



**ABES** RBCiamb

EDIÇÃO 01

Agosto/05

## Homenagem

### João Batista Baumgartner [1949 - 2004]

Diretor de Eventos do ICTR



O professor João Batista Baumgartner fez parte da primeira turma de engenharia de materiais da Universidade Federal de São Carlos, formou-se engenheiro de materiais, com especialização em materiais cerâmicos, em dezembro de 1974. Exerceu sua primeira atividade profissional, como engenheiro de materiais, nas indústrias Ideal Standard S. A. Indústria e Comércio de Louças Sanitárias e Cidamar S. A. Indústria e Comércio de Louças e Artigos Sanitários. Em 1977, decidiu retornar à vida acadêmica, aceitando o desafio da implantação do segundo curso de engenharia de materiais no país, na Universidade Federal da Paraíba, em Campina Grande (hoje Universidade Federal de Campina Grande). Obteve seu título de mestre em engenharia química, nessa mesma universidade, em 1985, trabalhando na preparação de catalisadores, sob a orientação do Prof. Dr. Ramdayal Swarnackar. No ano seguinte, iniciou seu doutorado na Université Claude Bernarde, em Lyon, França, prosseguindo seus estudos em cinética heterogênea e catálise. Sua tese, em catalisadores suportados à base de níquel, orientada pela Profa. Dra. Michelle Guenin, foi defendida em 1990, tendo recebido Diplôme d'Honneur do Comité Lyonnais d'Accueil et de Liaison

Universitaires. Em 1993 regressou à Universidade Federal de São Carlos, agora como docente do Departamento de Engenharia Química. Sua primeira inclusão no departamento foi no Grupo de Catálise, no qual iniciou seus trabalhos em catálise ambiental. Em 1999 transferiu-se para a área de pesquisa de controle ambiental, em que passou a se dedicar com afinco à questão do gerenciamento e reaproveitamento dos resíduos sólidos. A partir de 2000, após intenso trabalho de organização e levantamento do potencial poluente dos resíduos sólidos da Universidade Federal de São Carlos, coordenou a implantação da Unidade de Gestão de Resíduos dessa universidade, conseguiu a aprovação de vários projetos que levaram à sua viabilização. A partir de 2002, foi nomeado coordenador do Programa de Controle de Energia e Resíduos e responsável pela Unidade de Gestão de Resíduos da Universidade Federal de São Carlos. Destacou-se sobremaneira no tema, passando a fazer parte do grupo de pesquisadores de o estado de São Paulo ligados às universidades públicas paulistas. Foi o coordenador da comissão organizadora do I Fórum das Universidades Públicas Paulistas – Ciência e Tecnologia em Resíduos, que

“Temos a certeza de que muito ele plantou, muitos exemplos deixou, muitas lições; e também levou muito de nós, pois sempre foi uma pessoa de princípios, que vivia a vida em toda sua plenitude, seguindo as leis divinas e todos seus princípios morais; um homem que amou a família, os familiares e os amigos.”

*Adriano, Gabriel e Ermínia*

aconteceu em 2003, com grande êxito, na cidade de São Pedro (SP). No mesmo ano, recebeu menção honrosa do Instituto de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável – ICTR. Sua atuação acadêmica é em prol de um meio ambiente mais saudável; seu firme propósito em melhorar as condições de trabalho de todos nós deixa um exemplo de dedicação e sua ausência deixa uma lacuna que nunca será preenchida, quer como profissional, quer como colega e amigo, sempre ponderado e prestativo, disposto a ouvir e ajudar aqueles que o cercavam.

*Revista Brasileira de Ciências Ambientais*

# Revista Brasileira de Ciências Ambientais

## Envio de Artigos, Opiniões e Sugestões

Cartas para  
NISAM/Revista Brasileira de Ciências Ambientais  
Av. Dr. Arnaldo, 715 – Cerq. César – São Paulo - SP – CEP 01246-904

A/c Marcelo de Andrade Roméro ou  
e-mail: maromero@usp.br

...

## Assinatura

ICTR – Av. Paulista, n. 509, Piso P,  
Cj. 4 – São Paulo - SP  
telefones: (11) 287-2327 / 287-4965  
e-mail: ictr@ictr.org.br

...

## Sites

[www.ictr.org.br](http://www.ictr.org.br)  
[www.fsp.usp.br/nisam](http://www.fsp.usp.br/nisam)

...

## Para anunciar

ICTR – Av. Paulista, n. 509, Piso P,  
Cj. 4 – São Paulo - SP  
telefones: (11) 287-2327 / 287-4965  
e-mail: ictr@ictr.org.br

...



Editor

Marcelo de Andrade Roméro

A *Revista Brasileira de Ciências Ambientais* é uma realização conjunta do NISAM e do ICTR, e objetiva tornar-se, inicialmente, um canal de divulgação de artigos científicos, em língua portuguesa, na área do meio ambiente, que traduzirão o resultado de pesquisas e avanços de trabalhos desenvolvidos ou em desenvolvimento no país. Em um segundo momento, a revista objetiva divulgar lançamentos de livros proeminentes da área, bem como eventos nacionais e internacionais e entrevistas que tratem de temáticas atuais e de interesse da comunidade científica brasileira.

O projeto editorial se baseou em uma estrutura de tópicos temáticos, nos quais os artigos estão inseridos. Essa estrutura poderá ser ampliada, de forma a contemplar novas temáticas de interesse, de acordo com a política editorial adotada. Dependendo da conjuntura ambiental no cenário nacional e internacional, o Conselho Editorial poderá optar por números temáticos da revista. Neste primeiro número trabalhamos com quatro grandes temas: *Gestão de resíduos; Tratamento e disposição final de resíduos; Reciclagem e Educação Ambiental*, nos quais se

inseriram sete artigos, selecionados a partir de uma série de trabalhos premiados no 1º Fórum das Universidades Públicas Paulistas – Ciência e Tecnologia em Resíduos, realizado pelo ICTR em 2003.

Um terceiro objetivo da revista é estender sua área de atuação e influência, para países da América Latina, bem como para a comunidade internacional de língua portuguesa e espanhola.

Este primeiro número presta homenagem especial ao professor João Batista Baumgartner, primeiro Diretor de Eventos do ICTR e um grande entusiasta desta revista, tendo colaborado em seu surgimento e participado da primeira reunião do Conselho Editorial, em março de 2004.

Para o segundo número pretende-se contar com trabalhos que se destacaram no evento ICTR' 2004 – Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável e NISAM'2004 – Ciclo de Conferências em Política e Gestão Ambiental, artigos recebidos, além de entrevista e relação de publicações lançadas no biênio 2003 – 2004.



## José Adolpho Melfi

Reitor da Universidade de São Paulo – USP

Acredito que a *Revista Brasileira de Ciências Ambientais* e o Instituto de Ciência e Tecnologia em Resíduos para o Desenvolvimento Sustentável – ICTR, surgiram em boa hora. Hoje, uma das grandes preocupações de nossa sociedade contemporânea é o tratamento e a destinação final dos resíduos. Acredito que esse seja o maior problema ambiental, e refiro-me aos resíduos urbanos, industriais e agrícolas. Dessa forma, divulgar, estudar e compreender de que maneira podemos aproveitar esses resíduos, em benefício de nossa sociedade e de uma economia rentável, é o aspecto fundamental da questão. Se pudermos divulgar ações e criar mecanismos e procedimentos para a melhor utilização desses resíduos, estaremos prestando uma contribuição enorme para a humanidade.



## Carlos Henrique de Brito Cruz

Reitor da Universidade de Campinas – Unicamp

A *Revista Brasileira de Ciências Ambientais* poderá consolidar-se como um importante instrumento de difusão do conhecimento gerado pelos pesquisadores que se preocupam com as ciências ambientais, aí incluída a questão do gerenciamento de resíduos e do desenvolvimento sustentável. Certamente, os pesquisadores da Unicamp voltados para o assunto sentem-se gratificados com o surgimento dessa publicação e estarão prontos a colaborar com ela, como, aliás, já o fazem no primeiro número.

O ICTR é uma iniciativa ressonante com a preocupação da Unicamp a respeito da questão do gerenciamento dos rejeitos biológicos, químicos e radioativos gerados em função de atividades de ensino e pesquisa. Em 2003, a partir de um diagnóstico realizado por uma comissão designada para isso, a Unicamp elaborou um programa de ação institucional e criou um Grupo Gestor de Resíduos para a coordenação e execução desse trabalho. A Unicamp, por meio do Grupo Gestor, orgulha-se de ter participado da fundação do ICTR.

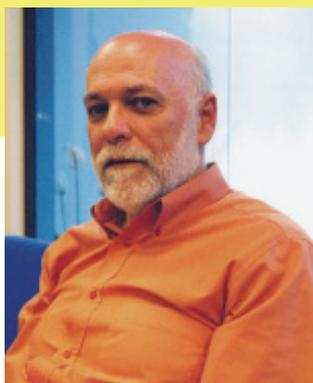


## José Carlos Souza Trindade

Reitor da Universidade do Estado de São Paulo – Unesp

A *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, com artigos voltados para as pesquisas em resíduos e gestão ambiental, é fundamental para contemplar os assuntos pesquisados pelas instituições envolvidas no projeto.

Diversos docentes da Unesp participam da estrutura do ICTR, seja em suas diretorias, seja nos conselhos de orientação e fiscal. Isso se deve às relevantes pesquisas de nossa universidade na área ambiental, com ações, principalmente, nos campi de Bauru, Botucatu, Ilha Solteira, Jaboticabal, Rio Claro, Sorocaba/Iperó e Tupã, entre outros. Como o ICTR envolve universidades de diversas localidades (só a Unesp atua em 23 cidades do estado de São Paulo), será possível oferecer uma abordagem regional aos problemas com resíduos. O importante, nesse processo, é possibilitar à sociedade conhecer o que as universidades produzem e potencializar a capacidade dos pesquisadores, criando um ambiente de sinergia para aprimorar o que é estudado.



## Oswaldo Baptista Duarte Filho

Reitor da Universidade de São Carlos – UFSCar

A criação do ICTR por docentes e pesquisadores das quatro universidades paulistas é um fato, extremamente, auspicioso, e que, sem dúvida, irá estimular as atividades de pesquisa e extensão na área de resíduos e desenvolvimento sustentável, com o incremento de tecnologias e do debate sobre esses temas, de grande relevância para todos os segmentos sociais e econômicos do país. Além disso, o instituto possibilitará um maior intercâmbio entre as universidades na área ambiental, aspecto muito importante do ponto de vista acadêmico.

Para a UFSCar, que mantém diversos cursos de graduação, pós-graduação e atividades de extensão relacionados à área ambiental e de resíduos, o advento do instituto é altamente estimulante, como mais uma oportunidade no sentido de ampliar e enriquecer sua atuação e produção de conhecimento.



## Claudio Rodrigues

Superintendente do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN

É de suma importância uma *Revista Brasileira de Ciências Ambientais* na qual os trabalhos desenvolvidos nessa área possam ser divulgados para toda a comunidade.

O IPEN, pela preocupação e atenção com assuntos ambientais, deverá estar presente colaborando com a difusão de novas tecnologias e processos, para que possamos ter um desenvolvimento sustentado em nosso país.

O ICTR, como um instituto que reúne as universidades e os institutos de pesquisas em torno de um assunto tão relevante atualmente, como a gestão e o tratamento de resíduos, é um importante meio de divulgação, discussão e troca de informações. Em particular no IPEN, essa é uma área que sempre mereceu atenção especial, tanto no caso de resíduos radioativos como também no caso de resíduos químicos e biológicos.



## Guilherme Ary Plonski

Diretor-superintendente do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT

É muito bem-vinda a *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*. Além de desempenhar um papel complementar ao ICTR, vem preencher uma carência na área ambiental, que é muito vasta, mas ainda dispõe, no país, de mecanismos limitados de difusão e intercâmbio científico. Destaco, em especial, a preocupação desta nova publicação na abordagem integrada da questão dos resíduos com a do desenvolvimento sustentável.

É muito expressiva a existência do ICTR para o IPT. Ao reunir profissionais de diferentes extrações, promover o intercâmbio e difusão do conhecimento, estimular a cooperação entre pesquisadores e entre estes e as empresas, o ICTR contribui para potencializar as competências e criar capilaridade na sociedade das instituições de inovação tecnológica, como o IPT. Aprender a realidade socioeconômica e dialogar com os diferentes agentes sociais são condições essenciais para a produção e transferência de tecnologias como sustentáculo para o desenvolvimento sustentável.

NISAN/ ICTR  
CONSELHO EDITORIAL CIENTÍFICO

Adelaide Cássia Nardocci (FSP/USP)  
Alaôr Caffé Alves (FD/USP)  
Alcides Lopes Leão (Unesp/BOT)  
Alexandre de Oliveira e Aguiar (NISAM/USP)  
Angela M. Magosso Takayanagui (EERP/USP)  
Antonio Carlos Rossin (FSP/USP)  
Antonio Fernando Pinheiro Pedro (ABAA)  
Antonio Herman Benjamín (IDPV)  
Aracy Witt de Pinho Spínola (FSP/USP)  
Aristides Almeida Rocha (FSP/USP)  
Arlindo Philippi Jr. (FSP/USP)  
Armando Borges de Castilhos Jr. (UFSC)  
Attilio Brunacci (NISAM/USP)  
Bastiaan Reydon (Unicamp)  
Bruno Coraucci Filho (FEC/Unicamp)  
Carlos Celso do Amaral e Silva (FSP/USP)  
Carlos Eduardo Morelli Tucci (UFRGS)  
Carlos Malzyner (Sempla)  
Celina Lopes Duarte (Ipen)  
Célio Bérman (IEE/USP)  
Cíntia Philippi Salles (NISAM/USP)  
Claudio Fernando Mahler (COPPE/UFRJ)  
Cleveson V. Andreoli (UFPR)  
Daniel Joseph Hogan (Unicamp)  
Daniel Roberto Fink (MPSP)  
Daniel Silva (UFSC)  
Delsio Natal (FSP/USP)  
Denise Croce Romano Espinosa (EP/USP)  
Dimas Floriani (UFPR)  
Édis Milaré (NISAM/USP)  
Edson A. Abdul Nour (FEC/Unicamp)  
Edson Leite Ribeiro (PRODEMA/UFPA)  
Eglé Novaes Teixeira (FEC/Unicamp)  
Enrique Leff (PNUMA)  
Eugênio Foresti (EESC/USP)  
Fábio Luiz Teixeira Gonçalves (IAG/USP)  
Fábio Nusdeo (FD/USP)  
Fábio Taioli (IGC/USP)  
Fabiola Zion (FSP/USP)  
Fernando Fernandes da Silva (NISAM/USP)  
Francisco Radler (UFRJ)  
Francisco Suetônio Bastos Mota (UFCE)  
Gilberto Passos de Freitas (TI/SP)  
Gilda Collet Bruna (Mackenzie)  
Guido Fernando Silva Soares (FD/USP)  
Guilherme J. Purvin de Figueiredo (PGESE)  
Helder Perdigão Gonçalves (INETI – Portugal)  
Helena Ribeiro (FSP/USP)  
Heliana Comin Vargas (FAU/USP)  
Hilton Felício dos Santos (Consultor Ambiental)  
Isak Kruglianskas (FEA/USP)  
Ivete Senise (FD/USP)  
Jair Lício Ferreira Santos (FMRP/USP)  
João Antônio Galbiati (Unesp)  
João Batista Baumgartner (UFSCar)  
João Sergio Cordeiro (UFSCar)  
João Vicente de Assunção (FSP/USP)  
Jorge Alberto Soares Tenório (EP/USP)  
Jorge Gil Saraiva (LNEC – Portugal)  
Jorge Hajime Oseki (FAU/USP)  
Jorge Hamada (Unesp)  
José Carlos Derísio (Consultor Ambiental)  
José Damásio de Aquino (FUNDACENTRO)  
José de Ávila Aguiar Coimbra (NISAM/USP)  
José Eduardo R. Rodrigues (Fundação Florestal)  
José Fernando Thomé Jucá (UFPE)  
José Luiz Negrão Mucci (FSP/USP)  
José Maria Soares Barata (FSP/USP)  
Leila da Costa Ferreira (Unicamp)  
Léo Heller (UFMG)  
Luiz Enrique Sanchez (EP/USP)  
Luiz Roberto Tomasi (FUNDESPA)  
Luiz Sérgio Philippi (UFSC)  
Marcel Bursztyn (UNB)  
Marcelo de Andrade Romero (FAU/USP)  
Marcelo Pereira de Souza (EESC/USP)  
Márcia Faria Westphal (FSP/USP)  
Márcio Joaquim Estefano Oliveira (Unesp)  
Marcos Reigota (UNISO)  
Marcos Rodrigues (EP/USP)  
Maria Cecília Focesi Pelicioni (FSP/USP)  
Maria José Brollo (IG/SMA/SP)  
Maria Olímpia Rezende (IQSC/USP)  
Maria Regina Alves Cardoso (FSP/USP)  
Mario Thadeu Leme de Barros (EP/USP)  
Mary Dias Lobas de Castro (SVMA/PMSP)  
Milo Ricardo Guazelli (ANVISA)  
Mônica Porto (EP/USP)  
Murilo Damato (SENAC)  
Nemésio N. Batista Salvador (UFSCar)  
Oswaldo Massambani (IAG/USP)  
Paulo Affonso Leme Machado (UNIMEP)  
Paulo Artaxo (IF/USP)  
Paulo de Tarso Siqueira Abrão (NISAM/USP)  
Paulo H. Nascimento Saldiva (FM/USP)  
Paulo Renato Mesquita Pellegrino (FAU/USP)  
Pedro Caetano Sanches Mancuso (FSP/USP)  
Pedro Roberto Jacobi (PROCAM/USP)  
Petra Sanchez Sanchez (Mackenzie)  
Philip O. M. Gunn (FAU/USP)  
Raul Machado Neto (ESALQ/USP)  
Renata Ferraz de Toledo (NISAM/USP)  
Ricardo Toledo Silva (FAU/USP)  
Roberto Nunes Szente (IPT)  
Roque Passos Pivelli (EP/USP)  
Ruben Bresaola Jr. (FEC/Unicamp)  
Ruth Sandoval Marcondes (FSP/USP)  
Sabetai Calderoni (NAIPPE/USP)  
Sebastião Roberto Soares (UFSC)  
Sergio Eiger (FSP/USP)  
Severino Soares Agra Filho (UFBA)  
Sheila Walbe Ornstein (FAU/USP)  
Solange Teles da Silva (NISAM/USP)  
Tadeu Fabrício Malheiros (FSP/USP)  
Umberto Cordani (IGC/USP)  
Vahan Agopyan (EP/USP)  
Vanderley Moacyr John (EP/USP)  
Vera Lúcia Ramos Bononi (NISAM/USP)  
Vicente Fernando Silveira (NISAM/USP)  
Walter Lazzarini (NISAM/USP)  
Wilson Edson Jorge (FAU/USP)  
Witold Zmitrowicz (EP/USP)  
Yara Maria Botti M. de Oliveira (Mackenzie)



