em comum é o estudo do local destas, desde a topografia até a análise das propriedades do solo que irão receber a infraestrutura, como edificações comerciais, industriais e residências, barragens, ferrovias e rodovias. Dessa maneira, as propriedades do solo serão de fundamental importância para o desenvolvimento de toda e qualquer atividade humana. Nesse contexto a estabilidade de solos

é um estudo que deve ser realizado com muito rigor, uma vez que as patologias decorrentes da movimentação excessiva geralmente são catastróficas.

Referente a estabilidade de solos, o deslizamento e o escorregamento de terras são fenômenos comuns em zonas costeiras, e são muito observados em áreas aonde o solo não é protegido por alguma camada de vegetação, ou com algum outro método especial de contenção. Sabe-se que o Brasil é um país de clima tropical e no verão, principalmente, onde as chuvas se tornam mais constantes, essas encostas são locais sujeitos a deslizamentos de terra, provocando mortes e perdas materiais.

Como, notadamente já de conhecimento público, as estruturas de contenção são elementos indispensáveis de uma grande variedade de obras e projetos de engenharia, como pontes, rodovias, ferrovias, prédios em geral, usinas, barragens, etc (EHRlich e BECKER, 2009).

Portanto, a finalidade e objetivo deste trabalho é analisar o dimensionamento, o projeto e execução de estruturas de contenção, em muros de concreto armado (formato T invertido), gabiões e prever qual a solução mais adequada. Serão utilizados softwares e dimensionamentos manuais para solos silto argilosos. Foi realizado o ensaio de cisalhamento direto, para determinar a coesão e o ângulo de atrito e o ensaio de peso específico.

E num âmbito mais específico, pretende-se avaliar as características de dimensionamento de cada sistema, analisando as soluções e a eficiência de cada sistema, apontando as vantagens e peculiaridades de cada solução de projeto. Por fim deseja-se ainda, constatar o processo construtivo de cada estrutura de contenção, verificando a interação solo-estrutura. Bem como estudar a superfície de ruptura provocada no solo e verificar a viabilidade técnica de cada método.

2 MATERIAIS E METODOLOGIA

Foram realizadas as análises do solo de cobertura no Laboratório de Ensaio Tecnológicos de Construção Civil da Universidade Regional Integrada do Alto

Uruguai e das Missões (URI, Campus Santo Ângelo).

2.1 Peso Específico – NBR 6508/1984

Foi realizado conforme os critérios padronizados pela norma técnica NBR 6508/1984 – Grãos de Solos que Passam na Peneira de 4,8mm - Determinação da Massa Específica, sendo o mesmo em amostra deformada.



Figura 1. Ensaio de peso específico real dos grãos

2.2 Cisalhamento Direto

Este ensaio foi realizado basicamente para a determinação da resistência ao corte de um copo de prova de solo.

2.3 Apresentação das estruturas de reforço do talude

2.3.1 Muro em concreto armado dimensionado no Eberick V9

As estruturas de concreto armado quando utilizadas a fim dar estabilidade a diversos tipos de taludes, são fundamentais que estas estejam dimensionadas para suportar as cargas aplicadas o terrapleno, bem como o peso do próprio maciço. Com a ajuda do Eberick V9 é possível encontrar as melhores propostas para as alturas abordadas no presente trabalho.

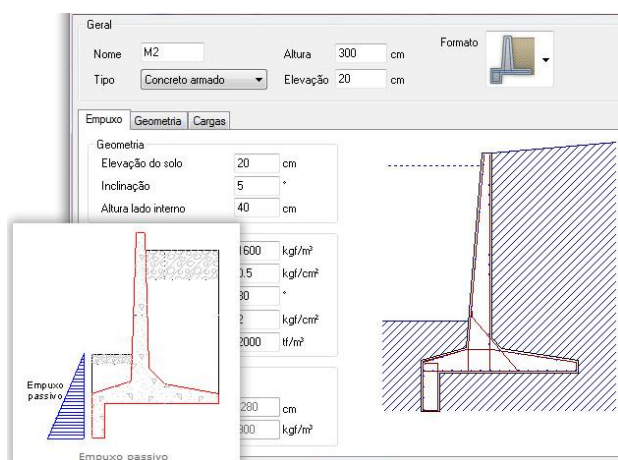


Figura 2. Janela do muro de arrimo – Eberick V9
Fonte: AltoQi (2014)

3.3.2 Muro em gabião dimensionado no GawacWin

Para o dimensionamento do muro de Gabião foi utilizado o software GawacWin, do Grupo Maccaferri.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Muro de arrimo com H=5 metros

Para efetuar o cálculo do muro de 5,00 m de altura e largura de 25,00 m como proposto, foi observado o disposto na NBR 6118/2014.

