

EMPREGO DE AREIA USADA DE FUNDIÇÃO EM COBERTURAS INTERMEDIÁRIA E FINAL DE ATERROS SANITÁRIOS DE RSU

Luciana Paulo Gomes¹

Carlos Alberto Mendes Moraes²

Ricardo Dalpiaz Boff³

Resumo

Atualmente, os sistemas de disposição final de resíduos sólidos urbanos devem ser operados de modo a otimizar os processos de degradação bioquímica no interior dos mesmos. Por esse motivo, o tratamento do lixiviado, por estar também diretamente ligado aos resíduos aterrados, deve ser visto como etapa integrante do sistema de disposição final de resíduos sólidos urbanos. Foi utilizado o resíduo sólido urbano oriundo da cidade de Portão – RS. O resíduo sólido do tipo areia usada de fundição (areia verde de processos de moldagem para fabricação de ferro fundido), foi utilizado como camada de cobertura intermediária de aterros sanitários de resíduos sólidos domésticos. Foram testados outros dois materiais: solo local do município de Portão - RS, e entulho da construção civil, no sentido de se avaliar qual desempenharia melhor a função de camada de cobertura intermediária e final. Os resultados indicam que o último material, o entulho, é o mais adequado para o uso como camada intermediária, e o solo e o resíduo areia de fundição apresentaram maior potencial de utilização como camada de cobertura final.

Palavras-chave: Resíduo sólido; Aterro sanitário; Lixiviação; Areia de fundição.

USE OF FOUNDRY USED SAND AS INTERMEDIATE AND FINAL COVERING LAYER OF DOMESTIC SOLID WASTE LANDFILL

Abstract

Nowadays final disposal systems of urban solid waste must be operated in a way that optimizes the biochemical degradation processes inside those systems. As a result of that, and because it is directly linked to landfill waste, leachate treatment must be seen as part of the final deposition system of domestic solid waste. Urban solid waste from the city of Portão, RS, has been used in the study. Foundry used sand (green sand from molding process of the cast iron production) was used as intermediate covering layer of the landfill. Other two materials were also tested: local soil of the city of Portão, and construction waste, in order to evaluate which one would have better performance as intermediate and final layer cover. The results have indicated that construction waste is the most appropriate to be used as intermediate layer. On the other hand, soil and used sand have presented more potential to be used as final covering layer.

Key words: Landfill; Final and intermediate covering layer; Leachate; Foundry used sand.

I INTRODUÇÃO

A prática de disposição final de resíduos sólidos, antes no solo a céu aberto, sofreu um processo de evolução tecnológica que hoje se configura como uma solução ambiental e economicamente viável, através do que se conhece como aterro sanitário. Nos aterros sanitários, a maior preocupação está associada à degradação anaeróbia que os resíduos sofrem na instância redutora apresentando elevada instabilidade termodinâmica, sendo, portanto, poluentes. O processo de lixiviação dos maciços de aterro pela percolação das águas de chuva, produz um líquido de

cor escura e fétido com alta demanda de oxigênio para estabilização: o lixiviado. Pequenas quantidades podem poluir grandes quantidades de água, através da sua ampla variedade de constituintes químicos e organismos patogênicos.

A escolha de materiais de cobertura dos aterros é tema fundamental para a aplicação, em escala real, da técnica de recirculação de lixiviado. A principal função das camadas diárias de cobertura é isolar os resíduos, reduzindo problemas de vetores transmissores de doenças e mau cheiro. A escolha do material da camada intermediária

¹ Prof^o Dr^o – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Unisinos. Av. Unisinos, 950 São Leopoldo – RS, Brasil, CEP 93022-000 (lugomes@unisinos.br)

² Prof. Dr. - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Unisinos (cmoraes@unisinos.br)

³ Eng^o MSc pelo Programa de Pós-Graduação em Geologia - Unisinos (rboff@design.unisinos.br)

dependerá do tipo de operação do aterro: sem recirculação de lixiviado, com emprego de camadas impermeáveis, que permitam reduzir a entrada de água ou com materiais que, ao contrário, permitam a entrada de lixiviado, para adoção da técnica de recirculação. A aplicação em escala real da técnica de recirculação de lixiviado é um pouco mais complexa. Por outro lado, para tratamento do líquido e aceleração da estabilização do aterro sanitário, o emprego de técnicas de recirculação de lixiviados tem sido bem sucedido.