# Índice

**2** **Homenagem**  
JOÃO BATISTA BAUMGARTNER

**3** **Editor**  
MARCELO DE ANDRADE ROMÉRO

## Depoimentos

JOSÉ ADOLPHO MELFI – Reitor da USP  
CARLOS HENRIQUE DE BRITO CRUZ – Reitor da Unicamp  
JOSÉ CARLOS SOUZA TRINDADE – Reitor da Unesp  
OSWALDO BAPTISTA DUARTE FILHO – Reitor da UFSCar  
CLAUDIO RODRIGUES – Superintendente do IPEN  
GUILHERME ARY PLONSKI – Diretor-superintendente do IPT

**4**  
**6** **Palavras do Presidente**  
ARLINDO PHILIPPI JR.

## Gestão de Resíduos

**7** **PRODUÇÃO DE ADOBE COM BIOMASSA DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS:  
UMA ALTERNATIVA PARA RETIRADA E ENCAPSULAMENTO DE POLUENTES  
DE LAGOS E RESERVATÓRIOS**

**18** **GERENCIAMENTO DE SOLUÇÃO DE FORMOL EM LABORATÓRIOS DE  
ANATOMIA**

**26** **AVALIAÇÃO DE COMPÓSITOS BIOMASSA  
VEGETAL-CIMENTO MODIFICADOS POR POLÍMERO**

**34** **A PRODUÇÃO ORGÂNICA E A INFORMATIZAÇÃO COMO FORMAS DE  
REDUÇÃO DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS**

**40** **Tratamento e Disposição Final de Resíduos**  
ESTABILIZAÇÃO DE LODOS DE ESGOTO UTILIZANDO  
REATORES ANAERÓBIOS SEQUENCIAIS (SISTEMA RAS)

**47** **Reciclagem**  
USO DA AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA (ACV) EM EMBALAGENS DE  
PLÁSTICO E DE VIDRO NA INDÚSTRIA DE BEBIDAS NO BRASIL

**55** **Educação Ambiental**  
A EDUCAÇÃO AMBIENTAL NO SISTEMA DE COLETA SELETIVA DE  
RESÍDUOS SÓLIDOS NO MUNICÍPIO DE SÃO CARLOS – PROGRAMA  
FUTURO LIMPO

**62** **Eventos**  
ICTR '2004  
NISAM '2004

## RESUMO

Este trabalho busca a otimização do uso de biomassa de macrófitas aquáticas na produção de adobe (tijolos de terra secos ao sol), objetivando contribuir com o manejo integrado de lagos e oferecer uma alternativa de autoconstrução de baixo custo, com material de construção ecológico. A pesquisa foi desenvolvida no reservatório de Salto Grande (Americana-SP, Brasil), que se encontra em avançado processo de eutrofização artificial, recebendo grande aporte de nutrientes provenientes de esgotos urbanos e lixiviação de insumos agrícolas. As macrófitas aquáticas ali presentes (*Brachiaria arrecta*, *Eichhornia crassipes* e *Pistia stratiotes*) contêm altos níveis de nutrientes (nitrogênio e fósforo) e metais pesados, tornando impraticável sua utilização como forragem ou fertilizante. O solo utilizado é argiloso (59% argila, 21% silte e 20% areia), classificado como A-7-6 (HRB), o que inviabilizaria sua utilização na produção de adobe, motivo pelo qual foi adicionada a biomassa das macrófitas. A amostragem e cálculo desta biomassa foram realizados pelo método do quadrado de 0,25 m<sup>2</sup>, a determinação de nutrientes e metais pesados (10 metais) pelos métodos padrão de análises químicas, com espectrofotômetro de absorção atômica e de chama. Foram efetuados todos os ensaios usuais de caracterização de solos. As plantas secas foram trituradas e misturadas ao solo, para a produção manual dos tijolos, em 15 misturas de diferentes proporções (em volume) de biomassa/solo. Foram feitos os ensaios de absorção de água, massa específica aparente, retração e resistência à compressão dos tijolos. Os resultados desses ensaios apontaram 30% de biomassa de *E. crassipes* como a porcentagem ideal, produzindo tijolos com resistência à compressão superior a 2MPa.

## ABSTRACT

This work intends to optimize the utilization of aquatic macrophyte biomass in the adobe (a sun-dried mud brick) production, based on the study of the physical and mechanical characteristics of these bricks and the macrophytes biomass estimate as well as their chemical characteristics. The research was developed in the Salto Grande Reservoir region, in Americana (a town in São Paulo state, Brazil). This lake is located in an area of high urbanization and industrialization level, with common dwelling deficit, which is in advanced artificial eutrophication process by human activity action. The aquatic macrophytes found in that place (*Brachiaria arrecta*, *Eichhornia crassipes* and *Pistia stratiotes*) present a high level of heavy metals and nutrients that make impracticable their utilization as forage or fertilizer. The biomass utilization in the construction of materials appears here as an alternative of integrated management of the lake in the stabilization/solidification (or "encapsulation") of these chemical substances, in addition to the fact that it makes possible the self-building of low cost dwellings. The other biomass function is to stabilize the soil that has a high clay concentration (59%, with 21% silt and 20% sandy) and would suffer a large drawing back during the drying process, with the introduction of excessive fissures. This biomass addition was made to reduce these fissures and the specific mass of the bricks. Besides, the research results show that, even though the adobe bricks are perhaps the oldest manufactured building material, their application persists practicable mainly in the sustainability hopes for being a completely ecological building material and adequate for the tropical regions.

## PRODUÇÃO DE ADOBE COM BIOMASSA DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS: UMA ALTERNATIVA PARA RETIRADA E ENCAPSULAMENTO DE POLUENTES DE LAGOS E RESERVATÓRIOS

**Obede Borges Faria**

Doutor em ciências da engenharia ambiental /FEB/  
UNESP – Bauru.  
obede@feb.unesp.br

**Evaldo Luiz Gaeta Espíndola**

Doutor em hidráulica e saneamento /EESC/USP – São Carlos.  
elgaeta@sc.usp.br

## INTRODUÇÃO

Com o processo de eutrofização artificial e acelerada da represa de Salto Grande, em Americana (estado de São Paulo), houve uma proliferação descontrolada de macrófitas aquáticas “*plantas herbáceas que crescem na água, em solos cobertos por água ou em solos saturados com água*” (ESTEVES, 1988). Na Figura 1 é mostrado um dos aspectos desse problema. O reservatório, com mais de 50 anos de idade, tem superfície de 13 km<sup>2</sup>, comprimento máximo de 17 km, perímetro de 64 km, profundidade média de 8 m e volume de 1,06 x 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>. Sua finalidade é a produção de energia elétrica e oferecer uma opção de lazer à população de seu entorno, que, inclusive, alimenta-se com os peixes que fazem parte de seu ecossistema. A situação é agravada pelo alto índice de contaminação das águas por efluentes urbanos e industriais, inviabilizando a utilização dessas plantas como fertilizantes ou forragem, assim como seu controle químico (com herbicidas), que potencializaria essa contaminação. Na década de 70 foi feita uma tentativa de erradicação destas plantas por herbicidas, porém, sem sucesso. A recolonização foi imediata. A remoção mecânica também foi tentada, igualmente sem sucesso, por inadequação do destino da biomassa coletada, disposta às margens do corpo d’água e rapidamente tinha seus nutrientes devolvidos ao sistema, agravando ainda mais o processo de eutrofização (LOPES-FERREIRA, 2000).

Como parte do conjunto de alternativas para a solução do problema, este trabalho apresenta o estudo da otimização do uso da biomassa dessas plantas na produção de adobe (tijolos de terra crua, secos ao sol), de forma a

garantir a sustentabilidade, promovendo um manejo integrado do reservatório, além de contribuir com a diminuição do déficit habitacional da região (altamente urbanizada). O adobe foi amplamente estudado pelo arquiteto egípcio Hassan Fathy (FATHY, 1976) e mostra-se perfeitamente adequado para climas tropicais e regiões pobres, inclusive com sua prática ainda em uso em algumas regiões do Brasil. Foram utilizadas as três espécies predominantes de macrófitas aquáticas presentes na represa, *Eichhornia crassipes* (**jacinto d’água** ou **aguapé**), *Pistia stratiotes* (**alface d’água**) e *Brachiaria arrecta* (**braquiária**), identificadas taxonomicamente também por Lopes-Ferreira (2000) e apresentadas na Figura 2.

Foi utilizado solo proveniente do entorno do reservatório, com alto teor de argila; mais um motivo para se utilizar as fibras fornecidas pelas macrófitas, na forma de biomassa. Segundo Faria (1998), para produção de adobe, o solo ideal deve ser arenoso (máximo de 30% de argila); caso contrário, ocorrerão fissuras excessivas e queda de resistência mecânica, havendo a necessidade de corrigir este problema com adição de algum estabilizante, no caso proposto, representado pela biomassa das macrófitas aquáticas.

## METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido em cinco etapas: 1 – coleta e preparação das macrófitas; 2 – caracterização física da biomassa; 3 – caracterização química da biomassa; 4 – caracterização do solo e produção dos tijolos; e 5 – ensaios de caracterização física e mecânica dos tijolos. A seguir, são descritos, resumidamente, os procedimentos adotados em cada uma dessas etapas.

### Coleta e preparação das macrófitas

As macrófitas foram coletadas em vários pontos, distribuídos ao longo do reservatório, com auxílio de um pequeno barco motorizado e acondicionadas em sacos plásticos de 100 litros, para o transporte até Bauru (distante 230 km de Americana). Na coleta, a amostragem foi feita pelo método do quadrado de 0,25 m<sup>2</sup> (MORAES, 1998), para o cálculo da área total de estande coletada de cada espécie. Em seguida, as macrófitas foram lavadas, para remoção do excesso de material aderido, e espalhadas sobre manta plástica, para secagem ao sol e perda do excesso de umidade (Figura 3).

### Caracterização física da biomassa

Para o cálculo da **biomassa por unidade de área** (**Bps**, massa de vegetal seco contido na unidade de área de cobertura da lâmina d’água – *estande*, expressa em g/m<sup>2</sup>), as plantas foram colocadas em estufa (60 °C, por 72 horas), atingindo 0% de umidade e pesadas em balança eletrônica, com precisão de 10<sup>-5</sup> Kg. Esse parâmetro foi calculado pelo quociente entre a massa seca total e a área total correspondente, ou seja, o produto entre o número total de quadrados coletados que forneceram aquela biomassa e a área de um quadrado (0,25 m<sup>2</sup>). Em seguida, esse material foi fragmentado em um triturador forrageiro, com peneira de  $\phi$ 12 mm para a amostragem do material levado às análises químicas e também sua utilização na produção dos tijolos. Essa etapa também se mostrou necessária para que se pudesse efetuar uma amostragem mais significativa, considerando-se a heterogeneidade do material (já que foram utilizadas todas as partes das plantas – sistema radicular, caules e folhas) e a grande diferença entre a quantidade de biomassa obtida e a necessária para os ensaios químicos.

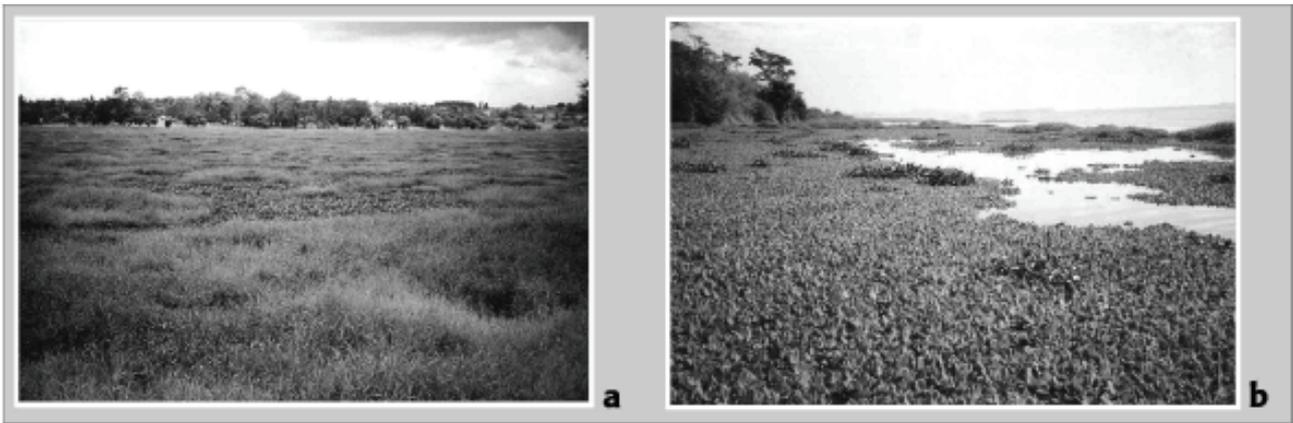


Figura 1 – Vista da superfície da represa, completamente coberta por macrófitas (predominando *B. arrecta*), a 50 m da barragem. Tomada da margem direita, vendo-se ao fundo a margem esquerda (a). Proliferação de macrófitas aquáticas, próximo a entrada da represa (predominando *E. crassipes* e *P. stratiotes*) (b)  
Crédito: Autores

