

CARACTERIZAÇÃO DO REJEITO FINO GERADO NA SERRAGEM DO MÁRMORE BEGE-BAHIA

Carmel Suzarte Ayres Vasconcelos, Jonei Marques da Costa, Marco Antonio Freire Ramos & Luiz Rogério Pinho de Andrade Lima^(*)

Departamento de Ciência e Tecnologia dos Materiais, Universidade Federal da Bahia
Rua Aristides Novis, n.2, Salvador, Bahia, CEP 40210-630.
E-mail: lelo@ufba.br

RESUMO

O mármore Bege-Bahia ocorre na região localizada no centro-norte do Estado da Bahia e tem apreciável aceitação pelo mercado o que tem intensificado o processamento industrial o que tem originado elevadas quantidades de rejeito na forma de lama que ao secar gera um material particulado fino, que é encontrado abaixo de 100 malhas sendo disposto em pilhas sujeitas ao transporte pelo vento e chuva. Este trabalho apresenta a caracterização química, física e mineralógica deste rejeito. A principal constituição mineralógica é de calcita e dolomita. A análise granulométrica mostra que dez por cento da amostra está abaixo de 1,6 μm , metade abaixo de 7,3 μm e noventa por cento abaixo de 28,4 μm . A distribuição por tamanho de partícula se ajusta ao modelo empírico de Rossin – Rammler. Os ensaios de sedimentação revelaram uma completa sedimentação do material em cerca de trinta horas, mas acelerado pela adição de sal de alumínio III. A flotação do material demonstrou baixa capacidade de retirada dos minerais indesejáveis devido a granulometria fina do material.

PALAVRAS-CHAVE: Mármore; Caracterização; Rejeito; Flotação.

ABSTRACT

The marble Bege-Bahia is exploited at the Bahia state in Brazil. This ornamental stone has been marketed to several Brazilian states and countries, which has improved the production and consequently the production of a paste and after powder from the sawing processing. This material is finer than 100 mesh and is disposed in dams and is transported by rain and wind. This work presents the chemical, physical and mineralogical characterization of this mineral solid waste. The main components are calcite and dolomite. The size distribution analysis shows that d10 is about 1.6 μm , the d50 is about 7.3 μm and the d90 is about 28.4 μm . The size distribution fits the empirical Rossin-Rammler model. The sedimentation tests shows that the particles takes about 30 hours to completely clarify the suspension and this process is speedup by addition of aluminum III. The flotation of the material shows a low capacity of solid-solid separation due to the finer size of the particles.

KEY WORDS: Powder marble; Characterization; Mineral waste; Flotation.

1. INTRODUÇÃO

A rocha ornamental conhecida comercialmente como mármore Bege-Bahia ocorre na região localizada no centro-norte do Estado da Bahia e tem apreciável aceitação pelo mercado consumidor nacional e internacional. Esta demanda tem intensificado o processamento industrial dos blocos exlotados e processados nos teares da região o que tem originado elevadas quantidades de rejeito na forma de lama que ao secar gera um material particulado fino. Este material tem sido acumulado em pilhas sendo uma fração transportada pelo vento o que pode ocasionar impactos ambientais negativos na região. Este trabalho apresenta caracterizações química e física deste material visando subsidiar o estabelecimento de futuras aplicações para este rejeito industrial (Ribeiro *et al.*, 2002; Pontes e Stellan Junior, 2005a,b; Sabyo *et al.*, 2007).

As jazidas do mármore Bege-Bahia ocorrem entre os municípios de Campo Formoso, Mirangaba, Jacobina, Umburanas e Ouro-lândia que concentra a maior intensidade da produção, abrangem uma área de 5200 quilômetros quadrados, entre 09°45' - 11°15' S e 40°15' - 41°30' W. O corpo mineral trata-se de um calcário secundário do tipo calcrete com alto grau de litificação, faz parte da Formação Caatinga, no Cráton do São Francisco, apresentando espessura variando entre 20 a 30 metros, de idade miocênica na base e pleistocênica no topo, foi originado pela alteração dos calcários marinhos, neoproterozoicos, da Formação Salitre por processos físicos, químicos e biológicos (Ribeiro *et al.*, 2002).