No Brasil, usualmente, tem-se empregado como cobertura final de aterros sanitários mantas de polipropileno e/ou camadas de solo local com utilização de gramíneas. Este tipo de material impede a infiltração da água da chuva e tem um controle sobre odor do aterro.

O presente trabalho versa sobre esse aspecto de camadas de cobertura, considerando a hipótese de que existem materiais alternativos aptos a serem empregados como cobertura intermediária e/ou final. Esses materiais devem facilitar a recirculação de lixiviado no aterro sanitário. Portanto, objetiva-se comparar a utilização de areia verde usada de fundição com solo local do município de Portão - RS, e entulho da construção civil como camadas de cobertura intermediária de aterro sanitário. A areia usada de fundição é um resíduo gerado em grande quantidade, com custos de descarte muito altos e apresentando grande impacto ambiental, podendo representar uma alternativa de material com ganhos ambientais e econômicos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Esta pesquisa foi desenvolvida, em parte, na cidade de Portão, já que o aterro sanitário estudado foi lá executado. O município situa-se no Rio Grande do Sul e faz parte da bacia hidrográfica do Rio dos Sinos, na Região metropolitana de Porto Alegre.

A composição gravimétrica dos resíduos sólidos do município de Portão - RS é apresentada nas Figuras 1 e 2, onde na primeira são indicados os percentuais de todos os materiais encontrados na massa de resíduos sólidos domésticos gerados e na segunda o percentual de rejeitos da usina de triagem, ou seja, a parcela que é disposta no aterro sanitário do município.

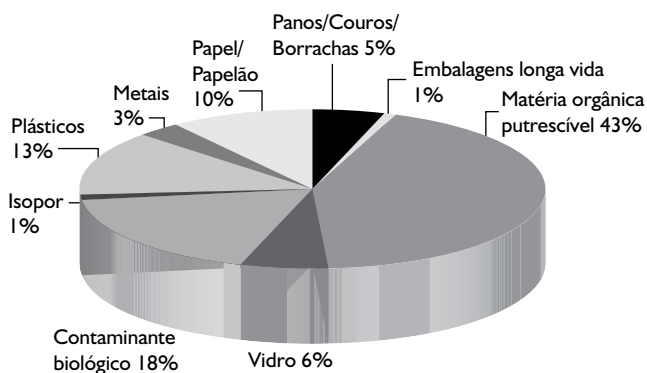


Figura 1. Composição gravimétrica dos resíduos sólidos domésticos gerados no município de Portão - RS (base úmida).

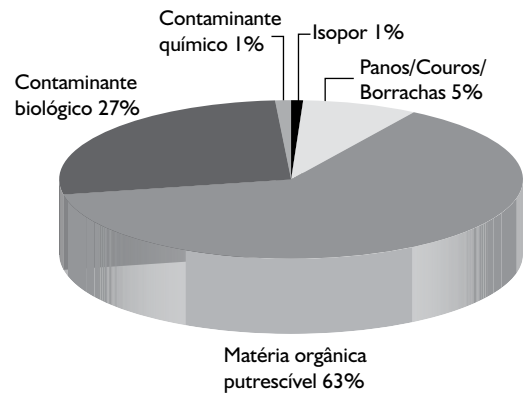


Figura 2. Composição gravimétrica dos rejeitos destinados ao aterro do município de Portão - RS (base úmida).

Os resíduos sólidos domésticos foram examinados a fim de conhecer-se sua granulometria. O resultado indicou que 75% dos resíduos ficaram retidos na peneira de 75 mm, 27% ficaram retidos na peneira de 50 mm, 11% em cada peneira de 37,5 mm e 25 mm, 7% na de 9,5 mm e finalmente 3% na de 4,72 mm. Essa variedade de dimensões é característica dos resíduos domésticos. As camadas de resíduos possuem quantidades de vazios distintos, resultando em uma heterogeneidade, que facilitará ou não, a recirculação de lixiviado e igualmente a percolação de água pelas camadas do aterro.