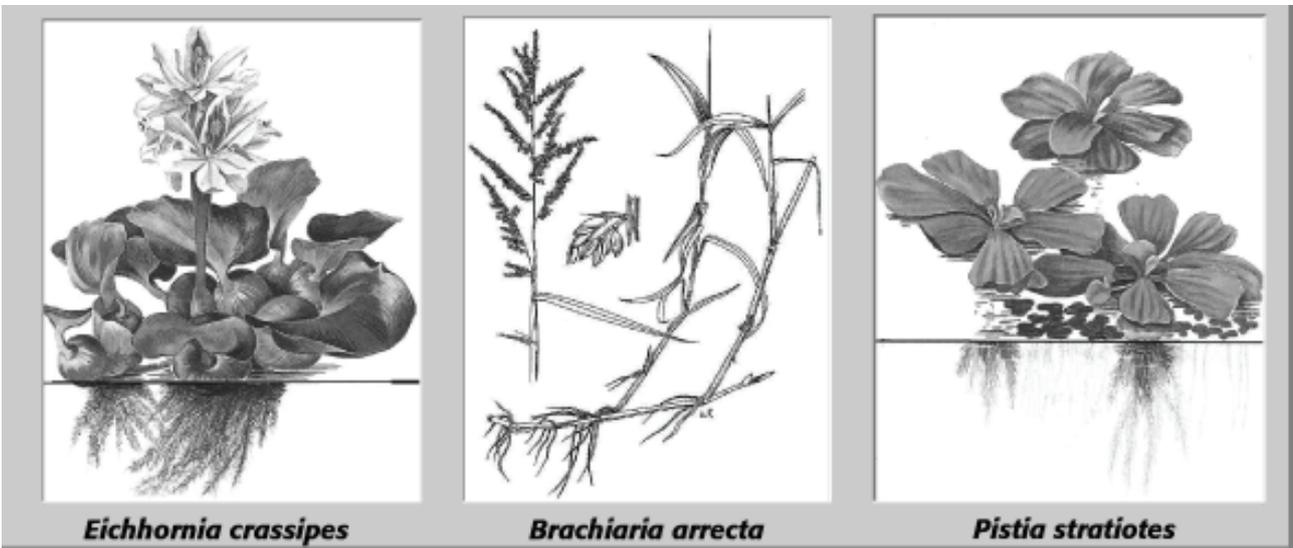


Figura 2 – Ilustrações botânicas das três espécies de macrófitas aquáticas estudadas, adaptado de HOYER & CANFIELD JR (1997) e <http://www.tropica.uk>  
Crédito: Autores



Figura 3 – Lançamento do quadrado de madeira sobre um estande de *Pistia stratiotes* (a). Corte das plantas contidas dentro de um quadrado de *Eichhornia crassipes* (b)  
Crédito: Autores



Figura 4 – Triturador forrageiro TRAPP-TRF70, adaptado para reduzir perda de biomassa (a). Homogeneização do material triturado (b). Amostragem por quarteamentos sucessivos (c)  
Crédito: Autores



Figura 5 – Amassamento do barro com os pés (a); moldagem (b) e secagem dos tijolos (c)  
Crédito: Autores

Após a etapa anterior, foi calculada a **densidade aparente** da biomassa picada, para que se pudesse transformar o traço inicial (proporção entre biomassa e solo utilizados) de volume para massa e também foi medida a **umidade higroscópica** do material, que em seguida foi acondicionado em sacos plásticos e identificado por espécie. A densidade aparente (em  $\text{g}/\text{cm}^3$ ) foi calculada fazendo-se a média de três determinações da massa de material triturado, contida em um recipiente de volume conhecido.

### Caracterização química da biomassa

Após a primeira trituração da biomassa, o material obtido foi homogeneizado, espalhado sobre um filme plástico e, por quarteamento, retiradas as amostras a serem levadas ao laboratório de análises químicas (Figura 4). Essas amostras foram acondicionadas em sacos plásticos lacrados, para absorver o mínimo possível de umidade do ar.

Em seguida, conforme recomendam os procedimentos do laboratório de química, o material triturado e amostrado

anteriormente passou por mais uma etapa de trituração, agora em um moinho do tipo Willey (mod. TE340), com peneira de  $\phi 0,5$  mm. O material obtido foi seco (em placa de Petri) em estufa a  $50^\circ\text{C}$  por 1 hora, depois mantido em dessecador por mais 30 minutos e acondicionado em frascos de vidro, com batoque.

A seguir, passou-se aos ensaios químicos de determinação da concentração de fósforo total (P-TOT), de nitrogênio total (NKT) e de metais presentes na biomassa, para possibilitar

o cálculo do **estoque** (massa de substância química por unidade de área do estande) destas substâncias em cada espécie de macrófitas.

#### a) Determinação da concentração de fósforo total (P-TOT)

A concentração de fósforo total foi determinada de acordo com o método proposto por Andersen (1976) e descrito por Meyer (1996), que consiste, resumidamente, em calcinar-se 0,2 g da amostra com 0,5 g de carbonato de sódio ( $\text{NaCO}_3$ ) em mufla ( $550^\circ \text{C}$ , por 1 h); após o resfriamento, diluí-la com 25 ml de 1 N de HCl e ferver por 15 min; em seguida, filtrar e completar 100 ml com água deionizada, em balão volumétrico. O fósforo total foi determinado pelo método do ácido ascórbico e molibdato, ou seja, adição de 1 ml de reagente misto a 6 ml do filtrado, agitação mecânica, descanso por 15 min e leitura em espectrofotômetro de absorção atômica (a 880 nm).

#### b) Determinação da concentração de nitrogênio total (NKT)

A concentração de nitrogênio total foi determinada de acordo com a metodologia de Standard Methods (1971), adaptada às condições do laboratório, conforme descrito por Petracco (1995) e Meyer (1996). O procedimento foi realizado em conjunto analisador, marca "Büchi", e consistiu, resumidamente, em tomar-se 0,3 g da amostra no tubo do digestor (módulo B-435), adicionando-se 1,5 g de sulfato de potássio ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ), 1,0 ml de sulfato de cobre 10% P/V ( $\text{Cu}_2\text{SO}_4$ ) e 2,5 ml de ácido sulfúrico concentrado ( $\text{H}_2\text{SO}_4$  95-97%), promovendo-se a digestão ácida por 1 h; após o resfriamento, passou-se à destilação, por 4 min (em destilador "TECNAL"), do material digerido (colocado em Erlenmeyer)

diluído com 50 ml de água deionizada, 20 ml de hidróxido de sódio 10 N e acrescentado de 20 ml de ácido bórico a 2% (com três gotas de reagente indicador misto); finalmente, procedeu-se à titulação em bureta de pistão ("METROM / A.G. HERISAU E274", de 10 ml) com ácido sulfúrico a 0,05 N ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) e indicador misto, utilizando-se o agitador magnético "CORNING Stirrer/Hotplate", até a viragem da solução.

#### c) Determinação da concentração de metais

Como na bibliografia consultada não foram encontradas referências à determinação da concentração de metais pesados em macrófitas aquáticas, foram adotados os procedimentos recomendados pelo "Protocolo para Determinação de Metais Pesados Potencialmente Biodisponíveis em Sedimentos Lacustres", do Laboratório de Limnologia do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (CRHEA), da EESC/USP-São Carlos, baseado em Standard Methods (1971). Foram analisados 10 metais pesados (com exceção do Hg, por inadequação dos equipamentos do laboratório). O procedimento se resume em adicionar 1,0 g da amostra em um *erlenmeyer*, com 100 ml de ácido clorídrico 0,1 M (HCl); agitar esta mistura em um agitador horizontal (temperatura ambiente) por 2 h; filtrar a suspensão em papel filtro quantitativo; armazenar o filtrado a  $4^\circ \text{C}$  e utilizá-lo para determinação da concentração de cada metal, em espectrofotômetro de absorção atômica por chama.

#### Caracterização do solo e produção dos tijolos

O solo utilizado na produção dos tijolos (cerca de  $5 \text{ m}^3$ ) foi extraído da margem esquerda da represa, com

auxílio de uma máquina retroescavadeira e transportado para Bauru em caminhão basculante, onde foram realizados os seguintes ensaios de caracterização do solo, de acordo com Caputo (1978), Fabbri (1994), Nogami & Villibor (1995) e Agnelli (1997):  
1 – massa específica aparente em estado solto e umidade natural;  
2 – massa específica dos sólidos;  
3 – distribuição granulométrica;  
4 – consistência; 5 – limite de contração;  
6 – adsorção de azul de metileno;  
7 – determinação de pH e 8 – ensaios de MCT, além dos mesmos ensaios de determinação de concentração de nutrientes e metais realizados para as macrófitas.

Como um dos objetivos deste trabalho, para o futuro, é divulgar o material e sua técnica de produção para as populações carentes (visando à autoconstrução), optou-se por produzir os tijolos com o mínimo possível de máquinas, ou seja, o barro foi amassado com os pés (técnica tradicional) e os tijolos foram moldados manualmente, em fôrmas de madeira para quatro unidades com dimensões de 0,10 m x 0,12 m x 0,25 m cada.

Foram produzidas 16 séries de 20 tijolos cada uma, sendo uma série apenas com solo (sem biomassa, tomada como **padrão de referência**) e as demais com adição de biomassa triturada, de cada uma das três espécies de macrófitas, em cinco traços (proporção entre solo e biomassa) diferentes de cada espécie, variando-se de 10 a 70%, em volume (relação entre volume de biomassa e volume de solo). Em seguida, os tijolos (identificados pelo traço e pela espécie) foram postos a secar, inicialmente (por uma semana) à sombra e depois ao sol até se atingir a umidade higroscópica (Figura 5).

## Caracterização física e mecânica dos tijolos

Todos os tijolos secos tiveram suas dimensões e massas medidas, para se determinar as densidades aparentes médias, as retrações lineares e os teores de umidade higroscópica. Em seguida foram realizados os ensaios de absorção de água, com três tijolos de cada série e os ensaios de resistência à compressão, com corpos-de-prova preparados a partir de 10 tijolos de cada série, serrados ao meio e as duas metades unidas por pasta de cimento. Esses ensaios foram realizados de acordo com as normas brasileiras disponíveis para tijolos cerâmicos maciços (cozidos), procedimento proposto por Faria (2002), como mostrado na Figura 6.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na impossibilidade de apresentar e discutir neste artigo os resultados de todos os ensaios realizados, serão

apresentados e discutidos apenas os mais significativos deles.

Na Tabela 1 são apresentados os resultados da estimativa de biomassa das três macrófitas, assim como a **concentração** e o **estoque** (ou bioacumulação) de nitrogênio, fósforo e 10 metais presentes nelas. O estoque se refere à massa de elemento químico armazenado pela planta, por unidade de área da superfície do lago. Analisando-se estes dados, podemos observar que a *Brachiaria arrecta* é a espécie que fornece maior quantidade de biomassa e a que mais retira fósforo do sistema. A *Eichhornia crassipes* é a mais eficiente na retirada de nitrogênio. Já a *Pistia estratiotes* é a menos eficiente para P-TOT e intermediária para NKT, porém seu crescimento é o mais acelerado.

Continuando com a análise desses dados, pode-se observar que a *Eichhornia crassipes* é a mais eficiente na estocagem de cálcio e magnês e equipara-se à *Brachiaria arrecta*, na estocagem de ferro e magnésio. Quanto à estocagem dos demais metais, todas

as três espécies são pouco eficientes. No entanto, para uma conclusão mais definitiva seria preciso se conhecer a dinâmica do aporte desses metais no sistema.

Os resultados dos ensaios de mecânica dos solos indicaram a presença de um solo argiloso laterítico rijo; medianamente plástico; com classificação H. R. B. (Highway Research Board) A-7-6; presença de argilo-minerais ativos e índice pH de 5,07, portanto, com capacidade de retenção de cátions. A curva de distribuição granulométrica do solo, mostrada na Figura 7, indica 59% de argila, 21% de silte e 19% de areia, pela classificação internacional (cujos limites estão indicados pelas linhas verticais "Int", na Figura 7), de acordo com Minke (1995), que difere ligeiramente da classificação brasileira (limites indicados pelas linhas "Br", na mesma figura), resultando em 59% de argila, 21% de silte e 20% de areia. Em ambos os casos, o teor de argila se apresenta muito superior ao recomendado por Faria (1998).

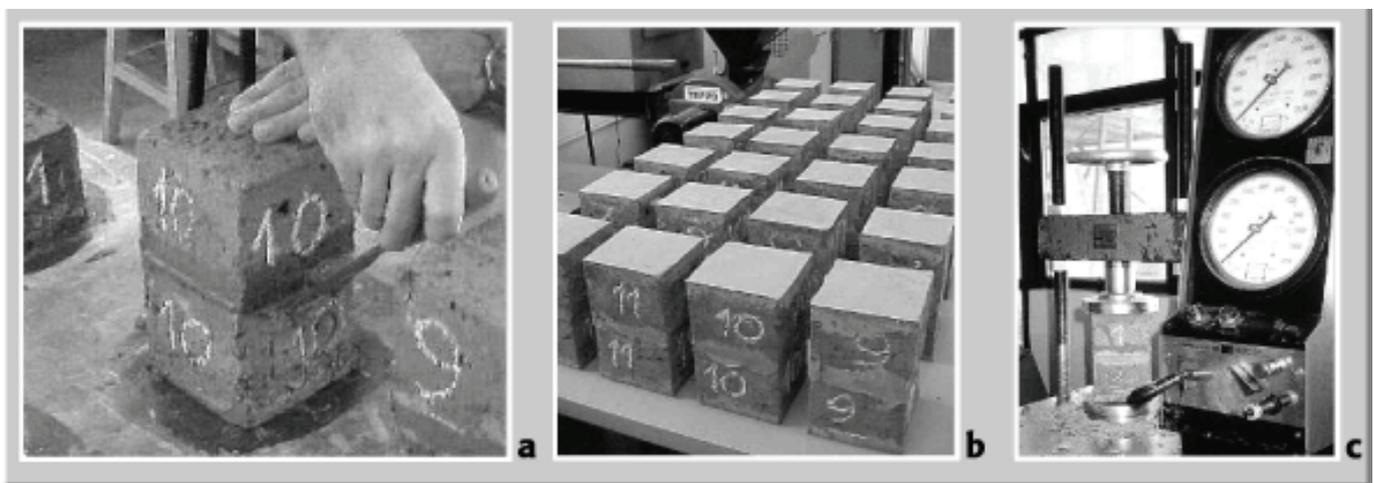


Figura 6 – Ensaio de resistência à compressão. Preparação do corpo-de-prova (a); corpos-de-prova prontos (b) e rompimento de um corpo-de-prova (c)  
Crédito: Autores

	<i>B. arrecta</i>	<i>E. crassipes</i>	<i>P. stratiotes</i>	<i>B. arrecta</i> (1.770 g/m <sup>2</sup> )	<i>E. crassipes</i> (1.068 g/m <sup>2</sup> )	<i>P. stratiotes</i> (235 g/m <sup>2</sup> )
<b>METAIS</b>	Concentração (Kg/Kg) x 10 <sup>-3</sup>			Estoque (Kg/m <sup>2</sup> )x 10 <sup>-3</sup>		
Cálcio	35,590	95,775	113,077	62,99	99,41	26,57
Ferro	22,977	39,646	39,656	40,67	41,15	9,32
Magnésio	14,856	26,858	30,127	26,30	27,88	7,08
Manganês	3,419	17,439	21,250	6,05	18,10	4,99
Zinco	0,939	0,945	1,414	1,66	0,98	0,33
Chumbo	0,308	0,381	0,396	0,55	0,40	0,09
Níquel	0,166	0,282	0,318	0,29	0,29	0,07
Cromo	0,350	0,272	0,254	0,62	0,28	0,06
Cobre	0,158	0,247	0,280	0,28	0,26	0,07
Cádmio	0,019	0,020	0,022	0,03	0,02	0,01
<b>NUTRIENTES</b>	Concentração (Kg/Kg) x 10 <sup>-5</sup>			Estoque (Kg/m <sup>2</sup> )x 10 <sup>-3</sup>		
P-TOT	0,00845	0,01028	0,01138	0,15	0,11	0,03
NKT	420	3.900	4.420	7,43	41,65	10,39

Tabela 1 – Concentração e estoque de metais e nutrientes nas macrófitas aquáticas (com indicação da biomassa por unidade de área da superfície do lago, abaixo do título de cada espécie)  
Crédito: Autores