A produção mineral do mármore Bege-Bahia teve início a partir da década de 60, os levantamentos geológicos indicam uma reserva de 36,59 milhões de metros cúbicos. A constituição mineralógica apresenta predominância de carbonatos como a calcita e em seguida a dolomita, a sílica é encontrada como grão de quartzo podendo substituir a calcita sob a forma de calcedônia e de chert, o ferro aparece em uma pequena fração em dendritos ferruginosos provenientes do transporte de materiais de fonte externa (Ribeiro *et al.*, 2002).

2. METODOLOGIA

O material particulado oriundo da serragem dos blocos de rocha que foi caracterizado neste trabalho foi coletado em um tear localizado no município de Ouro-lândia. A granulometria deste material está abaixo de 100 malhas Tyler (148 μm). Após amostragem, secagem, homogeneização e quarteamento, diversas amostras foram separadas e acondicionadas para uso nos estudos de caracterização (Weiss, 1985).

A análise química elementar do material foi feita utilizando espectrometria de fluorescência de raios-X (usando o equipamento Shimadzu XRF-1800), a identificação da composição mineralógica foi feita utilizando difratometria de raios-X (usando o equipamento Shimadzu XRD-6000) e a análise termogravimétrica foi realizada em uma atmosfera de nitrogênio, com taxa de aquecimento de 30°C/min até a temperatura máxima de 1400°C (usando o equipamento Shimadzu TGA-50). As medidas de massa específica para a amostra original e a amostra calcinada foram determinadas por picnômetro a hélio (usando o equipamento Quanta Chrome Ultrapycnometer 1000). A análise granulométrica foi realizado por difração laser (usando o equipamento Mastersizer 2000).

Embora as partículas que compõem o rejeito estudado sejam muito finas é relevante avaliar a possibilidade de obtenção de um concentrado de carbonato usando flotação reversa para redução dos teores de sílica e minerais de ferro no carbonato que compõe o rejeito fino da serragem do mármore Bege-Bahia. No presente caso foram feitos ensaios preliminares em laboratório usando uma célula de flotação Denver de cinco litros. O tempo de condicionamento nos ensaios foi de seis minutos, com uma velocidade de 1200 rotações por minuto e o tempo de coleta foi de dez minutos, com uma velocidade de 900 rotações por minuto. A Tabela I descreve as condições experimentais dos testes de flotação. Nos sete primeiros experimentos foi utilizado um coletor catiônico baseado em amina adequado para hidrofobização de sílica (Flotigam EDA 3B da Clariant Mining Chemicals) e hidróxido de sódio para controlar o pH. No oitavo experimento foi utilizada uma amina primária de sebo como coletor e o pH foi também ajustado com hidróxido de sódio. Neste experimento o pH foi ajustado para 8,4, pois nesta região a calcita teria uma carga positiva na superfície enquanto o quartzo e a goetita teria uma carga negativa (King, 1982). Esta condição seria, portanto, favorável para a hidrofobização diferenciada das impurezas e do quartzo por um coletor catiônico como as aminas. Foram realizados também ensaios de sedimentação em proveta de dois litros para avaliar o efeito das concentrações de sólidos e de coagulante, especificamente sulfato de alumínio hidratado (da Vetec), sob o tempo de sedimentação.

Tabela I: Condição dos Experimentos de Flotação

Experimento	pH	Concentração de sólidos (%)	Coletor (g/t)
1	8,0	35	100
2	10,0	35	100
3	10,0	15	150
4	10,0	15	100
5	10,0	15	50
6	8,0	15	150
7	8,0	15	100
8	8,4	35	100