Neste trabalho, foram propostas alternativas construtivas para a camada de cobertura de aterros sanitários, que operam com recirculação de lixiviados. Foram testados diferentes materiais para composição da camada de cobertura do aterro sanitário, avaliando as características físico-químicas e o volume de lixiviado produzido no interior dos bioreatores.

Utilizou-se bombonas de PEAD de 30 L, que foram preenchidas com resíduos sólidos com características similares àqueles encaminhados ao aterro sanitário de Portão. No preenchimento, foi colocado em cada bioreator um tipo de material inerte como camada de cobertura intermediária. Foram testados os seguintes materiais: solo local do município de Portão, entulho de construção e areia de fundição.

Foi empregada, também, neste ensaio, a técnica de recirculação de lixiviado, para acelerar o processo de degradação dos resíduos sólidos aterrados. Os bioreatores foram denominados 1C, 2C e 3C conforme a taxa de recirculação de lixiviado, respectivamente, 0%, 20% e 40%; para cada material utilizado como cobertura. Foram analisadas as quantidades de lixiviado gerado, o percentual lixiviado e a umidade das camadas.

É característica de cada bioreator, duas células de resíduos de 10 cm de altura, com aproximadamente 5,75 kg de resíduos sólidos compactados e grau de compactação de 600 kg/m³ cada, intercaladas por camadas de cobertura intermediária e outra final de 5 cm cada. As dimensões utilizadas para configuração dos bioreatores foram proporcionais a um aterro em escala real. A Figura 3 apresenta os detalhes construtivos dos bioreatores e, a nomenclatura usada no trabalho para análise de umidade em cada experimento.

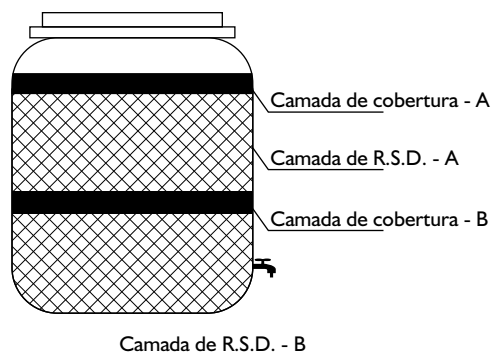


Figura 3. Detalhes construtivos dos bioreatores e nomenclatura adotada

Os materiais estudados e testados como camada de cobertura de resíduos sólidos para aterros sanitários que operem com recirculação de lixiviado foram os seguintes:

- Solo local do município de Portão – RS: na área onde atualmente se encontra o aterro sanitário do município de Portão – RS foram encontrados, através de sondagens, três tipos de solo com características bastante diferenciadas. O solo usado foi classificado pelo Sistema Unificado de Solo (SUCS), como areia com finos não plásticos (SM), que apresenta como a principal característica para sua utilização como camada de cobertura a condutividade hidráulica de $1,5 \times 10^{-6}$ cm/s, ou seja, dos solos existentes na área, é aquele mais permeável (15% argila, 12% silte e 73% areia) o que potencialmente pode permitir a passagem do lixiviado a ser recirculado.
- Areia verde usada de Fundição: a areia de moldagem ou, também, conhecida como areia de fundição, é um sistema heterogêneo, constituído essencialmente de um composto granular refratário que representa a base, geralmente, areia de sílica. Um elemento aglomerante ou ligante (bentonita), é adicionado para permitir a ligação entre os grãos de areia após a compactação do molde. A areia possui ainda elementos aditivos que são utilizados para melhorar as propriedades mecânicas da areia, como pó de carvão. A característica mais importante desta areia para o uso como camada de cobertura para os resíduos sólidos é a parcela de argila ativa na ordem de 5,2% do total de 8,2% de argila adicionada na mistura. A bentonita é constituída principalmente pelo argilo-mineral montmorilonita, o qual tem a função de aglomerante da areia base. A areia verde usada de fundição é classificada como um resíduo Classe IIA – Não Inerte.⁽¹⁾ Devido a grande produção, somente no Brasil, anualmente são descar-