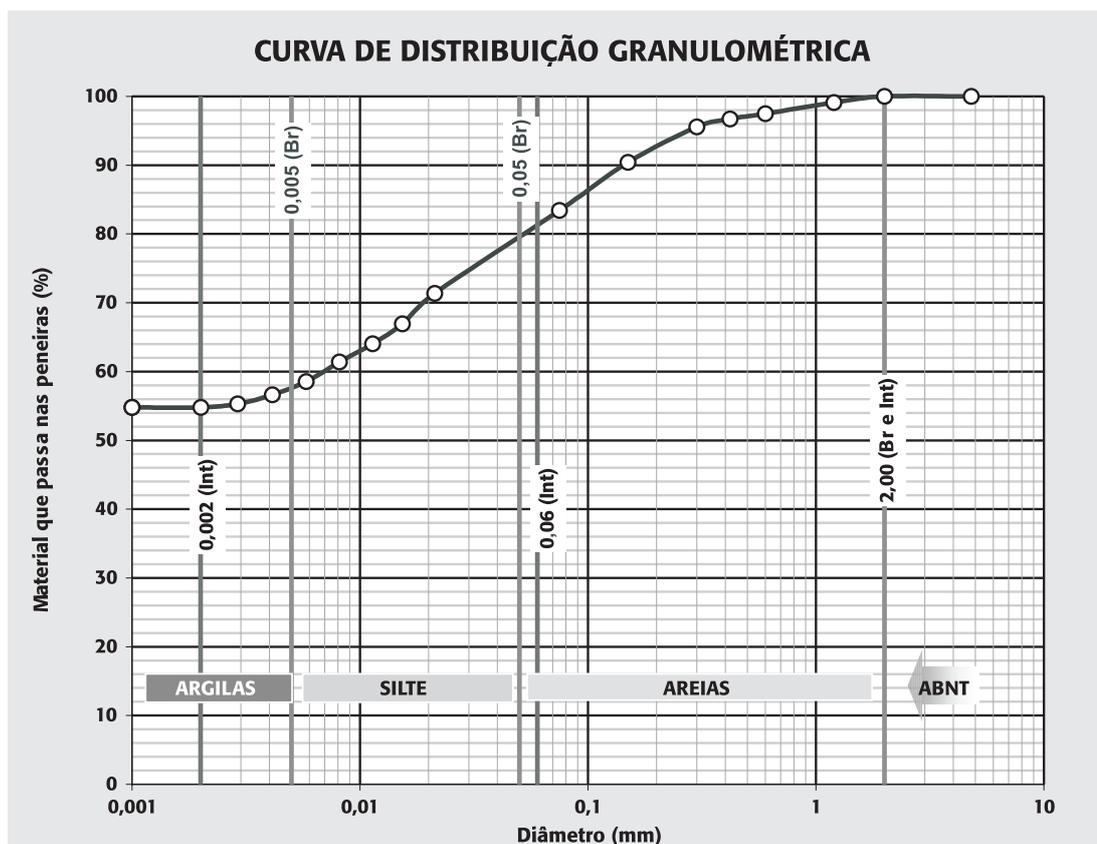


Figura 7 – Curva de distribuição granulométrica do solo  
Crédito: Autores

Tabela 2 – Resumo das características físicas e mecânicas médias dos tijolos, em função da quantidade de biomassa, com indicação da densidade aparente da biomassa picada (abaixo de cada espécie)  
Crédito: Autores

	MISTURA N°	R	1	2	3	4	5
<b><i>B. arrecta</i></b> ( $\gamma_{ap,m} = 670 \text{ N/m}^3$ )	$U_h$ (%)	3,34	5,66	4,65	6,32	5,80	4,71
	Traço em volume (%)	0	10	20	30	40	50
	Traço em massa (%)	0,00	1,07	2,15	3,22	4,29	5,37
	Retração relativa (%)	9,51	7,73	7,67	7,04	6,75	7,23
	$\gamma_{ap,t}$ ( $\times 10^4 \text{ N/m}^3$ )	1,78	1,69	1,58	1,61	1,57	1,51
	$f_c \pm sd$ (MPa)	<b>2,48 ± 0,31</b>	<b>2,65 ± 0,31</b>	<b>2,18 ± 0,17</b>	<b>2,04 ± 0,10</b>	<b>1,97 ± 0,12</b>	<b>1,94 ± 0,08</b>
<b><i>E. crassipes</i></b> ( $\gamma_{ap,m} = 690 \text{ N/m}^3$ )	$U_h$ (%)	3,34	6,29	5,88	5,84	7,08	5,63
	Traço em volume (%)	0	10	20	30	50	70
	Traço em massa (%)	0,00	1,11	2,21	3,32	5,53	7,74
	Retração relativa (%)	9,51	7,77	7,38	8,73	7,93	8,14
	$\gamma_{ap,t}$ ( $\times 10^4 \text{ N/m}^3$ )	1,78	1,67	1,58	1,60	1,51	1,43
	$f_c \pm sd$ (MPa)	<b>2,48 ± 0,31</b>	<b>2,76 ± 0,19</b>	<b>2,58 ± 0,18</b>	<b>2,47 ± 0,17</b>	<b>2,32 ± 0,07</b>	<b>2,14 ± 0,09</b>
<b><i>P. stratiotes</i></b> ( $\gamma_{ap,m} = 1.270 \text{ N/m}^3$ )	$U_h$ (%)	3,34±	4,73	4,27	2,69	7,22	5,90
	Traço em volume (%)	0,00	4,44	8,88	13,33	23,33	33,33
	Traço em massa (%)	0,00	0,90	1,81	2,71	4,75	6,78
	Retração relativa (%)	9,51	8,06	7,79	7,83	8,06	7,81
	$\gamma_{ap,t}$ ( $\times 10^4 \text{ N/m}^3$ )	1,78	1,72	1,63	1,57	1,54	1,39
	$f_c \pm sd$ (MPa)	<b>2,48 ± 0,31</b>	<b>2,68 ± 0,20</b>	<b>2,45 ± 0,15</b>	<b>2,29 ± 0,08</b>	<b>2,01 ± 0,20</b>	<b>1,89 ± 0,09</b>

$\gamma_{ap,m}$  : massa específica aparente da biomassa triturada       $\gamma_{ap,t}$  : massa específica aparente dos tijolos       $f_c \pm sd$  : resistência à compressão média dos tijolos ± desvio padrão

Na Tabela 2 são apresentados os resultados médios de umidade higroscópica ( $U_h$ ); retração relativa; traço em volume (usado na produção dos tijolos); traço em massa (calculado); densidade aparente e de resistência à compressão.

Da observação dos dados da Tabela 2, pode-se afirmar que, de uma forma geral, a influência das três espécies de macrófitas foi semelhante, com variações de amplitude nesta influência, de uma espécie para outra. Por exemplo, a umidade higroscópica teve um acréscimo com a adição da biomassa ao barro. Isto se deu porque a biomassa absorve mais umidade do ar que o solo. Por outro lado, a retração relativa apresentou redução, em todos os casos. A densidade aparente também apresentou redução

significativa, o que indica a obtenção de um material mais leve e com menor sobrecarga nas estruturas da edificação.

Os dados relativos à resistência à compressão estão representados graficamente na Figura 8, na qual é mostrada sua variação em função do traço em massa, para as três espécies e o padrão de referência (R). Da observação das curvas apresentadas nessa figura, pode-se perceber que a adição de biomassa provocou, inicialmente, (até a quantidade de 1,0%) um acréscimo de resistência à compressão, comparada com o padrão de referência. Isso se deve ao fato de as fibras contribuírem com a redução da retração porque absorvem parte da água, o que também resulta em redução das fissuras, devido ao ganho de

coesividade do barro, de acordo com Minke (1995).

Nota-se que a *Eichhornia crassipes* é sensivelmente a mais eficiente, do ponto de vista da resistência à compressão. Por exemplo, é possível acrescentar-se próximo de 3,3% de biomassa de *E. crassipes* ao barro e manter-se o mesmo nível de resistência do padrão de referência (2,48 MPa). Para a mesma situação só é possível utilizar-se cerca da metade da biomassa de *P. stratiotes* (1,7%) ou de *B. arrecta* (1,5%).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pelos resultados apresentados e comentados, e baseando-se também em uma avaliação visual e tátil dos

## RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO x TRAÇO EM MASSA

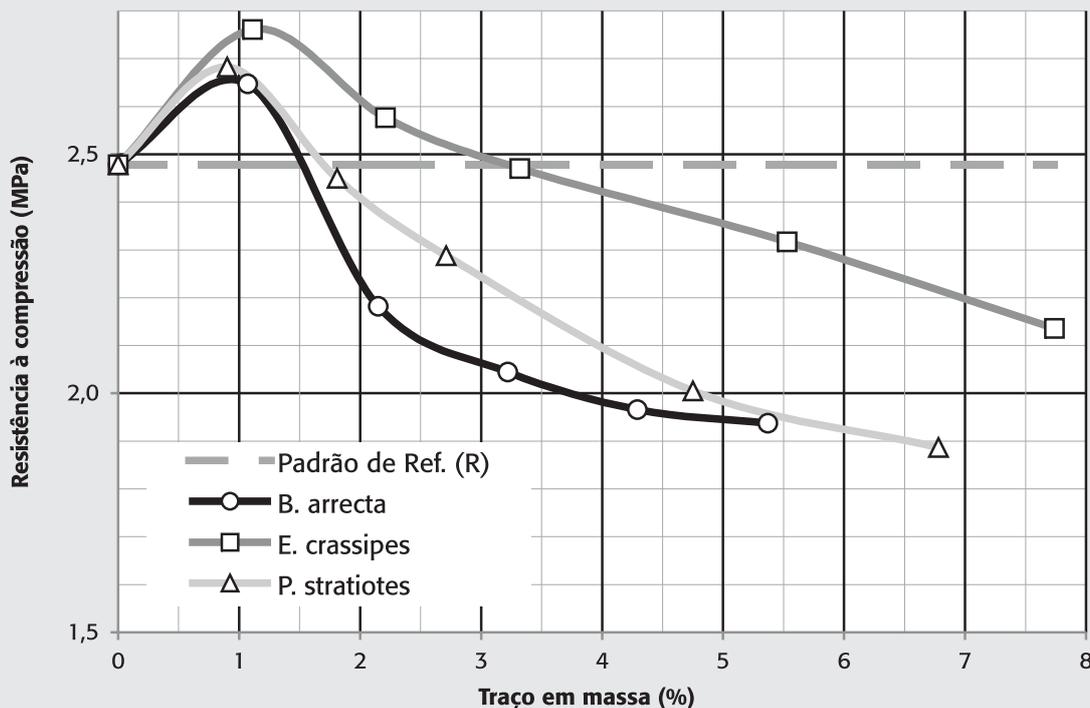


Figura 8 – Resistência à compressão em função do traço em massa  
Crédito: Autores

tijolos, pode-se concluir que a biomassa de macrófitas aquáticas se mostrou perfeitamente viável e adequada à proposta deste trabalho, inclusive, melhorando a trabalhabilidade do barro. Neste aspecto, mesmo a *Brachiaria arrecta*, que aparentemente se mostrou menos adequada pela “rebelião” dos fragmentos, produzindo tijolos com acabamento superficial menos agradável, tem suas vantagens. Essa superfície, menos lisa, pode favorecer a aderência da argamassa de revestimento das paredes, ou seja, a proteção mecânica dos tijolos, contra a ação do intemperismo.

Para se decidir sobre qual a espécie de macrófita mais indicada e em qual quantidade utilizá-la, deve-se levar em conta a situação real do reservatório no

momento, em função da sazonalidade do aporte e concentração de nutrientes, assim como a finalidade de uso dos tijolos (se apenas para vedação ou autoportante). De uma forma geral, analisando-se as curvas apresentadas na Figura 8, pode-se concluir que é possível inserir uma quantidade considerável de biomassa aos tijolos, sem que haja grande perda de resistência mecânica. Por exemplo, pode-se utilizar até 7,7%, em massa (ou 70% em volume) de *Eicchornia crassipes* e obter-se resistência à compressão superior a 2,1 MPa, valor razoável e bem superior aos encontrados por Faria (2002) para os tijolos cerâmicos alveolares brasileiros ( $f_{c, \text{médio}} = 0,59 \pm 0,46$  MPa). Estes tijolos consomem muita energia no processo

produtivo, pois são queimados a altas temperaturas, além de provocarem significativa degradação ambiental da paisagem, com a extração de argila em grande escala, utilizada como matéria-prima.

No que diz respeito à resistência à compressão dos tijolos, na decisão pelo traço e espécie a ser utilizada, devem ser consideradas suas condições de utilização. Se os tijolos forem utilizados para produção de alvenaria autoportante (paredes com finalidade de vedação e estrutural, simultaneamente), deverá ser priorizada a resistência. Se o objetivo for a produção de alvenaria apenas de vedação, com os tijolos associados, por exemplo, a uma estrutura de madeira, a resistência não é prioritária, mas sim a

menor massa específica, com o objetivo de reduzir-se os carregamentos na estrutura. Nesse caso, quanto mais biomassa for utilizada, melhor, pois haverá redução neste parâmetro, como pode ser observado na Tabela 2, além de ser consumida uma quantidade maior de biomassa, o que resulta na retirada ("limpeza") de uma maior área dos estandes que cobrem o lago.

Quanto aos resultados dos ensaios de determinação da resistência à compressão, da observação das curvas apresentadas na Figura 8, pode-se perceber que a adição de biomassa provocou, inicialmente, (até cerca de 1% em massa) um acréscimo desse parâmetro, indistintamente para as três espécies de macrófitas, quando comparado com o padrão de referência (R). A partir deste ponto, a resistência à compressão apresentou uma tendência de redução, evidenciando as diferenças entre as respostas das diferentes espécies. Nesse caso, a *Eichhornia crassipes* foi a que apresentou melhor desempenho, ou seja, é possível acrescentar próximo de 3,3 % (em massa) de sua biomassa ao barro e ainda se manter o mesmo nível de resistência apresentado pelo padrão de referência (2,48 MPa). Para a mesma situação, só é possível utilizar cerca de metade desta biomassa de *Pistia stratiotes* (1,7%) ou de *Brachiaria arrecta* (1,5%).

Se a prioridade não for a resistência do tijolo, é possível inserir uma quantidade consideravelmente maior de biomassa, sem que haja grande redução desse parâmetro. Por exemplo, pode-se utilizar até 7,74%, em massa (ou 70% em volume), de biomassa de *Eichhornia crassipes* e mesmo assim se obter tijolos com resistência à compressão de 2,14 MPa, ou 6,78% (33,33%) de *Pistia stratiotes* para 1,89 MPa e 5,37% (50) de *Brachiaria arrecta* para 1,94 MPa.

Do ponto de vista da retirada de nutrientes, a *Eichhornia crassipes* também se mostrou a mais eficiente, no caso do nitrogênio. Já para o fósforo, é superada pela *B. arrecta* (Tabela 1). Dos 10 metais analisados, a *E. crassipes* também é a mais eficiente na retirada dos quatro mais expressivos (ferro, cálcio, manganês e magnésio, de acordo com a Tabela 1). A estabilidade e a eficiência desse encapsulamento de nutrientes e metais pelos tijolos deverá ser analisada em trabalhos futuros, nos quais deverão ser construídas paredes com esse adobe e as mesmas deverão ser submetidas a ensaios de intemperismo acelerado, para avaliação da durabilidade e análise química do material lixiviado.

Outro fator que deve ser levado em consideração na tomada de decisão é a biomassa por unidade de área da superfície do estande (Bps). Por exemplo, se um dos objetivos da produção dos tijolos for a limpeza da lâmina d'água, com a remoção da maior área possível de estandes, a espécie mais indicada é a *Pistia stratiotes* que, por apresentar menor Bps (235 g/m<sup>2</sup>, da Tabela 1), corresponderá a uma área maior de cobertura vegetal, considerando-se uma mesma quantidade de biomassa seca e triturada.

Como comentário final, cabe salientar que o adobe, apesar de ser um dos mais antigos materiais de construção manufaturado, ainda se mostra atual e perfeitamente viável como material de construção totalmente ecológico, uma preocupação imperativa neste novo milênio, no qual se busca a sustentabilidade do planeta, em todos os níveis da atuação humana. Sua utilização pode ser inserida em programas de manejo integrado de lagos eutrofizados, ou em vias de eutrofização, como alternativa de

retirada e encapsulamento (ou solidificação/estabilização) de nutrientes e metais indesejados no ecossistema, além de constituir-se como alternativa de autoconstrução de habitações de interesse social (baixo custo), cujo déficit é preocupante no Brasil.