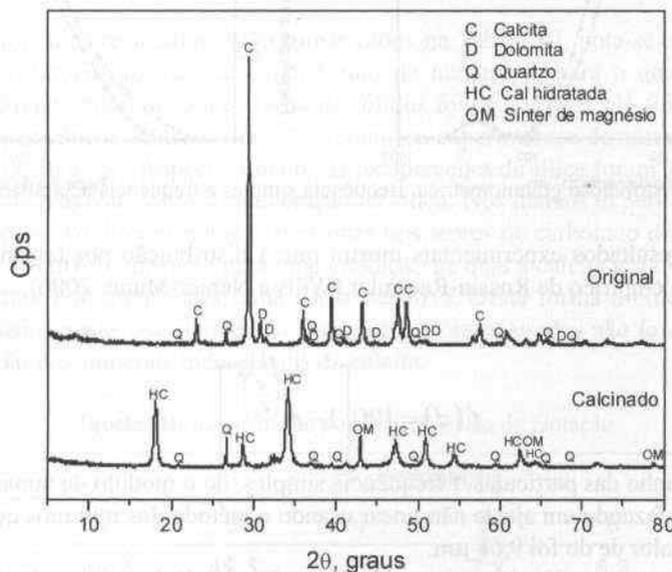
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A composição química do rejeito da serragem do mármore Bege-Bahia é apresentada na Tabela II. Note que este material tem, conforme esperado, uma maior quantidade de cálcio seguida pelo magnésio e a silício, que tem um valor expressivo indicando forte presença de quartzo.

Tabela II: Composição Química

Constituintes	CaO	MgO	SiO ₂	SO ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O
%	78,4	12,5	6,3	1,2	0,9	0,5	0,2

A Figura 1 mostra o difratograma de raios-X para a amostra do rejeito da serragem do mármore Bege-Bahia e de uma amostra deste material que foi calcinada a uma temperatura de 1400°C e posteriormente hidratada por esta exposta a uma atmosfera úmida. A amostra do rejeito original tem uma predominância de calcita (CaCO₃) e pequena quantidade de dolomita (CaMg(CO₃)₂) e quartzo (SiO₂). Após a calcinação foi observada a presença de hidróxido de cálcio (Ca(OH)₂), oriundo da hidratação do óxido de cálcio, além de uma menor quantidade de óxido de magnésio (MgO). Observa-se na amostra calcinada um aumento da intensidade nos picos característicos do quartzo devido ao aumento da sua proporção na amostra após a perda de massa.

**Figura 1:** Difratograma de raios-X da amostra original e calcinada.

A análise termogravimétrica mostrada na Figura 2 foi realizada com uma taxa de 30°C/min. O material apresentou uma perda de massa de cerca de 40% devido a transformação dos carbonatos em óxidos e o desprendimento de gás carbônico, sobretudo entre as temperaturas de 650 a 870°C. A derivada da curva de perda de massa, Figura 2, apresenta um acentuado pico endotérmico em 840°C, representando a reação de descarbonatação da calcita.

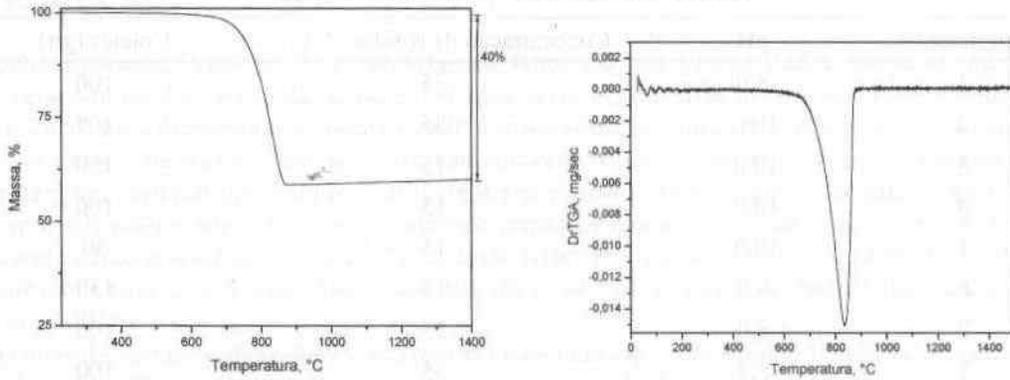


Figura 2: Análise termogravimétrica e derivada da curva termogravimétrica.