tados cerca de 2 milhões de toneladas de areia usadas, correspondendo a três quartos do total de resíduos sólidos gerados pela indústria de Fundição.⁽²⁾ Este material após uso na indústria não tem mais utilidade, fazendo-se necessário uma disposição adequada no meio ambiente, justificando-se o interesse em sua reciclagem como camada de cobertura de aterros sanitários de resíduos sólidos domésticos. Em termos de granulometria, 95,465% da areia usada está entre as peneiras 40 a 100 (malhas 0,42 a 0,15 – ABNT). Quanto a seu impacto ambiental a areia verde usada de fundição é considerada Classe IIA – não-inerte pela norma ABNT 10004,⁽³⁾ assim determinado também por Nunez et al.⁽¹⁾

- Entulho da construção civil: na literatura, diversos autores utilizam o termo Resíduos da Construção Civil (RCC) e outros preferem chamá-los apenas de entulho. Quanto à definição, há discordância não só quanto à abrangência das frações presentes, como, também, quanto às atividades geradoras dessas frações. Segundo a resolução 307 – 05/07/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA),⁽³⁾ os resíduos de construção civil são provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultados da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros argamassas, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha. A norma NBR 10004 - ABNT⁽⁵⁾ classifica os RCC como Classe II - B - Inertes. Segundo Pinto,⁽⁶⁾ no Brasil é gerado 0,52 tonelada de entulho por habitante por ano, representando de 54% a 61% da massa dos resíduos sólidos urbanos. O aproveitamento desses resíduos como camada de cobertura intermediária para aterros sanitários de resíduos sólidos domésticos pode minimizar os impactos ambientais deste resíduo, visto que grande parte dos mesmos é depositada em qualquer lugar sem nenhum controle.

Para completa simulação de campo nos bioreatores calculou-se a quantidade de precipitação de água da chuva correspondente, proporcionalmente, a precipitação no município de Portão. Para tanto, sabe-se que, a condição real de precipitação da região em que está situado o município de Portão é de 130 mm/mês (média histórica) sendo que 20 mm/mês refere-se a evapotranspiração. Determina-se, então, a parcela efetiva que infiltra no aterro sanitário do município: 110 mm/mês ou 3,67 L de água por dia por m². Se a área dos bioreatores corresponde a 0,0945 m², o volume de água de chuva proporcional que cairia no experimento (para simular a chuva local no aterro) foi de 347 mL/dia. O conjunto de ensaios 1C trabalharam sem recirculação de lixiviado, enquanto que, respectivamente, os ensaios 2C e os ensaios 3C trabalharam com 20% e 40% dos valores de precipitação local.

Após a montagem, todos os bioreatores foram saturados com água para que ocorresse mais rapidamente a geração de lixiviado. O monitoramento dos ensaios foi realizado pela amostragem do lixiviado gerado em cada bioreator. O lixiviado recirculado possuía os seguintes valores médios em termos de metais pesados: <0,02 mg/L de cádmio, 0,40 mg/L a 1,00 mg/L de cromo, 0,10 mg/L a 0,15 mg/L de chumbo e 0,03 mg/L a 0,65 mg/L de zinco. A frequência foi quinzenal e os parâmetros estudados foram: pH e demanda química de oxigênio num período de 60 dias. Após o término dos 60 dias, os bioreatores foram abertos e foi verificado o teor de umidade nas camadas de cobertura e nos resíduos sólidos. Para obtenção dos resultados do teor de umidade das amostras das camadas de cobertura, as mesmas foram colocadas em estufa por um período de 24 h, a 105°C. Já as amostras de resíduos sólidos foram colocadas também em estufa a 65°C durante 24 h. Após esta secagem inicial as amostras permaneciam por mais 4 h a 105°C.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela I apresenta um balanço entre a quantidade de água e o lixiviado adicionado nos bioreatores para diferentes materiais de cobertura dos resíduos sólidos, além da quantidade de lixiviado gerado dentro dos bioreatores pelo processo de degradação e pela entrada de líquidos no sistema (simulação de chuva e recirculação de lixiviado).