## BIBLIOGRAFIA

- AGNELLI, N. *Comportamento de um solo colapsível inundado com líquidos de diferentes composições químicas*. 1997. 205p. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.
- ANDERSEN, J. M. An ignition method for determination of total phosphorus in lake sediments. *Water Research*, v. 10, n. 4, p. 329-331, 1976.
- CAPUTO, H. P. *Mecânica dos solos e suas aplicações*. 3. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1978. v.1, 242p.
- ESTEVEZ, F. A. *Fundamentos de limnologia*. Rio de Janeiro: Interciência. 1988.
- FABBRI, G. T. P. *Caracterização da fração fina de solos tropicais através da adsorção de azul de metileno*. 1994. 101p. Tese (Doutorado em Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 1994.
- FARIA, O. B. *Terra crua: avaliação do teor de argila no solo para a produção de tijolos de adobe*. Bauru, 1998. 53p. (Relatório da pesquisa trienal, apresentado à CPRT, UNESP-Campus de Bauru).
- \_\_\_\_\_. *Utilização de macrófitas aquáticas na produção de adobe: Um estudo de caso no reservatório de Salto Grande (Americana-SP)*. 2002. 200p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2002.
- FATHY, H. *Architecture for the poor: An experiment in rural Egypt*. Chicago: University of Chicago, 1976.
- HOYER, M. V.; CANFIELD JR, D. E.; (Ed). *Aquatic plant: Management in lakes and*

reservoirs. [livro online] Washington: North American Lake Management Society and Aquatic Plant Management Society; 1997 Nov. Disponível em: <<http://aquat1.ifas.edu/photos.html>>. Acesso em: 03 de jul. de 1998.

LOPES-FERREIRA, C. *Estudo de uma área alagada do rio Atibaia visando a elaboração de proposta de manejo para melhoria da qualidade da água no reservatório de Salto Grande (Americana-SP)*. 2000. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

MEYER, M. *Avaliação da biomassa de Paspalum repens Bergius submetida à flutuação do nível de água na represa de Barra Bonita (zona de desembocadura do Rio Capivara-SP)*. 1996. 79p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 1996.

MINKE, G. *Lehmbau-handbuch: Der baustoff lehm und seine anwendung*. Staufen bei Freiburg: Ökobuch; 1995.

MORAES, A. R. *Estimativa do estoque de elementos químicos em macrófitas aquáticas no Reservatório de Salto Grande (Americana-SP)*. 1998. 90p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 1998.

NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. *Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos*. São Paulo: Vilibor, 1995. 240p.

PETRACCO, P. *Determinação da biomassa e estoque de Polygonum spectabile Mart. e Paspalum repens Berg. da represa de Barra Bonita-SP*. 108p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 1995.

STANDARD METHODS. *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 13<sup>th</sup> edition. Nova York, 1971. 874p.

## GERENCIAMENTO DE SOLUÇÃO DE FORMOL EM LABORATÓRIOS DE ANATOMIA

**Sonia Valle W. Borges de Oliveira**

Doutoranda na FEA-RP-USP.  
soniaww@terra.com.br

**Marcelo Zaiat**

Professor Doutor do Departamento de Hidráulica e  
Saneamento – EESC-USP.

### RESUMO

O formaldeído é de grande importância na fixação de tecidos para aulas de anatomia, patologia e estudos tanatológicos. A solução mais utilizada para a conservação de cadáveres e peças constitui-se de formol em água de torneira, diluído de 8 a 10%. Devido às suas características tóxicas aos seres vivos e ao meio ambiente em geral, é necessário que seja realizado seu gerenciamento. Aplicando-se as três metas básicas da gestão de resíduos, “redução, reutilização e reciclagem”, pode-se alcançar uma otimização do emprego de formaldeído. A redução pode ser conseguida pelo controle de qualidade da solução ou de possível redistribuição de peças nos tanques. A reutilização e a reciclagem, práticas pouco difundidas, seriam possíveis com a recuperação de solução de escoamento, com posterior filtração, clarificação, análise para determinação de formaldeído e ajuste da concentração. As soluções consideradas inservíveis podem ser tratadas em sistema local, por meio de reator anaeróbico horizontal de leito fixo (RAHLF), que demonstrou eficiência de até 99% na degradação de formaldeído. Portanto, algumas atitudes simples e de custo relativamente baixo podem trazer economia de recursos financeiros, além de grandes contribuições para o meio ambiente.

### ABSTRACT

Formaldehyde is of great importance for the fixation of cadavers for anatomy classes, pathology and tanatology studies. The most common solution used for the conservation of corpses and pieces is constituted of formol in tap water, diluted by 8 to 10%. Due to their poisonous characteristics to the alive beings and the environment in general, it is necessary that its management is accomplished. Applying the three basic goals of the management of residues, “reduction, reuse and recycling”, it can be reached an optimization of the formaldehyde utilization. The reduction can be gotten through the quality control of the solution or with a redistribution of pieces in the tanks, when possible. The reuse and the recycling, little spread practices, would be possible with the recovery of drainage solution, with subsequent filtration, clarification, analysis for formaldehyde determination and adjustment of the concentration. The solutions considered useless can be treated in local system, through horizontal anaerobic reactor of fixed bed, which demonstrated efficiency of up to 99% in the formaldehyde degradation. Therefore, some simple attitudes, with relatively low cost, can bring economy of financial resources, besides great contributions for the environment.

## INTRODUÇÃO

Muitos problemas ambientais são encontrados em atividades não necessariamente industriais, como é o caso de universidades e faculdades. O campus da USP de Ribeirão Preto, com sua grande produção científica e atividades relacionadas à saúde, acaba sendo também um grande gerador de resíduos.

Campos e Daniel (1993) elaboraram um projeto de estação de tratamento de águas residuárias para o campus de Ribeirão Preto, que ainda não pôde ser construída. Por outro lado, o município já conta com duas estações de tratamento, as quais poderão receber os efluentes do campus da USP, mediante cobrança de taxa.

Como subsídio aos levantamentos de dados para uma futura estação no campus de Ribeirão Preto, o presente trabalho procurou determinar a influência que os efluentes de laboratórios de anatomia, contendo formaldeído (HCHO), poderão ter em um processo anaeróbio de tratamento, e outras providências para que seja feito um melhor gerenciamento dessa solução. Optou-se por esse efluente, tendo em vista o escasso desenvolvimento de pesquisas sobre o assunto, ao contrário da maior parte dos demais efluentes do campus, como o próprio esgoto sanitário ou outros contaminados por produtos tóxicos e patológicos.

O campus da USP de Ribeirão Preto possui uma área total de 240 alqueires, com 122.000 m<sup>2</sup> de área construída (PCARP, 1992). Sua população consiste em um somatório de usuários dos

serviços prestados à comunidade, dos residentes das 124 casas para funcionários e docentes (cerca de 528 pessoas) e dos alojamentos para estudantes (247 alunos), e dos funcionários, docentes e alunos diretamente ligados à USP (próximo de 6.168). Tanto o campus como o Hospital das Clínicas (HC) são abastecidos por poços artesianos.

A rede de esgotos é razoavelmente simples, descendo por gravidade até o interceptor, unindo-se à rede independente do HC e, posteriormente, ao emissário do sistema municipal. Todos os prédios estão ligados a essa rede por ramais secundários. As águas pluviais têm rede própria ou correm pela superfície.

No campus estão instaladas seis faculdades, um centro de informática, a prefeitura e suas repartições, abriga ainda o Centro de Medicina Legal – CEMEL, o Hospital das Clínicas, o Hemocentro, a Biblioteca Central, agências bancárias, correio, casas de apoio a pacientes em recuperação, Creche da Carochinha, Escolinha de Artes, além do Restaurante Central e oito cantinas.

Devido à predominância da área biológica, o campus possui muitos laboratórios nos quais há o manuseio diário de peças fixadas em formol. Também são utilizados inúmeros produtos químicos, patológicos, tóxicos ou até radioativos, gerados em laboratórios de pesquisa, biotérios, áreas de saúde, áreas técnicas e operacionais.

O formaldeído é de grande importância para a fixação de tecidos, tanto para trabalhos e aulas de anatomia e patologia quanto para estudos

tanatológicos. Ele impede a proliferação de microrganismos e, portanto, a putrefação, além de impedir o rompimento das paredes dos lisossomos, o que provocaria a autólise da célula pelas enzimas ali contidas (JUNQUEIRA; CARNEIRO, 1995). A solução mais utilizada para a conservação de cadáveres e peças de anatomia constitui-se de formaldeído em água de torneira, diluído de 8 a 10%. A solução a 10% resulta em uma concentração de aproximadamente, 41 g/L de formaldeído e uma Demanda Química de Oxigênio (DQO), de 62 g/L.

O procedimento para preservação de um corpo, de preferência sem lesões e de morte recente, inicia-se com a injeção de solução de formol em água, de 15% a 25%, nas artérias femurais e nas carótidas, por meio de uma cânula em T e, posteriormente, nas grandes cavidades, na cavidade craniana e nas massas musculares (CARVALHO, 1950). Dessa forma, todo o sistema de irrigação sanguínea do corpo receberá a solução, não sendo necessária a retirada de sangue nem de material interior do aparelho digestivo. Com uma sutura no corte da injeção, o corpo será armazenado em tanques com a solução de 8% a 10%, nos quais deverá permanecer por cerca de um ano antes de ser utilizado nas aulas.

Embora muitos estudos demonstrem a toxicidade do formaldeído para os seres humanos, bem como sua agressividade ao meio ambiente e custo relativamente alto, grande parte dos laboratórios de anatomia utilizam-no, por ser uma técnica tradicional com resultados satisfatórios. Assim, sua substituição tende a ser difícil, sendo

Figura 1 – Sala de Cubas do Laboratório Multidisciplinar da FMRP  
Crédito: Sonia V. W. Borges de Oliveira



Figura 2 – Prateleiras com peças anatômicas na Sala de Cubas da FMRP  
Crédito: Sonia V. W. Borges de Oliveira



Figura 3 – Caixas com peças anatômicas no Departamento de Patologia da FMRP  
Crédito: Sonia V. W. Borges de Oliveira



importante o gerenciamento de sua utilização e descarte.

A Sala de Cubas (Figura 1) do Laboratório Multidisciplinar da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto – FMRP, projetada em 1990, possui 14 cubas medindo 2,00 m x 1,10 m, com 0,65 m de profundidade, sendo 12 para depósito e duas para lavagem das peças. Nas regiões centrais da sala estão as prateleiras de alvenaria para guardar peças menores em caixas de vidro (Figura 2). O Departamento de Patologia guarda suas peças em caixas de fibrocimento pintadas com tinta epóxi, além de caixas e frascos de vidro (Figura 3). Na Faculdade de Odontologia (FORP), as peças são menores, geralmente referentes à face, estão armazenadas em caixas e frascos de vidro. No CEMEL, algumas peças de ensino da medicina legal também se encontram fixadas em formol, em tanques plásticos.

No preparo das peças para as aulas há o constante descarte de formaldeído no esgoto. É preciso que as peças sejam lavadas durante horas para que o excesso de formaldeído seja retirado, minimizando o odor para seu manuseio. A fim de restaurar-se a cor das peças, para fotografias ou demonstração, deve-se banhá-las em álcool (BAKER, 1969).

O escoamento total das cubas da FMRP é feito somente a cada dois anos, e dificilmente é escoada mais de uma cuba na mesma época. Para escoá-las, foram instalados registros de fecho rápido, de PVC, de modo a não haver corrosão. Durante o escoamento, deve-se abrir os registros de água limpa instalados para provocar a diluição do efluente das cubas, único dispositivo para minimizar sua toxicidade no meio ambiente. Nos demais departamentos não há diluição programada durante o descarte de recipientes ou tanques.

Embora haja muito rigor no preparo e manuseio das peças, não há monitoramento da qualidade da solução de formaldeído através do tempo. Com a abertura das tampas e retirada dos corpos, o formaldeído se volatiliza. Também há diluição do líquido quando são devolvidas as peças lavadas com água. Até que a cuba seja totalmente escoada, ela vai apenas sendo completada com a quantidade necessária de solução. Segundo os técnicos dos laboratórios, a indicação de que a solução não está mais com a concentração ideal de formaldeído é o aparecimento de fungos na superfície do líquido. Embora seja uma maneira indireta de indicação, é o único meio usado nos laboratórios para se concluir que a solução não está adequada. As peças atacadas por fungos devem ser descartadas por perderem a qualidade.

Como se pode ver, o efluente desses laboratórios não têm uma vazão constante e tampouco é possível se saber, com precisão, a quantidade de formaldeído presente nas águas residuárias ao longo de um dado período de tempo.

O presente estudo pretende trazer subsídios para o gerenciamento do uso de solução de formaldeído para fixação de peças de anatomia, com vista a minimizar os impactos ambientais causados por essa substância tóxica.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Caracterização da solução de formol

Para a caracterização da solução de fixação de cadáveres foi utilizada amostra de tanque contendo corações humanos em solução de formol e água, preparado por volta de oito meses, do Departamento de Patologia da FMRP. A amostra foi coletada do líquido em

repouso, cerca de 20 cm abaixo da superfície, a fim de não se alcançar resíduo do fundo. Segundo o técnico do laboratório, a concentração inicial foi de 10% em volume de formol, em água de torneira.

Visando à determinação de formaldeído foi utilizado o método colorimétrico de Bailey e Rankin (1971). No procedimento analítico sugerido pelo método, adicionam-se, em frascos volumétricos de 100 ml, os reagentes na ordem a seguir: 10,0 ml da solução tampão de fosfato dissódico-ácido cítrico (Solução de Mcllvaine) para pH de 5,6 (ASSUMPÇÃO; MORITA, 1968); 1,0 ml da solução a 1% de dicloreto de p-fenileno-diamina ( $C_6H_8N_2 \cdot 2HCl$ ); e 5,0 ml de peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$  a 30%), completando-se com a amostra até o volume de 100 ml. Após a dosagem dos reagentes, a solução foi transferida para frascos de vidro incolor, sendo tampados com rolha de borracha, permanecendo em repouso por 20 minutos após a adição de  $H_2O_2$ , para se fazer a leitura. Todos os tempos foram cronometrados, pois a reação continua após os 20 min, produzindo resultados irreais. Conforme indicação do método, a curva de calibração foi feita para as concentrações entre 0,50 e 2,50 mg/L de formaldeído, em duplicata. Com finalidade da leitura das amostras foi utilizado espectrofotômetro DR 4000 - HACH, com cubeta de quartzo de 1,0 cm. O comprimento de onda utilizado foi de 420 nm, encontrado durante a varredura, enquanto o sugerido pelo método é de 485 nm. Os brancos foram preparados com água destilada, e os três reagentes, com o mesmo tempo de 20 min para a leitura.

As análises de DQO, sólidos totais (ST), sólidos voláteis totais (SVT), sólidos suspensos totais (SST) e sólidos suspensos voláteis (SSV) foram

realizadas segundo métodos descritos pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1998).

### Ensaio de degradação em reator anaeróbio

Os ensaios de degradação de solução de formol (OLIVEIRA, 2001) foram feitos em Reator Anaeróbio Horizontal de Leito Fixo – RAHLF, confeccionado em vidro boro silicato, em escala de bancada, mantido a 35 °C. O comprimento (L) do reator é 100 cm, com diâmetro interno (D) de 5,0 cm, perfazendo uma relação comprimento por diâmetro (L/D) de aproximadamente 20. O volume total aproximado é de 2 litros. Espuma de poliuretano, em cubos de 5 mm de aresta e com densidade aparente de 23 kg/m<sup>3</sup>, foi utilizada como material suporte para crescimento dos microrganismos anaeróbios.

Foi utilizado um substrato sintético com concentrações crescentes de formaldeído, água de torneira e meio Angelidaki (ANGELIDAKI et al, 1990), para o suprimento de sais, metais e vitaminas. As concentrações médias de formaldeído estudadas foram de 26,2, 85,3, 175,9, 394,0, 597,7, 808,0, 989,2, 1.158,6 e 1.416,8 mg/L. Tais concentrações têm base na bibliografia para possibilitar comparações entre os resultados.