Os resultados encontrados através dos ensaios de cisalhamento e peso específico, a coesão do solo silto argiloso, é de 2,1 Kgf/cm² e o ângulo de atrito 51° e a pressão admissível de 2,2 Kgf/cm², com coeficiente de recalque de 2000 tf/m³. Utilizou-se uma simulação de sobrecarga no valor de 300 kgf/m² para todos os casos analisados.

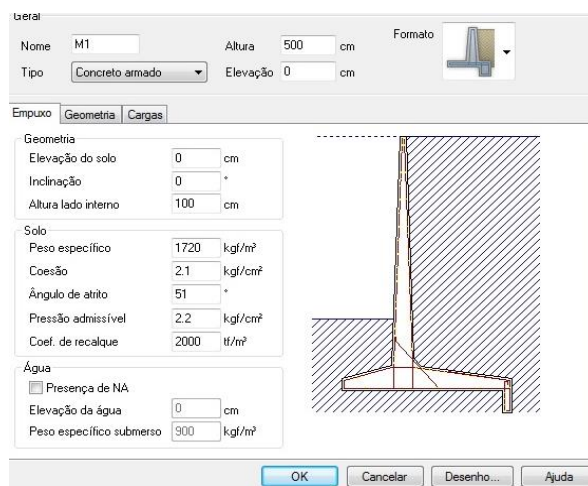


Figura 3. Caixa de diálogo do muro de arrimo 5,00 m sem água no Eberick V8

Tabela 1. Geometria muro de arrimo 5,00 m

Altura	
Muro	500 cm
Solo externo	500 cm
Solo interno	100 cm
Parede	
Largura topo	13 cm
Largura base	48 cm
Inclinação interna	2 °
Inclinação externa	2 °
Chanfro	15 cm
Base	
Comprimento interno	105 cm
Comprimento externo	205 cm
Comprimento total	358 cm
Altura maior	55 cm
Altura menor	25 cm
Dente	
Base	20 cm
Altura	50 cm

3.2 Muro de arrimo com H=10 metros

A figura 4 apresenta a caixa de diálogo para o muro de 10 metros. O muro passou no cálculo com as dimensões de base 7,00 metros, com uma folga considerável em todos os fatores de segurança, pois o peso próprio do maciço e do próprio muro contribuíram com a estabilidade da estrutura

Figura 4. Caixa de diálogo do muro de arrimo 10,00 m sem água no Eberick V8

Tabela 2. Geometria muro de arrimo 10,00 m

Altura	
Muro	1000 cm
Solo externo	1000 cm
Solo interno	100 cm
Água	300 cm
Parede	
Largura topo	15 cm
Largura base	85 cm
Inclinação interna	2 °
Inclinação externa	2 °
Chanfro	15 cm
Base	
Comprimento interno	205 cm
Comprimento externo	410 cm
Comprimento total	700 cm
Altura maior	135 cm
Altura menor	75 cm
Dente	
Base	20 cm
Altura	50 cm

3.3 Muro de arrimo com H=15 metros

Quanto à estabilidade do muro com 15 metros, ao efetuar os cálculos no software, considerando a drenagem total do maciço de solo, o muro apresentou uma base muito elevada, não sendo tecnicamente e economicamente viável. Verificou-se que a altura ideal de drenagem ficou 7 metros abaixo da superfície. Tal fato ocorreu em função do conceito da tensão efetiva, onde a mesma é a diferença da tensão vertical atuante no maciço e a poropressão (pressão neutra) exercida pela água do lençol freático. Um muro de concreto armado de 15 metros de contenção apresenta uma carga muito elevada ao solo, e a partir do momento que o estado trifásico do solo (partículas sólidas + água + ar) está saturado em sua base, todos os vazios estão preenchidos com água. Como a água é praticamente incompressível, a poropressão desempenha uma função

importante estabilidade do muro a partir de um determinado nível de lençol freático.