Observando-se o comportamento apresentado na Tabela I, constata-se que o bioreator com camada intermediária de entulho da construção foi o que apresentou um maior índice de líquido passante, ou seja, é o material com a maior permeabilidade.

Do ponto de vista da utilização da técnica de recirculação de lixiviado o entulho da construção é o material mais adequado. Por outro lado, este tipo de material permitirá, também, a entrada da água da chuva; conseqüentemente, ocorrerá uma maior geração de lixiviado, tornando-se, assim, um material inadequado para cobertura final de aterros sanitários. Já o solo e a areia de fundição permitiram menor passagem de água, tornando-se potencial a utilização como camada de cobertura final, mas não para camada intermediária para aterros com recirculação de lixiviados.

O teor de umidade foi avaliado após o término do ensaio I, em todas as camadas dos bioreatores, com o objetivo de entender onde ficou armazenada a água que foi adicionada no ensaio e que, contudo, não gerou lixiviados (Tabela 2).

Os estudos realizados permitiram a apresentação das considerações a seguir descritas.

Para todos os ensaios 1C, 2C e 3C, quando a camada intermediária foi o solo ou a areia de fundição, os resíduos sólidos na camada B estavam mais secos, indicando que a camada intermediária não permitiu boa recirculação do lixiviado. O contrário foi verificado em todos os ensaios para os bioreatores com entulho da construção. Nesses casos a camada B apresentou maior umidade. Considerando-se que nos ensaios 1C não houve recirculação de lixiviado, a maior umidade na camada B do bioreator com entulho significa que houve passagem de “água da chuva” e/ou água utilizada para saturação dos resíduos no início do ensaio. Comprova-se que esse material,

Tabela I. Balanço de massa da etapa I referente ao ensaio cobertura dos RSD.

Experimento	Nomenclatura	R.S. + cobertura (L)	Precipitação (L)	Recirculação (L)	Lixiviado Gerado (L)	LIX (%)
Bioreator 1C	1C solo	16,15	14,57	0	0,72	2,34
	1C entulho	10,45	14,57	0	0,06	-
	1C af	13,65	14,57	0	0,60	2,13
Bioreator 2C	2C solo	16,15	14,57	0,28	0,43	1,39
	2C entulho	10,45	14,57	0,28	0,97	3,83
	2C af	13,65	14,57	0,28	0,44	1,54
Bioreator 3C	3C solo	16,15	14,57	0,55	0,42	1,34
	3C entulho	10,45	14,57	0,55	1,1	4,3
	3C af	13,65	14,57	0,55	0,05	-

R.S + Cobertura = quantidade de água adicionada para saturação dos materiais. Lixiviado gerado = volume de lixiviado gerado no total do ensaio (utilizado para realização das análises físico-químicas); LIX = porcentagem que relaciona o volume gerado de lixiviado em relação ao volume total de líquido adicionado no ensaio.

Tabela 2. Teor de umidade de cada bioreator após o término da Etapa I

Experimento	Local amostrado*	Teor de Umidade (%)	
		Camada de cobertura	Camada de RSD
1C Solo	A	20,91	62,15
	B	31,77	37,89
1C Areia de Fundação	A	34,84	56,64
	B	41,33	47,59
1C Entulho	A	14,73	64,35
	B	20,41	70,46
2C Solo	A	26,15	69,46
	B	38,13	41,25
2C Areia de Fundação	A	37,12	61,42
	B	47,21	53,12
2C Entulho	A	17,18	72,18
	B	23,31	79,87
3C Solo	A	29,91	78,67
	B	41,67	47,76
3C Areia de Fundação	A	33,38	69,17
	B	49,21	65,98
3C Entulho	A	15,50	79,73
	B	25,56	82,06

(*) conforme Figura 3.

como já indicado, não é eficaz para o emprego com camada final de aterros sanitários, pois permitirá uma maior geração de lixiviado.