A massa específica, determinada por picnômetro a hélio, para o rejeito da serragem do mármore Bege-Bahia é de 2,79 g/cm³, que é próximo da massa específica da calcita (2,72 g/cm³), mineral predominante na amostra. O valor para a massa específica da amostra calcinada é igual a 2,57 g/cm³, que é próximo da massa específica do hidróxido de cálcio (2,21 g/cm³), mineral predominante nesta amostra. A distribuição por tamanho de partícula para o rejeito da serragem do mármore Bege-Bahia foi realizada para duas amostras representativas (A e B). O resultado é apresentado na Figura 3. A faixa granulométrica varia entre 0,7 a 400 µm, a área da superfície específica varia entre 0,65 a 1,25 m²/g, o diâmetro médio de área superficial (média Sauter) é igual a 4,1 µm e o diâmetro médio de volume igual a 13,4 µm. As curvas de distribuição granulométrica acumulada mostra que dez por cento da amostra (d₁₀) é encontrada abaixo de 1,6 µm, metade (d₅₀) está abaixo de 7,3 µm e noventa por cento (d₉₀) abaixo de 28,4 µm.

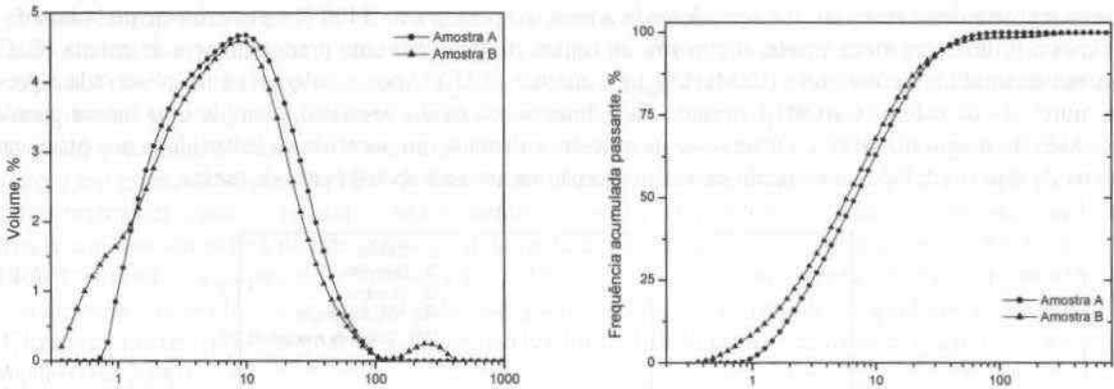


Figura 3: Distribuição granulométrica, frequência simples e frequência acumulada passante.

Uma avaliação dos resultados experimentais mostra que a distribuição por tamanho de partícula pode ser representada pelo modelo empírico de Rossin-Rammler (Wills e Napier-Munn, 2006):

$$f(d) = 100 \left[1 - e^{-\left(\frac{d}{d_0}\right)^n} \right] \tag{1}$$

onde d representa o tamanho das partículas, f frequência simples, d₀ o módulo de tamanho e n o módulo de dispersão. No presente caso, fazendo um ajuste não linear usando o método dos mínimos quadrados o valor de n encontrado foi de 1,02 e o valor de d₀ foi 9,68 µm.

Os ensaios de sedimentação realizados para as concentrações de sólido iguais a 30, 40 e 50% revelaram uma relação direta entre a velocidade de sedimentação e a concentração em massa, como é mostrado na Figura 4a. O uso de sulfato de alumínio hidratado como coagulante, com concentração de 50 mg/L, em pH 9,0, apresentou aceleração da sedimentação, como mostra a Figuras 4b e 4c, para a concentração em sólido de 30 e 40%, respectivamente. A figura 4c apresenta as curvas de sedimentação para as concentrações de sólido iguais a 30 e 40% com o uso de 50 mg/L de coagulante. É percebido que a forma das curvas são preservadas e que as zonas de compactação ocorrem em um intervalo de tempo menor.