Quando considerou-se a todo o maciço de solo sem água, os vazios na base do muro que estavam preenchidos com água passam a ficar preenchidos com ar, fazendo com que hajam recalques diferenciais no muro. Dessa maneira é necessário aumentar significativamente a base para sustentar as tensões de compressão. Neste caso a alternativa viável seria fazer o estaqueamento deste muro. Como o objetivo do presente trabalho é verificar a estabilidade do muro individualmente, não será abordado o estaqueamento.

3.4 Muro de gabião com H=5 metros

A figura 5 apresenta os dados do muro e a figura 6 apresenta os dados da fundação.

Figura 5. Dados do muro H=5 metros

Figura 6. Dados da fundação do muro de H=5 metros

A figura 7 apresenta a área de trabalho do GawacWin. Verificou-se que o muro apresenta-se estável, com coeficiente de ruptura global de 3,8.

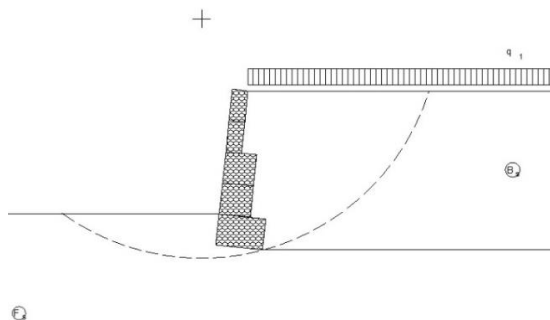


Figura 7. Área de trabalho do GawacWin do muro de arrimo H=5 metros

Tabela 3. Resumo das verificações do software para muro H=5,00 metros

VERIFICAÇÕES DE ESTABILIDADE				
Coef. de Seg. Deslizamento	OK*	Tensão na base (esquerda)	16.75kN/m ²	
Coef. de Seg. Tombamento	OK*	Tensão na base (direita)	0.00kN/m ²	
Coef. de Seg. Rup. Global	3.80	Máxima tensão admissível	0.02kN/m ²	

3.5 Muro de gabião com H=10 metros

A figura 8 apresenta os dados do muro e a figura 9 apresenta os dados da fundação.

Camada	Largura (m)	Altura (m)	Desloc. (m)
1	3.00	1.00	
2	2.50	2.00	0.00
3	2.00	2.00	0.00
4	1.50	2.00	0.00
5	1.00	1.00	0.00
6	0.50	2.00	0.00

Figura 8. Dados do muro H=10 metros

Dados sobre a fundação

Superfície superior

Altura inicial (m): 1.00

Comprimento (m): 25.00

Inclinação (graus): 0.00

Propriedades do solo

Peso específico (kN/m³): 17.20

Âng. de atrito (graus): 51.00

Coesão (kN/m²): 2.10

Dados adicionais

Máx. pressão adm. (kN/m²): 0.02

Altura do nível d'água (m): 15.00

Figura 9. Dados da fundação do muro de H=10 metros

A figura 10 apresenta a área de trabalho do GawacWin. Verificou-se que o muro apresentase estável, com coeficiente de ruptura global de 3,03.

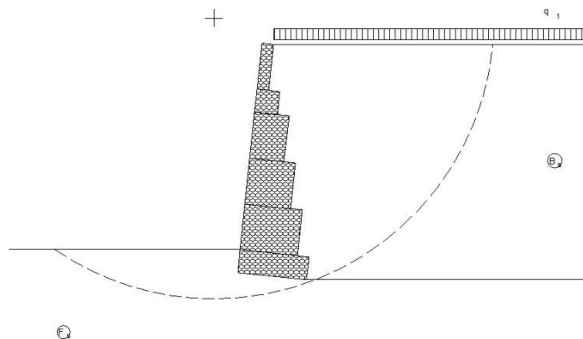


Figura 10. Área de trabalho do GawacWin do muro de arrimo H=10 metros

Tabela 4. Resumo das verificações do software para muro H=10,00 metros

VERIFICAÇÕES DE ESTABILIDADE				
Coef. de Seg. Deslizamento	7.03	Tensão na base (esquerda)	233.74kN/m ²	
Coef. de Seg. Tombamento	2.33	Tensão na base (direita)	14.32kN/m ²	
Coef. de Seg. Rup. Global	3.03	Máxima tensão admissível	8305.33kN/m ²	

3.6 Muro de gabião com H=15 metros

A figura 11 apresenta os dados do muro e a figura 12 apresenta os dados da fundação.