Ao se considerar estes materiais como camada de cobertura final de aterros, em todos os ensaios (1C, 2C e 3C) realizados, a camada A, com maior umidade, foi a de solo e a de menor umidade, o entulho. Os resultados indicam que, nesta mesma ordem, estaria a adequada utilização desses materiais como coberturas finais, pois a mesma quantidade de água adicionada sobre as camadas, ficou retida mais nesse local, quando o material era o solo do que quando utilizou-se o entulho. A característica do solo de manter a água nos seus vazios é interessante, já que não permitirá a passagem da mesma e, conseqüentemente, sem a geração de lixiviado.

O desempenho da areia de fundição foi intermediário entre esses materiais, sugerindo a possibilidade para uso como cobertura final de aterros sanitários.

O regime de trabalho da montagem e operação do bioreatores da fase 1C, 2C e 3C da etapa I deu-se em um período de estiagem, o que dificultou assim a geração do lixiviado nos bioreatores e, conseqüentemente, poucos dados foram coletados, dificultando, desta forma, a análise qualitativa do lixiviado coletado e, principalmente, não possibilitando conclusões em termos de eficiência de recirculação.

A areia usada de fundição teve um comportamento intermediário, tanto para camada intermediária quanto para camada final, comparada com os dois outros materiais, demonstrando assim boa

potencialidade de uso. Considera-se necessário, a partir dos resultados do presente trabalho, maiores estudos para avaliar seu comportamento, quanto à retenção de metais pesados, e ao uso de areias com diferentes granulometrias e teores de argila ativa.

4 CONCLUSÃO

Quanto aos resultados dos experimentos no estudo das camadas de coberturas intermediárias dos RSD para aterros sanitários, que operem com recirculação de lixiviado, algumas conclusões podem ser estabelecidas, respeitando-se as devidas significâncias em função do conjunto de ensaios e as repetições executadas para cada experimento analisado:

- o entulho da construção civil, conforme caracterizado neste trabalho, foi o material mais adequado para utilização como camada de cobertura intermediária para aterros que empreguem a recirculação de lixiviado; e
- tanto a areia de fundição quanto o solo local foram materiais considerados, dentre os analisados, com características para o uso em camada de cobertura final para aterros sanitários. Cabe ressaltar, também, que este tipo de solo é característico daquela região, caso não fosse, seria inviável do ponto de vista econômico transportar solo de outros locais, se tratando de cidades de pequeno porte. Já a utilização da areia de fundição vai depender muito da existência de alguma fábrica que esteja perto da cidade em questão para que o transporte deste tipo de material não se torne um empecilho na análise financeira do projeto.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Finep, o CNPq e a Caixa pelo apoio dessa pesquisa dentro do PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico e à empresa de Fundação Metalcorte por ceder o resíduo areia verde usada de fundição.

REFERÊNCIAS

- 1 NUNEZ, W. P.; LEYEN, G. W.; BREHM, F. A.; GRAFFITTI, D.; PICCININI, P. R.; MORAES, C. A. M. Utilização de areia usada de fundição como matéria-prima de mistura asfáltica. In: CONGRESSO DE FUNDIÇÃO - CONAF, 11., 2003, São Paulo. São Paulo: ABIFA, 2003. p. 1-9.
- 2 MARIOTO, C. L.; BONIN, A. L. Tratamento dos descartes de areia. **Revista Fundição e Matérias-primas**, n. 12, p. 28-32, mar./abr. 1996.
- 3 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- 4 CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA N° 307/2002** - Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama>>. Acesso em: 28 ago. 2007.
- 5 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 2004. 57p.
- 6 PINTO, T. P. **Metodologia da gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 1999. 189 f.. (Tese de Doutorado - Engenharia de Construção Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999.

Recebido em: 27/03/07

Aceito em: 20/08/07

Proveniente de: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 61., 2006, Rio de Janeiro. São Paulo: ABM, 2006.