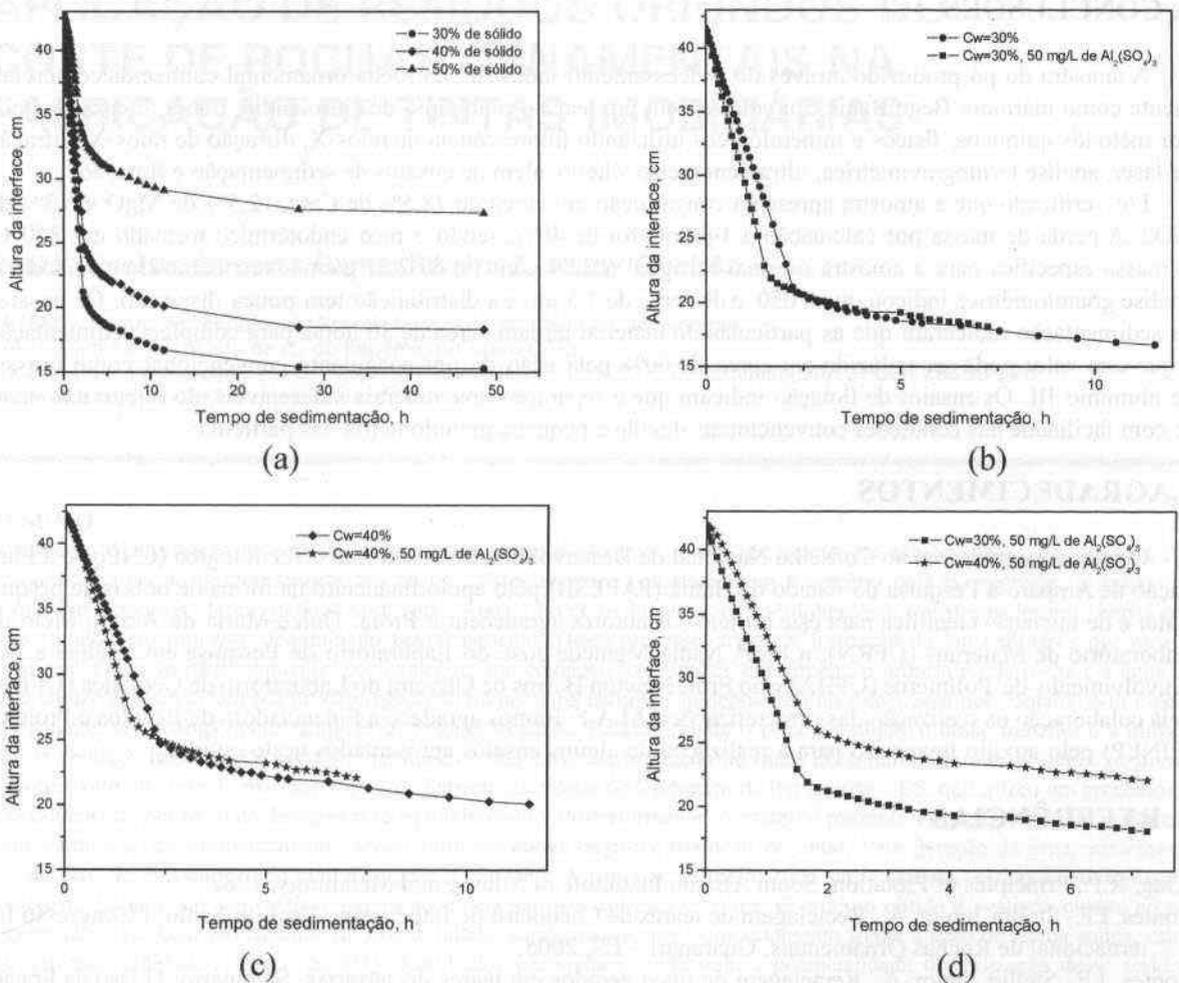


Figura 4: Efeito da concentração de sólido (a), da adição de coagulante (b) e (c) e da concentração de sólido e da adição de coagulante (d) na sedimentação.

Nos testes de flotação, cujos resultados estão sumarizados na Tabela III, nota-se que a recuperação de sílica e carbonato foram satisfatórias apenas no experimento de número 3, para o qual a concentração de coletor (Flotigam EDA 3B) foi de 150g/t, a concentração de sólidos foi de 15% e o pH foi 10. Comparando-se este caso para o qual a recuperação de sílica foi de 72% como os experimentos de número 4 e 5, onde as concentrações do coletor foram de 50 e 150, respectivamente, as recuperações de sílica foram 9,8 e 6,7%, o que confirma o efeito da concentração de reagente sobre a recuperação da sílica. Nos demais experimentos as recuperações de sílica foram baixo ou não houve diferença apreciável entre nos teores de carbonato do rejeito e do concentrado. No experimento número 8 o pH foi ajustado para uma condição na qual a calcita teria uma carga positiva na superfície enquanto o quartzo e a goetita teria uma carga negativa. Desta forma o coletor catiônico (amina primária) poderia hidrofobizar apenas estes minerais. Os valores teóricos usados não foram, entretanto, adequados para promover a separação dos minerais indesejáveis da calcita.