Camada	Largura (m)	Altura (m)	Desloc. (m)
1	4.50	1.00	
2	4.00	1.00	0.00
3	3.50	2.00	0.00
4	3.00	2.00	0.00
5	2.50	2.00	0.00
6	2.00	2.00	0.00

Figura 11. Dados do muro H=15 metros

Dados sobre a fundação

Superfície superior

Altura inicial (m): 1.00

Comprimento (m): 25.00

Inclinação (graus): 0.00

Propriedades do solo

Peso específico (kN/m³): 17.20

Âng. de atrito (graus): 51.00

Coesão (kN/m²): 2.10

Dados adicionais

Máx. pressão adm. (kN/m²): 0.02

Altura do nível d'água (m): 15.00

OK

Cancelar

Ajuda

Figura 12. Dados da fundação do muro de H=15 metros

A figura 13 apresenta a área de trabalho do GawacWin. Verificou-se que o muro apresentase estável, com coeficiente de ruptura global de 2,76.

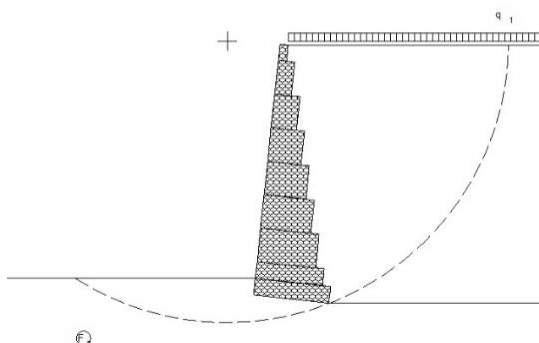


Figura 13. Área de trabalho do GawacWin do muro de arrimo H=15 metros

Tabela 5. Resumo das verificações do software para muro H=15,00 metros

VERIFICAÇÕES DE ESTABILIDADE			
Coef. de Seg. Deslizamento	6.20	Tensão na base (esquerda)	377.83kN/m²
Coef. de Seg. Tombamento	2.17	Tensão na base (direita)	0.00kN/m²
Coef. de Seg. Rup. Global	2.76	Máxima tensão admissível	11047.31kN/m²

4 CONCLUSÕES

Ao decorrer do trabalho, houve grande destaque para a água, a qual exerce influência marcante na estabilidade de uma estrutura de arrimo, sendo que em relação ao muro em gabiões, apresenta elevada permeabilidade e drenagem, que facilita o saneamento do terreno, por permitir o fluxo das águas de percolação, aliviando empuxos hidrostáticos (força de

pressão, causados pela água). Já no que tange à estrutura de concreto armado, exige maior atenção quanto à drenagem, que deve ser feita internamente por meio de barbaças, sendo que, por consequência da ineficiência drenante esse muro, pode-se ter grandes pressões de água contra o muro e vir a entrar em colapso.

Quanto à flexibilidade, o muro de concreto armado sofre nítida desvantagem frente ao muro de gabião, inclusive para todas as alturas analisadas, pois sua estrutura é rígida. Por isso, são necessárias execução de juntas de dilatação para acomodar as mudanças que ocorrem em função dos recalques do solo e das variações térmicas. Assim, o muro de gabião apresenta extrema flexibilidade, o que permite a adaptação da estrutura aos movimentos do terreno, acompanhando o recalque ou acomodações, sem comprometer a estabilidade e a eficiência estrutural.

Já referente a viabilidade técnica, para os dois muros, no cenário atual é facilitado o acesso aos materiais, porém o tempo de construção varia muito em favor do muro de gabião, em razão da redução de tempo para colocar a contenção em serviço, uma vez que o muro em gabião não necessita de tempo de cura como o concreto armado, proporcionando assim utilização imediata após o término da montagem. Inclusive, os locais para execução, no caso do muro de concreto armado, são necessários um ambiente totalmente seco para se fazer a concretagem e a montagem de toda a estrutura de formas e armação. E em contrariedade a isso, os muros de gabião podem ser utilizados em vários casos como: taludes de rios, fechamento do aterro em pontes, dissipadores de energia dentro de córregos, onde o fluxo de água é constante, razão pela qual não se observam grandes problemas na execução, por ser uma estrutura permeável e não necessitar de áreas totalmente secas. Em casos de remoção ou alteração do tipo de contenção, os muros em gabiões também apresentam fácil manuseio, sem necessitar equipamentos de demolição, fato que de sobremaneira diferencia o muro de concreto armado, que necessita de amplas ferramentas.