### Estudos cinéticos

Para a avaliação do comportamento cinético da degradação do formaldeído, pela via anaeróbia, foram utilizados os perfis espaciais de concentração do tóxico obtidos para cada concentração afluyente testada (OLIVEIRA, 2001). Para cada perfil obtido, foi ajustada uma função de concentração de formaldeído em meio líquido, em função da relação adimensional entre comprimento e diâmetro do reator (L/D). A partir dessa

Tabela 1:  
Caracterização  
do líquido de  
preservação de  
cadáveres da  
FMRP  
Fonte: Sonia V.  
W. Borges de  
Oliveira

Parâmetro	Unidade	Valor
Formaldeído	mg/L	32.362,6
DQO Bruta	mg/L	50.783,0
DQO Filtrada	mg/L	48.400,0
pH	mg/L	5,1
Sólidos Totais	mg/L	11.220,0
Sólidos Voláteis Totais	mg/L	7840,0
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	57,2
Sólidos Suspensos Voláteis	mg/L	45,2

função ajustada, foi possível a obtenção das velocidades de remoção de formaldeído pelo balanço material no reator, considerando modelo de reator tubular ideal, conforme proposto por Nardi et al (1999).

Esse método foi adaptado do original proposto por Zaiat e Foresti (1997), utilizando método diferencial (SILVEIRA, 1996) e desenvolvido, especificamente, para estimativa dos parâmetros cinéticos em reatores de leito fixo.

## APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### Caracterização de solução de fixação de peças anatômicas

Devido aos danos que o formaldeído pode causar ao meio ambiente e a um processo biológico de tratamento de águas residuárias, é importante a caracterização da solução utilizada nos laboratórios para a previsão da diluição necessária.

A Tabela 1 apresenta os resultados das análises efetuadas em solução de formol de laboratório da FMRP, após cerca de 24 horas da coleta, mantendo-se o recipiente em geladeira de isopor com gelo.

A relação DQO/formaldeído foi de 1,56, próximo ao encontrado nos estudos com o RAHLF para soluções de formaldeído em água (OLIVEIRA, 2001).

Pode-se observar que houve volatilização e/ou diluição dessa solução durante os oito meses de preparo, uma vez que a concentração de formaldeído encontrada foi da ordem de 32,4 g/L, ou seja, em torno de 8%.

Segundo Baker (1969), a solução não poderá ser ácida para não deixar um precipitado pardo nos tecidos, especialmente quando são armazenados por longo tempo. No caso estudado, o pH da solução foi de 5,1, o que indica que seria necessário um tamponamento a fim de atingir-se a neutralidade. Baker (1969) sugere que seja utilizada uma solução tampão com 4 g de monohidrato ácido de fosfato sódico e 6,5 g de fosfato dissódico anidro por litro.

### Minimização dos impactos causados pelo descarte de soluções de formaldeído

Aplicando-se as três metas básicas da gestão de resíduos em geral, "redução, reutilização e reciclagem", é possível minimizar os impactos causados no meio ambiente pelo descarte de solução de formol.

Um dos passos iniciais para o gerenciamento dessa solução é a avaliação criteriosa da qualidade e

concentração mínima de formaldeído nos tanques e recipientes. Essa medida poderia reduzir o descarte antecipado ou desnecessário da solução. Técnicas como filtração e clarificação das soluções consideradas impróprias podem recuperar a qualidade da solução, levando à sua reutilização. O descarte deveria ser restrito a soluções realmente inservíveis. Sendo assim, o volume de formaldeído lançado seria praticamente o das águas de lavagem de peças utilizadas em aulas.

O descarte de formaldeído no meio ambiente deverá ser feito em concentrações muito baixas, para minimizar seus efeitos nocivos. No caso dessa substância atingir um sistema de tratamento biológico de águas residuárias, poderá comprometer a biomassa por seu poder bactericida. Embora ainda não se tenha um consenso sobre a concentração de formaldeído ideal para sistemas de tratamento aeróbios e anaeróbios, em nenhum dos estudos publicados foi obtido sucesso com concentrações superiores a 3 g/L. Na maioria dos casos, os sistemas toleraram concentrações inferiores a 1 g/L. Pode-se concluir que será necessária uma diluição de cerca de 50 vezes, no caso de escoamento de tanques com concentração em torno de 10%.

No sistema atual de diluição, durante o escoamento das cubas do Laboratório Multidisciplinar, é utilizada água potável, com diluição de 1:1. Em quase todos os laboratórios do campus há destiladores que também utilizam água potável para resfriamento. O aproveitamento dessa água de resfriamento para a diluição dos efluentes com formaldeído poderia minimizar esse desperdício. Para isso, seria necessária a instalação de uma rede especial de captação dessa água e de tanques a fim de ser feita a diluição dos efluentes com formaldeído.

## Proposta para instalação de RAHLF visando ao tratamento de solução de formaldeído

Como já foi comentado, o descarte de efluentes com formaldeído no campus não obedece a nenhum critério específico, causando concentrações variáveis ao longo do dia, da semana e do ano. No período de férias escolares, não são lavadas peças para o preparo de aulas, e muitos laboratórios diminuem sua rotina de trabalho. Esses fatores influenciam muito a caracterização das vazões desse efluente.

Nos estudos com o RAHLF, nos quais se empregou o formaldeído como fonte única de carbono, a concentração média máxima de formaldeído aplicada foi de 1.416,8 mg/L, não havendo queda na produção de metano nem na eficiência de remoção de formaldeído e de DQO (OLIVEIRA, 2001).

Em princípio, algumas vantagens podem ser vistas em se tratar os efluentes com formaldeído do campus em uma

estação central: a diluição será feita pelo restante do esgoto do campus; muitos nutrientes serão fornecidos por este esgoto e o trabalho de monitoramento será reduzido a uma única estação. No entanto, devido à instabilidade da concentração de formaldeído lançada, o sistema corre o risco de receber uma sobrecarga que poderá prejudicar o tratamento dos demais efluentes. Ao mesmo tempo, os estudos sugerem que águas residuárias complexas diminuem a concentração máxima de formaldeído assimilável pelo sistema.

Sendo assim, a instalação de um sistema de tratamento específico para os efluentes contendo formaldeído torna-se uma alternativa justificável. Com os resultados bastante satisfatórios de degradação de formaldeído no RAHLF (OLIVEIRA, 2001), esse reator poderia ser utilizado após um tanque de diluição com água de resfriamento de destiladores, dos próprios laboratórios

da faculdade. Os nutrientes necessários e a solução tampão deverão ser fornecidos por um dispositivo automático. Por se tratar de substrato tóxico, o sistema poderá estar sujeito a instabilidades. Porém, com uma fonte única de carbono e controle dos demais parâmetros, a identificação e a solução dos problemas poderá ser menos complexa. A Figura 4 simboliza esquematicamente um sistema para tratamento de efluente de cuba de cadáveres fixados em formol.

A seguir, é analisada uma situação crítica do escoamento de uma cuba com 2 m<sup>3</sup> de fluido, com concentração aproximada de 41 g/L de formaldeído (solução a 10% de HCHO). Devido ao dispositivo de diluição 1:1 com água de torneira, instalado ao lado das cubas, a concentração a ser lançada ao tanque de equalização será de aproximadamente 20,5 g/L de formaldeído.

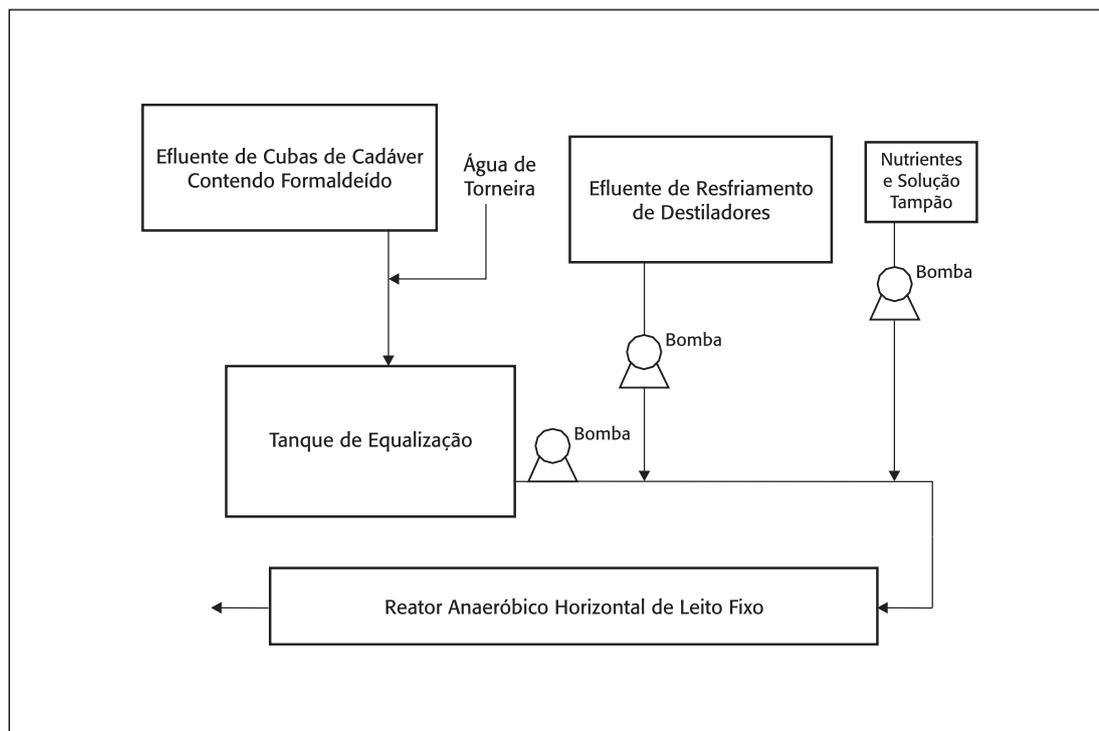


Figura 4 – Esquema de sistema de tratamento de efluente à base de formol com RAHLF  
Créditos: Autores

A diluição final do efluente do tanque de equalização será feita empregando-se água de resfriamento de destiladores (diluição 1:20), para se atingir a concentração de aproximadamente 1.025 mg/L de formaldeído. Esse efluente, previamente diluído, somado aos nutrientes e à solução tampão, será o afluente do RAHLF. Considerando-se que o conteúdo de uma cuba despejada deva ser tratado em um mês, a vazão será de 80 m<sup>3</sup>/mês (diluição 1:20) ou 2,7 m<sup>3</sup>/dia, ou ainda, 111,1 L/h. Deve ser considerado também que, além do volume da cuba haverá também o volume diário de água de lavagem do chão da sala, a ser tratado. Essa situação pode ser considerada como condição de pico. O reator operará o ano todo continuamente, tratando efluente dos tanques de cadáveres, bem como a água de lavagem da sala de cubas.

Dois critérios foram utilizados para se projetar o RAHLF no tratamento das águas contendo formaldeído.

*Critério I: Fixando o Tempo de Detenção Hidráulica (TDH) de acordo com o ótimo nos experimentos em bancada*

Fixando-se o TDH em oito horas, com base no volume líquido do sistema, o reator deverá ter um volume líquido de escoamento de, aproximadamente, 900 litros. Isso implica em um volume total de reator de 2.250 litros, considerando a porosidade do leito de espuma de 40%.

Estipulando a mesma velocidade superficial de líquido de 0,1 cm/s (360 cm/h), conforme adotado por Zaiat et al (2000), no projeto de unidade de RAHLF piloto, a área seccional total do tubo deverá ser 771,5 cm<sup>2</sup> e, conseqüentemente, o diâmetro do tubo deverá ser de, aproximadamente, 30 cm.

Dessa forma, o reator deveria ter comprimento total de, aproximadamente,

32 metros, podendo ser construído em dez módulos de, aproximadamente, três metros para facilitar a operação e manutenção.

A eficiência esperada nesse sistema é a mesma obtida nos ensaios em laboratório, visando à concentração de projeto (OLIVEIRA, 2001).

A adoção de velocidade superficial maior que a avaliada em laboratório, provavelmente, superdimensiona a unidade, pois se espera menor resistência à transferência de massa na fase líquida à medida que se aumenta a velocidade superficial. Em conseqüência, a velocidade global de conversão seria maior quanto maior a velocidade superficial. Nesse caso, a adoção de velocidade superficial de líquido alta representa critério de segurança para o projeto.

*Critério II: Utilizando os parâmetros cinéticos*

O reator também pode ser projetado utilizando-se o modelo cinético ajustado com as constantes determinadas, considerando o reator como tubular ideal (NARDI et al, 1999). Os parâmetros cinéticos utilizados são aparentes e valem apenas para as condições operacionais e ambientais do experimento em bancada. No entanto, como exercício de aplicação, o modelo cinético obtido pode servir como uma primeira aproximação ao projeto do reator.

O balanço de massa em reator tubular ideal resulta em:

$$TDH = - \int_{C_{F_0}}^{C_F} \frac{dC_F}{(R_{obs})} \quad (1)$$

$C_{F_0}$  é a concentração afluente de formaldeído

Sendo:

$$R_{obs} = R_{max}^{app} \frac{C_F}{K_S^{app} + C_F} \quad (2)$$

Para o caso estudado:

$$R_{max}^{app} = 187,5 \text{ mg HCHO/L.h (velocidade máxima de consumo de formaldeído)}$$

$$K_S^{app} = 242,8 \text{ mg HCHO/L}$$

Integrando a expressão de balanço de massa no reator, chega-se a:

$$TDH = \frac{K_S^{app}}{R_{max}^{app}} \ln \left( \frac{C_{F_0}}{C_F} \right) + \frac{1}{R_{max}^{app}} (C_{F_0} - C_F) \quad (3)$$

Considerando a concentração afluente de formaldeído ( $C_{F_0}$  igual a 1.025 mg/L após diluição, e estipulando uma eficiência de 99% ao tratamento, isto é,  $C_F$  igual a 5 mg/L, aproximadamente, o TDH obtido que deve ser aplicado ao reator deverá ser de 12,3 horas. Considerando a vazão de 111,1 L/h, o volume do reator total deveria ser de 3.424,7 litros para porosidade de leito de 40%.

Dessa forma, o reator projetado pelo critério cinético é cerca de 50% maior que o reator projetado, utilizando como critério o TDH experimental em escala de bancada.

## CONCLUSÕES

Com base nos estudos de degradação de solução de formol realizados em reator anaeróbio horizontal de leito fixo (OLIVEIRA, 2001), e em técnicas de filtragem e clarificação, é possível a realização de gerenciamento de solução de fixação de cadáveres em laboratórios de anatomia.

O primeiro passo para o gerenciamento é a redução do consumo de formol, pelo controle de qualidade da solução, fazendo com que não haja criação de fungos ou outros microrganismos. Para isso, devem ser realizadas análises de rotina em tanques

de pouco manuseio, e análises especiais após grandes diluições em tanques de constante trabalho. Ao obter-se a concentração de formaldeído da solução, é possível restabelecer a concentração ideal (8 a 10%), adicionando-se o volume necessário de formol. A redistribuição de peças nos tanques e recipientes também pode levar à redução do consumo de formol.

O segundo passo é a reutilização da solução de formaldeído, com técnicas de filtragem e clarificação, para a retirada de impurezas e outras substâncias que podem danificar as peças. Também é necessária a posterior correção da concentração de formaldeído.

Para as águas de lavagem de peças e as soluções consideradas inservíveis, poderá ser feito tratamento em reator anaeróbio, conforme descrito.

Esses procedimentos podem levar a uma redução significativa da utilização do formaldeído, bem como dos impactos que pode causar no meio ambiente e em estações biológicas de tratamento de águas residuárias.