Tabela III: Recuperação nos Experimentos de Flotação

Componente	Experimento							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Massa Total	19,5	38,2	45,5	6,9	2,8	5,3	2,8	33,4
CaO	19,9	38,6	44,6	6,7	2,8	5,2	2,8	58,4
SiO ₂	23,5	34,8	72,1	9,8	2,2	6,7	4,5	37,2
MgO	19,4	38,5	39,2	6,4	2,4	4,9	2,6	54,0
Fe ₂ O ₃	36,3	48,3	85,0	12,5	5,2	10,3	6,0	67,4

4. CONCLUSÕES

A amostra do pó produzido através do processamento industrial da rocha ornamental conhecida comercialmente como mármore Bege Bahia, foi coletada em um tear no município de Ourolândia, Bahia, e caracterizada por métodos químicos, físicos e mineralógicos utilizando fluorescência de raios-X, difração de raios-X, difração de laser, análise termogravimétrica, ultrapienometro a hélio, além de ensaios de sedimentação e flotação.

Foi verificado que a amostra apresenta constituição em cerca de 78,5% de CaO, 12,5% de MgO e 6,3% de SiO₂. A perda de massa por calcinação a 1400oC foi de 40%, sendo o pico endotérmico formado em 840°C. A massa específica para a amostra original foi igual a 2,79 g/cm³ e de 2,57 g/cm³ para a amostra calcinada. A análise granulométrica indicou que o d₅₀ é de cerca de 7,3 µm e a distribuição tem pouca dispersão. Os ensaios de sedimentação indicaram que as partículas do material tardam cerca de 30 horas para completa sedimentação e que este valor pode ser reduzido em cerca de 60% pela ação de um coagulante convencional como um sal de alumínio III. Os ensaios de flotação indicam que a separação dos minerais indesejáveis, do rejeito não ocorre com facilidade nas condições convencionais devido a pequena granulometria das partículas.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) pelo apoio financeiro na forma de bolsas de pesquisador e de iniciação científica para este projeto. Os autores agradecem a Profª. Dulce Maria de Araújo Melo do Laboratório de Materiais (UFRN), a Profª. Nadia Mamede José do Laboratório de Pesquisa em Análise e Desenvolvimento de Polímeros (UFBA) e ao Prof. Newton Barros de Oliveira do Laboratório de Geofísica (UFBA) pela colaboração na realização das caracterizações. M.A.F. Ramos agradece a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) pelo auxílio financeiro para a realização de alguns ensaios apresentados neste estudo.

6. REFERÊNCIAS

- King, R.P., Principles of Flotation, South African Institute of Mining and Metallurgy, 1982.
- Pontes, I.F., Stellin Junior, A., Reciclagem de teares de Cachoeiro de Itapemirim, Espírito Santo, I Congresso Internacional de Rochas Ornamentais, Guarapari – ES, 2005.
- Pontes, I.F., Stellin Junior, A., Reciclagem de finos gerados em teares de serrarias, Seminário: O Uso da Fração Fina da Britagem (II SUFFIB) São Paulo-SP, 2005.
- Ribeiro, A.F., Pereira, C.P., Braz, E., Magalhães, A.C. F., Filho, C.C., Mármore Bege Bahia em Ourolândia-Mirangaba-Jacobina, Bahia: geologia, potencialidade e desenvolvimento sustentável. Arquivos abertos, Companhia de Pesquisa Mineral, 17, p.1-17, 2002.
- Saboya Jr, F., Xavier, G.C., Alexandre, J., The use of the powder marble by-product to enhance the properties of brick ceramic. Construction and building Materials, 21, p.1950-1960, 2007.
- Weiss, N.L., SME Mineral Processing Handbook, American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, Inc. New York, 1985
- Wills, B., Napier-Munn, T., Wills' Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery, Butterworth-Heinemann, 7ed, 2006.