Outro fator importante de ser analisado é quanto à estabilidade. Em ambos os muros,

restou superado os valores de mínimos de fator de segurança. Porém, para 15,00 metros o muro de concreto armado teve sua base de 22,76 m e para 10,00 m a base 15,05 m. Já no muro de gabião de 10,00 m a base necessária para suportar todas as cargas foi de somente 3,00 m e para 15,00 m de altura o necessário foi 4,50 m. Com 5,00 m o muro de gabião precisou e uma base de 1,50m quanto o muro de concreto estabilizou-se com uma dimensão de 7,18 m. Ainda, outra vantagem do muro em gabiões é a grande resistência aos esforços de empuxo e tração do terreno, pois são muros calculados como uma estrutura monolítica por gravidade, sendo que revestimento dos arames assegura a durabilidade por muitos anos.

O muro de concreto armado mostrou-se viável até a altura de 10,00 m, sendo deve ser considerada a drenagem para a viabilidade do presente muro.

Uma vantagem do muro de concreto armado em relação aos gabiões é a possibilidade de estaquear o muro, visto que o mesmo é uma estrutura rígida. Assim, as estacas trabalham por atrito negativo reduzindo o deslocamento no topo do muro.

Para as fundações, no caso do muro de concreto armado, utilizam fundação direta, porém em casos especiais poderão ter fundações profundas constituídas por estacas ou tubões, as quais devem atender às especificações do projeto.

Quando analisou-se a estabilidade do talude pela superfície de ruptura de Fellenius com a mesma altura de contenção, verificou-se que os fatores de segurança foram muito elevados. Porém como o ângulo de inclinação adotado foi 45 graus, o talude terá 25 metros na horizontal, não sendo viável em muitos casos.

Ainda assim, os gabiões se integram facilmente ao meio ambiente, as estruturas se adaptam a qualquer ecossistema, pois não criam obstáculos à passagem das águas e favorecem a rápida recuperação da fauna e da flora por serem de materiais inertes.

As contenções são, de modo geral, para garantir a segurança de um determinado local, podendo ser provisória ou permanente. E como apresentado, as estruturas em gabião apresentam um ótimo desempenho para

qualquer uma das alturas, não se tratando de custo.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 6120 Projeto e Execução de Fundações. 2010.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 6502. Análise Granulométrico – Rochas e Solos. 1995
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 8508. Determinação de grãos de solo que passam na peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica, 1984.
- Caputo, H.P. Mecânica dos solos e suas aplicações: fundamentos. 6.ed. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1988.
- Ehrlich, M e Becker, L. Muros e Taludes de Solo Reforçados: projetos e execução. 2009. 126 p. Oficina de Textos (Coleção Huesker: engenharia com geossintéticos.). São Paulo, 2009.
- Ehrlich, M.; Mitchell, J. K. *Working stress design method for reinforced soil walls. Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, Reston, Virginia, v. 120, n. 4. (1994).
- Freire, E. S. M., Movimentos coletivos de solos e rochas e sua moderna sistemática. Revista Construção. Rio de Janeiro. V. 8, nº. 95, (1965).
- Guidicini, G.; Nieble, C. M. Estabilidade de taludes naturais e de Escavação. 2º Edição. São Paulo. Edgard Blücher, 1984.
- Gaioto, Nélcio. Estabilidade de Taludes. Textos publicados por Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, publicação 075/92, 1979.
- Gerscovich, D. M. S. Estabilidade de Taludes. – Notas de Aulas - Faculdade de Engenharia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro (2009). Disponível em <<http://www.eng.uerj.br/~denise/pdf/estabilidade.pdf>> . Acesso em 26/ de Out, 2014
- Holanda JR, O.G. Interação solo-estrutura para edifícios de concreto armado sobre fundações diretas. Dissertação de mestrado da EESC da USP. São Carlos – SP, 1998.
- Infanti JR., N.; Fornasari Filho, F., Processos de Dinâmica Superficial, Geologia de Engenharia, Oliveira, A. M. S. e Brito, S. N. A., Ed. Oficina de Textos, São Paulo, Brasil, 1998.
- MACCAFERRI. Manual técnico de reforço de solos. Disponível em: <www.maccaferri.com.br> Acesso em: 22 de Set, 2014.
- Massad, F. (2010). Obras de terra: Curso básico de Geotecnia. Oficina de textos, São Paulo.
- Queiroz, R.C. (2009). Geologia e Geotecnia Básica para Engenharia Civil. São Carlos: RiMa, 2009.