## BIBLIOGRAFIA

- ANGELIDAKI, I.; PETERSEN, S. P.; AHRING, B. K. Effects of lipids on thermophilic anaerobic digestion and reduction of lipid inhibition upon addition of bentonite. *Applied Microbiology Biotechnology*, Heidelberg, v. 33, p. 469-472, 1990.
- APHA; AWWA; WPCF. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 20. ed. Washington: American Public Health Association / American Water Works Association / Water Environment Federation, 1998.
- ASSUMPCÃO, R. M. V.; MORITA, T. *Manual de soluções, reagentes e solventes*. São Paulo: Edgard Blücher, 1968.
- BAILEY, B. W.; RANKIN, J. M. New spectrophotometric method for determination of formaldehyde. *Analytical Chemistry*, Columbus, v. 43, n. 6, p. 782-784, may 1971.
- BAKER, R. D. *Técnicas de necropsia*. México: Editorial Interamericana, 1969.
- CAMPOS, J. R.; DANIEL, L. A. *Projeto Hidráulico do Sistema de Tratamento de Águas Residuárias do Campus da Universidade de São Paulo em Ribeirão Preto*. Cópias heliográficas e memorial descritivo. São Carlos: EESC, 1993.
- CARVALHO, H. V. *Manual de técnica tanatológica*. São Paulo: Typ. Rossolillo, 1950.
- JUNQUEIRA, L. C.; CARNEIRO, J. *Histologia básica*. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1995.
- NARDI, I. R.; ZAIAT, M.; FORESTI, E. Influence of the tracer characteristics on hydrodynamic models of packed-bed bioreactors. *Bioprocess Engineering*, Berlim, v. 21, n. 5, p. 469-476, 1999.
- OLIVEIRA, S. V. W. B. *Avaliação da degradação e toxicidade de formaldeído em reator anaeróbio horizontal de leito fixo*. 2001. 95p. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.
- PCARP (Assessoria de Comunicação Social e Imprensa). *PCARP*. São Paulo: Coordenadoria de Comunicação Social da USP, 1992.
- SILVEIRA, B. I. *Cinética química das reações homogêneas*. São Paulo: Edgard Blücher, 1996.
- ZAIAT, M.; FORESTI, E. Method for estimating the kinetics of substrate degradation in horizontal-flow anaerobic immobilized sludge (HAIS) reactor. *Biotechnology Techniques*, Dordrecht, v. 5, n. 11, p. 315-318, 1997.
- ZAIAT, M.; PASSIG, F. H.; FORESTI, E. A mathematical model and criteria for designing horizontal-flow anaerobic immobilized biomass reactors for wastewater treatment. *Bioresource Technology*, Londres, v. 71, p. 235-243, 2000.

## AVALIAÇÃO DE COMPÓSITOS BIOMASSA VEGETAL-CIMENTO MODIFICADOS POR POLÍMERO

**Lia Lorena Pimentel**

Engenharia civil, doutoranda do programa de Pós-Graduação em Construções Rurais e Ambiente da Faculdade de Engenharia Agrícola / Unicamp.  
lialp@agr.unicamp.br

**Gladis Camarini**

Professora Doutora da Faculdade de Engenharia Civil / Unicamp.  
camarini@fec.unicamp.br

### RESUMO

A utilização de cimentos especiais, adições minerais e químicas na produção de concretos e argamassas, com o objetivo de alterar suas propriedades físico-químicas, é cada vez mais freqüente, visando melhorar o desempenho desses materiais em relação à durabilidade. Este trabalho teve por objetivo analisar o comportamento físico e mecânico de compósitos biomassa vegetal-cimento modificados com polímeros. Foram utilizadas dispersões de polímeros de base acrílica e a base de estireno butadieno. Determinou-se o teor de sólidos dos látex poliméricos, e realizaram-se ensaios de determinação do tempo de início de pega para dosagens de 5%, 10% e 15% de polímero sólido em relação à massa de cimento (relação P/C). Essas determinações resultaram nas dosagens ótimas de 5% e 10% para látex à base de SBR e 5% e 15% para látex de base acrílica. Observaram-se as seguintes propriedades do compósito: absorção total e por capilaridade, as resistências mecânicas à compressão simples e à tração por compressão diametral e a velocidade de propagação de onda ultra-sônica. Os resultados obtidos permitiram concluir que a utilização de polímeros pode vir a melhorar a durabilidade dos compósitos biomassa vegetal-cimento, uma vez que reduz sensivelmente suas propriedades de transferência.

### ABSTRACT

Special Portland cement, chemical and mineral additions used for concrete and mortar production have the purpose to modify its physical and chemical properties. This is important to improve their performance and their durability. The aim of this work was to observe the physical and mechanical performance of vegetal fiber-cement composites modified by polymers. For this, it was used dispersions of acrylic polymer and styrene-butadiene polymer. It was determined the solid content for all polymers used. Setting time was determined to observe the polymer influence on this property. The results showed that the best performances were the addition of 5% and 10% of SBR latex, by weight of cement, and 5% and 15% of acrylic latex, by weight of cement. The composite properties observed were total absorption by immersion and absorption by capilarity, compressive strength, tensile strength by brazilian test, and ultrasonic wave determination. The tests results showed that the use of latex polymer could improve the performance and the durability of vegetal fiber-cement composites when compared to the conventional mortar because of the improvement of its transfer properties.

## INTRODUÇÃO

Compósitos biomassa vegetal - cimento (CBVC) podem ser utilizados para as mais diversas finalidades em vista de suas características especiais, tais como, baixa massa específica, isolamento térmico, resistência ao fogo, impermeabilidade e resistência mecânica que, embora não seja tão alta quanto à do concreto, não chega a ser desprezível.

As utilizações mais comuns do CBVC são na fabricação de: painéis anti-ruído, revestimentos, forros, vedação de equipamentos industriais, pisos e blocos não-estruturais.

Produtos à base de aglomerantes inorgânicos e madeira começaram a ser produzidos a partir da década de 30, sob forma de painéis leves de madeira e magnésita. O desenvolvimento da tecnologia para a utilização de resíduos de madeira com aglomerantes orgânicos efetuou-se mais rapidamente do que a utilização dessa matéria-prima vegetal com aglomerantes minerais (BERALDO, 1997).

Atualmente, devido ao encarecimento dos aglomerantes orgânicos e à proibição da utilização do amianto em alguns países, pesquisas sobre a viabilidade da utilização de compósitos biomassa vegetal-cimento voltaram a ser desenvolvidas. Outro fator que impulsiona a ampliação dessa linha de pesquisa é a preocupação com o meio ambiente, buscando-se, por meio da utilização de resíduos provenientes da agroindústria, minimizar o gasto de

energia para a produção de elementos construtivos e evitar danos ao meio ambiente causados pela queima desses resíduos.

Em todo o mundo esses fibrocimentos alternativos já fazem parte de programas de transferência tecnológica, especialmente no que se refere aos sistemas de cobertura de baixo custo (GRAM et al, 1994) (SAVASTANO, 2000).

O surgimento dos concretos modificados com polímeros ocorreu na Inglaterra, em 1923, quando a primeira patente foi criada por Cresson, com a adição de borracha natural ao concreto para aplicação em calçamentos. Durante a década de 20 apareceram as primeiras publicações e outras patentes usando borracha natural. Na década de 30, o alemão Rodwell utilizou pela primeira vez um látex sintético em concreto, o látex de acetato de polivinila. Nas décadas de 40 e 50 continuaram aparecendo outros polímeros na Europa e no Japão, onde, em 1978, ocorreu a primeira publicação de norma de ensaio. Hoje, a norma japonesa é a mais completa sobre concretos modificados com polímeros (CESTARI, 2001).

Existem três classes principais de concretos utilizando polímeros: o concreto impregnado por polímero, quando, após o endurecimento, o concreto de cimento Portland recebe impregnação de resina polimérica; concreto modificado por polímero, quando o polímero é empregado na forma de uma dispersão em água (látex), com a água de amassamento no

processo de mistura do concreto; e o concreto polímero – neste caso, o aglomerante é uma resina polimérica, podendo o cimento Portland ser empregado como filler ou não.

Neste trabalho se optou pelo uso da técnica do concreto modificado com látex. A utilização dessa técnica visa melhorar propriedades como ligação entre o concreto e o substrato, melhorar a resistência ao impacto, à penetração de água e sais dissolvidos e a ação de congelamento e degelo (ACI, 1997).

A indústria Faber Castell, situada em São Carlos – estado de São Paulo, gera com a produção de lápis uma quantidade de aproximadamente 2,16 mil t/mês de resíduos, constituídos basicamente por partículas de *Pinus caribaea*, madeira de reflorestamento utilizada pela indústria.

A opção pelo uso desse tipo de resíduo foi definida pela diminuição no número das possíveis variáveis que influenciam na questão da incompatibilidade química entre biomassa vegetal e o cimento, como a padronização da idade de corte e da granulometria do resíduo, regular em cada etapa de fabricação. Além disso, não ocorre mistura entre as espécies.

O desenvolvimento de compósitos biomassa vegetal-cimento passa por uma série de questões básicas a serem solucionadas: a necessidade de um estudo geoeconômico para verificar a potencialidade do resíduo como matéria-prima para fabricação de compósitos; minimizar a incompatibilidade química entre o resíduo e a matriz cimentícia;

fazer com que o elemento construtivo atenda às especificações físicas e mecânicas e de durabilidade de elementos construtivos similares existentes no mercado. Este trabalho visou, com a adição de polímeros, melhorar a durabilidade das fibras e, conseqüentemente, do compósito.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Caracterização dos materiais

Os materiais utilizados foram os agregados formados pelas partículas de *Pinus caribaea*, e pela areia lavada, de rio. O aglomerante empregado foi o cimento Portland de alta resistência inicial; CP V-ARI, da marca CIMINAS. Os polímeros utilizados foram o látex de base acrílica e o látex à base de estireno butadieno, ambos marca FOSROC-REAX.

### Agregado vegetal e mineral

O resíduo vegetal e a areia natural tiveram suas curvas granulométricas determinadas conforme recomenda a NBR 7217 (1987). No entanto, o resíduo vegetal não foi avaliado como o agregado mineral, pois suas partículas

não apresentam grãos arredondados como os agregados convencionais.

O resíduo vegetal utilizado tinha partículas curtas e de cor avermelhada devido ao processo químico de impregnação da madeira com parafina e corante.

A Figura 1 apresenta a curva granulométrica das partículas do resíduo vegetal.

A análise granulométrica do agregado mineral é apresentada na Figura 2.

Segundo a NBR 7211 (1983), que estabelece limites granulométricos para o agregado miúdo em função das porcentagens retidas acumuladas, esse material pode ser classificado como areia média.

### Polímeros

Os polímeros empregados no trabalho experimental foram de base acrílica (CHAPIX AR) e à base de estireno-butadieno (CHAPIX SBR) da marca FOSROC-REAX. Esses produtos são facilmente encontrados no mercado e foram caracterizados pela determinação do teor de sólidos. O ensaio foi executado secando a amostra do látex até constância de massa à temperatura de 100 °C. Esse

procedimento foi adaptado do ACI548.3R (1997) a indicar três temperaturas e tempos de secagem. Os valores obtidos foram de 20% para o CHAPIX AR (base acrílica) e de 13% para o CHAPIX SBR (base estireno butadieno).

Para a determinação do consumo de polímero em relação à massa de cimento foram adotados valores iniciais de 5, 10, e 15%. Com o objetivo de avaliar as porcentagens mais adequadas, determinaram-se os tempos de início de pega das pastas com esses teores, para observar se havia interferência do teor de látex nessa propriedade. O procedimento foi baseado na NBR 11581 (1991) para a determinação do tempo de início e fim de pega. Com o teor de sólidos de cada um dos látex fez-se a correção da relação água/cimento (a/c) da mistura. A água da pasta de consistência normal para o cimento CP V ARI foi de 29,5%.

Como ocorreu um atraso no tempo de início de pega de 60 minutos para a utilização de 15% de látex à base de SBR, optou-se por trabalhar, nesse caso, com dosagens inferiores, ou seja, de 5% e 10%. Para o látex de base acrílica se trabalhou com dosagens de 5% e 15%.

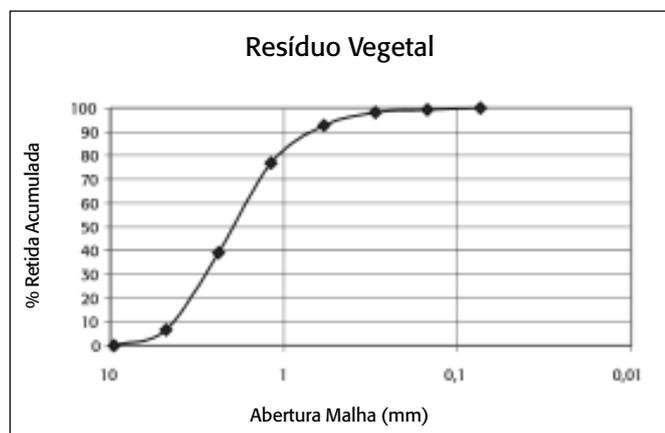


Figura 1 – Distribuição granulométrica – Resíduo vegetal  
Fonte: Autoras

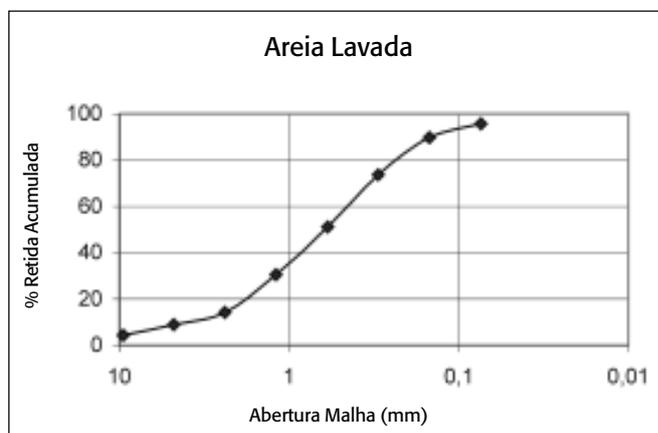


Figura 2 – Distribuição granulométrica do agregado mineral  
Fonte: Autoras

Fator	Misturas experimentais	Nomenclatura
Tratamento químico	Testemunho	T
	CHAPIX ACR - 5%	ACR5
	CHAPIX ACR - 15%	ACR15
	CHAPIX SBR - 5%	SBR5
	CHAPIX SBR - 10%	SBR10

Quadro 1 – Nomenclatura das misturas experimentais

## METODOLOGIA

### Misturas experimentais

Definiu-se pela utilização da proporção de mistura em massa 1:1:0,15 (cimento: areia: resíduo) e relação a/c = 0,63. Essa proporção foi escolhida em função de já ter sido empregada em trabalho anterior (PIMENTEL, 2000), visando ao aproveitamento do mesmo resíduo. A nomenclatura empregada para identificar as misturas está detalhada no Quadro 1.

A mistura dos materiais foi executada, manualmente, em cuba de aço inoxidável. Primeiro misturaram-se o cimento e a areia natural. Após a homogeneização desses materiais adicionaram-se as fibras de madeira, realizando-se nova homogeneização. Finalmente, após a mistura dos materiais secos, adicionou-se a água previamente misturada ao látex.

### Moldagem, cura e ruptura dos corpos-de-prova

A cura e ruptura dos corpos-de-prova tiveram como referência a norma NBR 7215 (1996). A moldagem dos corpos-de-prova foi efetuada em três camadas, compactadas com golpes de espátula de 2 cm de largura e 1 mm de espessura. Esse procedimento foi utilizado de forma a permitir a ligação

entre as camadas pelo posicionamento das fibras, o que não ocorreria com o uso do soquete normatizado. O processo de cura consistiu em, imediatamente após a moldagem, colocar as fôrmas em câmara úmida por um período de 24 horas. Após esse período, os corpos-de-prova foram desmoldados e permaneceram em câmara úmida até atingirem a idade de 7 dias. A partir dessa idade a cura prosseguiu ao ar livre até que os corpos-de-prova atingissem as idades de ensaio.

Os corpos-de-prova foram ensaiados à compressão axial, aos 7 e 28 dias de idade, em máquina universal de ensaios, marca VEB Werkstoffprüfmaschinen, do Departamento de Máquinas Agrícolas da FEAGRI – Unicamp.

A resistência à tração foi determinada por compressão diametral, segundo NBR 7222 (1994), para corpos-de-prova com idade de 28 dias.

### Absorção

Aos 21 e aos 56 dias de idade os corpos-de-prova foram submetidos ao ensaio de absorção total, conforme a NBR 9778 (1987) e ao ensaio de absorção por capilaridade com a determinação dos índices de resistência à penetração de água e sorção, determinados conforme procedimentos estipulados no manual CYTED (1998), no que concerne ao ensaio de

argamassa. Os corpos-de-prova foram secos em estufa até constância de massa; em seguida, sua face lateral foi impermeabilizada. Após a secagem do impermeabilizante, os corpos-de-prova foram dispostos sobre suportes que permitiam o contato da água com a face inferior do mesmo. O nível de água foi mantido constante em 1 cm acima da face inferior do corpo-de-prova. O coeficiente de absorção por capilaridade (K) foi calculado como sendo:

$$k = \frac{(A - B)/S}{\sqrt{T}} \quad (\text{g/cm}^2 \cdot \text{s}^{1/2}) \quad (1)$$

Onde:

A = Massa do corpo-de-prova depois de determinado período de tempo (g);

B = Massa do corpo-de-prova seco (g);

S = Área da seção transversal do corpo-de-prova (cm<sup>2</sup>);

T = Tempo do ensaio (s).

O coeficiente de resistência à penetração da água (M) foi calculado como sendo:

$$M = \frac{T}{Z^2} \quad (\text{h/mm}^2) \quad (2)$$

Onde:

T = Tempo do ensaio (h);

Z = Profundidade de penetração da água (mm).

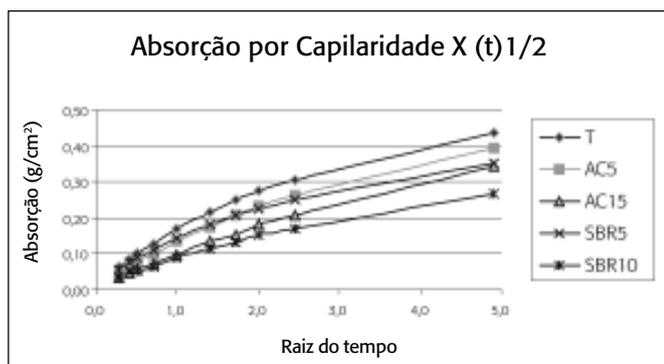


Figura 3 – Resultados de absorção por capilaridade em função da  $\sqrt{t}$  para 28 dias  
Fonte: Autoras

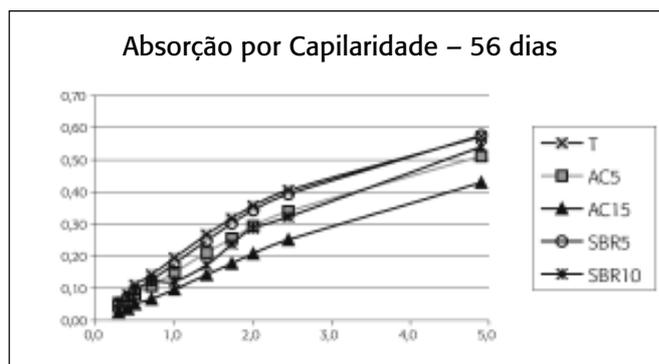


Figura 4 – Resultados de absorção por capilaridade em função da  $\sqrt{t}$  para 56 dias  
Fonte: Autoras

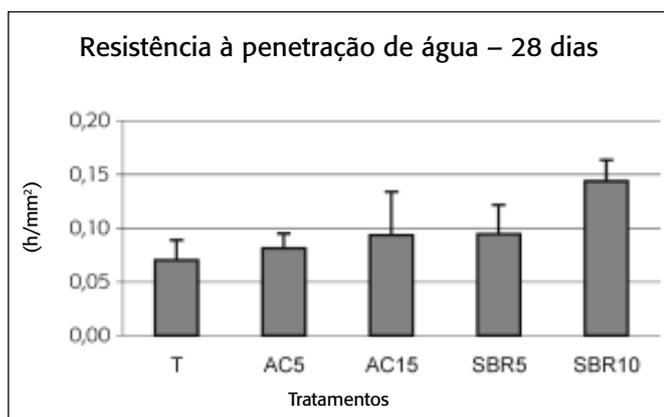


Figura 5 – Resultado de resistência à penetração de água em função do tratamento  
Fonte: Autoras

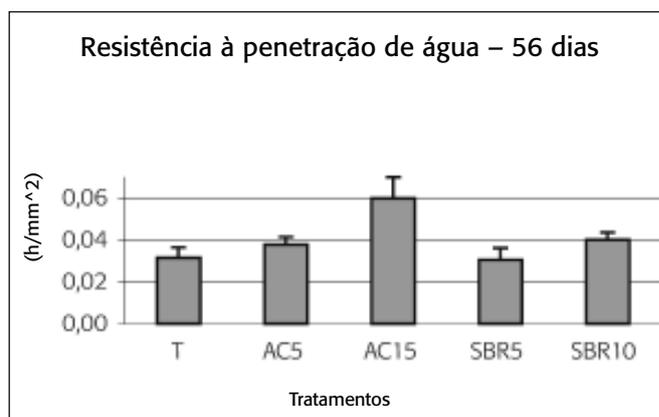


Figura 6 – Resultado de resistência à penetração de água em função do tratamento  
Fonte: Autoras

A Sorção capilar ( $S$ ) (capacidade de ascensão da água por capilares de pequeno diâmetro) foi calculada como sendo:

$$S = \frac{1}{\sqrt{M}} \quad (\text{mm/h}^{1/2}) \quad (3)$$

Onde:  
M = Coeficiente de resistência à penetração de água ( $\text{h/mm}^2$ )

### Ultra-som

Na medição do tempo de propagação da onda ultra-sônica através dos corpos-de-prova cilíndricos, utilizou-se o equipamento Ultrasonic Tester, modelo BP-7, da STEINKAMP, com transdutores exponenciais com frequência de ressonância de 45 kHz. Mediu-se o tempo de propagação da onda ultra-sônica através dos corpos-de-prova, no sentido longitudinal, antes de submetê-los aos ensaios para a determinação das resistências à compressão axial e à tração por compressão diametral. Assim, procurou-se observar a existência de correlação entre

os resultados dos ensaios (tensões de ruptura) e os resultados obtidos no ensaio de ultra-som (velocidade de propagação da onda).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Absorção

Com relação ao ensaio de absorção por imersão, não se observaram diferenças significativas na capacidade de absorção entre as misturas empregadas no trabalho experimental. A média da absorção foi de 14,03%.



Figura 7 – Aspecto dos corpos-de-prova em função do tratamento; da esquerda para a direita os corpos-de-prova seguem a seguinte ordem de tratamento: SBR10, SBR5, AC15, AC5, T  
Crédito: Autoras

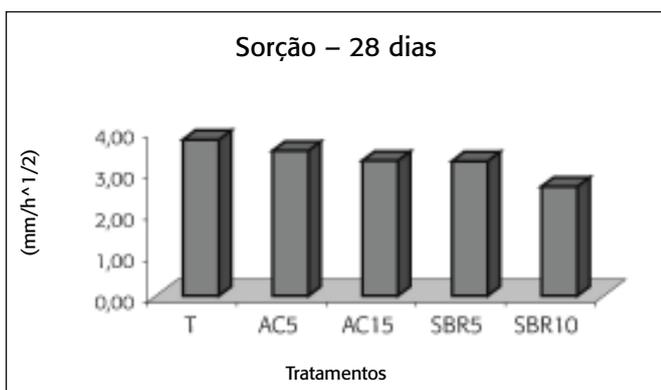


Figura 8 – Resultados de sorção  
Fonte: Autoras

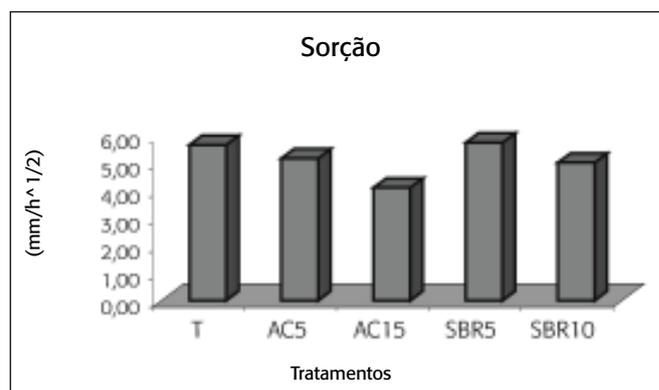


Figura 9 – Resultados de sorção – 56 dias  
Fonte: Autoras

Cumprе ressaltar que esse valor está abaixo do valor máximo normatizado para blocos e artefatos de concreto (20%).

Os resultados do ensaio de absorção capilar em função da raiz quadrada do tempo ( $\sqrt{t}$ ) para a média das repetições de cada tratamento são apresentados na Figura 3. Observou-se que o tratamento com látex à base de estireno butadieno a 10% apresentou a menor capacidade de absorção.

Após 56 dias de idade, observou-se uma perda na capacidade de impermeabilização, tanto para as argamassas tratadas com látex como

para a argamassa testemunho, como pode se observar no gráfico da Figura 4.

A resistência à penetração de água foi significativamente superior para o compósito modificado com 10% de látex à base de estireno butadieno, conforme se pode observar na Figura 5 para a média das repetições à idade de 21 dias.

Após 56 dias, a resistência à penetração da água reduziu para todas as argamassas, porém a que sofreu menor redução foi a argamassa tratada com 15% de látex acrílico (AC15), como se pode observar na Figura 6.

A Figura 7 apresenta a fotografia das seções dos corpos-de-prova após ensaio de absorção por capilaridade.

Segundo os critérios de avaliação do CYTED (1998), concreto com sorção capilar até 6 mm/ $\sqrt{h}$  pode ser utilizado em ambientes medianamente severos. Os valores obtidos para as argamassas em estudo variaram de 2,64 a 3,78 para a idade de 21 dias. A Figura 8 apresenta os resultados dos valores de sorção.

Após 56 dias, a sorção aumentou para todas as argamassas, porém a que sofreu menor alteração foi a argamassa tratada com 15% de látex acrílico (AC15), como se pode observar na Figura 9.

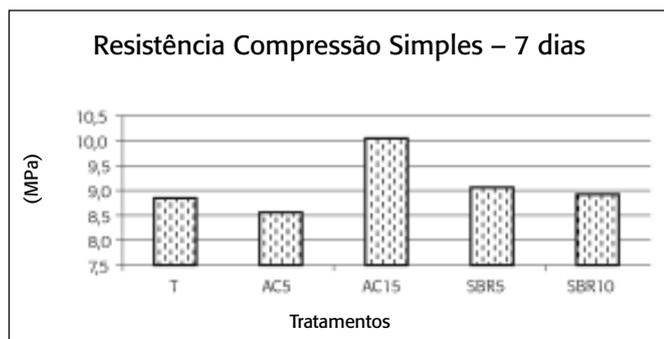


Figura 10 – Valores de resistência à compressão em função do tratamento do compósito  
Fonte: Autoras

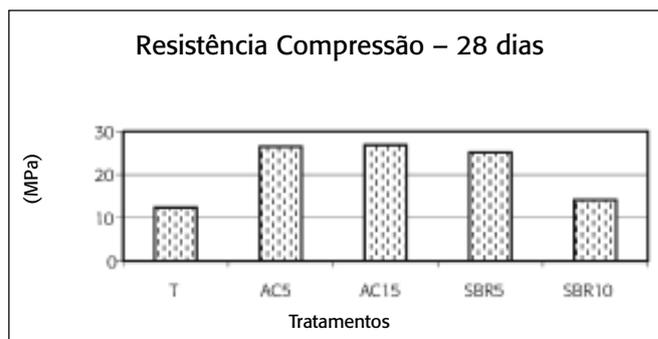


Figura 11 – Valores de resistência à compressão, em função do tratamento do compósito  
Fonte: Autoras

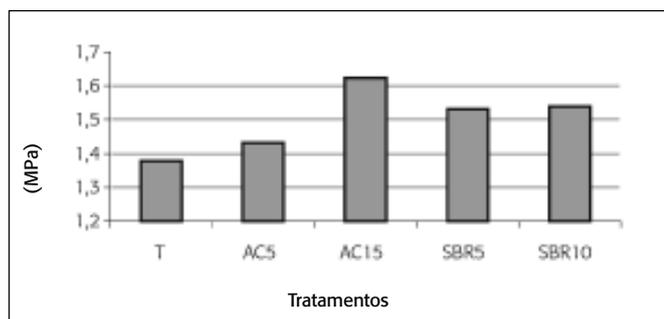


Figura 12 – Valores de resistência à tração por compressão diametral, em função do tratamento do compósito  
Fonte: Autoras

### Resistência mecânica

Aos 7 dias de idade notou-se melhora da resistência apenas para o tratamento com 15% de látex acrílico, conforme pode ser observado na Figura 10.

Os melhores resultados de resistência aos 28 dias foram obtidos para os tratamentos de base acrílica e de SBR na dosagem de 5%; a resistência média para estes tratamentos é da ordem de 26 Mpa (Figura 11).

Observou-se pequena superioridade da resistência à tração por compressão diametral para o tratamento com látex acrílico a 15%. A Figura 12 apresenta os resultados desse ensaio.

### Ultra-som

Os resultados obtidos com a velocidade de propagação da onda ultra-sônica através dos corpos-de-prova foram relacionados com as propriedades mecânicas obtidas com os diversos tratamentos dos compósitos biomassa vegetal polimérica.

Os valores obtidos de  $R^2$  calculados para uma regressão linear estão listados no Quadro 2 e indicaram não haver correlação entre a velocidade e a resistência à compressão e a resistência à tração por compressão diametral.

Esforço	Idade (dias)	Tratamento	$R^2$
Compressão simples	7	T	0,000006
		AC5	0,328
		AC15	0,114
		SBR5	0,637
		SBR10	0,005
Compressão simples	28	T	0,029
		AC5	0,116
		AC15	0,00001
		SBR5	0,265
		SBR10	0,081
Tração por compressão diametral	28	T	0,209
		AC5	0,049
		AC15	0,022
		SBR5	0,179
		SBR10	0,499

Quadro 2 – Resultados da regressão linear

## ANÁLISE E CONCLUSÕES

A partir das condições nas quais se desenvolveu o presente trabalho, as análises permitiram concluir que a utilização de polímeros em compósitos biomassa vegetal-cimento pode vir a melhorar a durabilidade destes compósitos, assim como vem contribuindo para a durabilidade do concreto. Esse resultado é possível devido à capacidade de reduzir sensivelmente sua permeabilidade. O ensaio de absorção por capilaridade mostrou-se mais sensível para a determinação das propriedades de transferência do que o ensaio de absorção por imersão.

A resistência à compressão foi melhor para argamassas tratadas com 5 e 15% de látex de base acrílica, e para a argamassa tratada com 5% de látex à base de estireno butadieno.

A partir desses resultados preliminares, observa-se que a adição de polímeros aos compósitos biomassa vegetal-cimento apresentou resultados interessantes. No entanto, pesquisas mais aprofundadas são necessárias para avaliar o desempenho desses compósitos, tanto macro como microscopicamente. Nesse sentido, ensaios de envelhecimento natural e

acelerado, a utilização de microscopia óptica e eletrônica de varredura deverão ser executados para avaliar mais detalhadamente a durabilidade do compósito e da fibra vegetal utilizada.

## BIBLIOGRAFIA

ACI 548.3R-95. *Manual of concrete practice*. EUA: American Concrete Institute, Part 4, p. 1-48, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. *NBR 7211 Agregados para concreto, especificação*, Rio de Janeiro: ABNT, 1983. 5p.

\_\_\_\_. *NBR 7217 Agregados: Determinação da composição granulométrica, método de ensaio*. Rio de Janeiro: ABNT, 1987, 3p.

\_\_\_\_. *NBR 9778 Argamassa e concreto endurecido – Determinação da absorção de água ou imersão – índice de vazios e massa específica*. Rio de Janeiro: ABNT, 1987, 3p.

\_\_\_\_. *NBR 11581 – Cimento Portland – Determinação dos tempos de pega Método de ensaio*. Rio de Janeiro: ABNT, 1991, 5p.

\_\_\_\_. *NBR 7222 – Argamassa e Concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos, Método de Ensaio*. Rio de Janeiro: ABNT, 1994, 3p.

\_\_\_\_. *NBR 7215 Cimento Portland: Determinação da resistência à compressão,*

*método de ensaio*. Rio de Janeiro: ABNT, 1996, 8p.

BERALDO, Antonio Ludovico. Compósitos Biomassa Vegetal-Cimento. In: SIMPÓSIO SOBRE MATERIAIS NÃO CONVENCIONAIS PARA CONSTRUÇÕES RURAIS, Campina Grande, UFPB, Editores Romildo Dias Toledo Filho, José Wallace Barbosa do Nascimento, Khosrow Ghavami, 1997, p. 01-48.

CESTARI, Daniel. *O efeito da adição do copolímero vinil veova em argamassas de revestimento*. 2001. 154p. Dissertação (Mestrado) FEC – Universidade de Campinas, Campinas, SP, 2001.

CYTED, *Manual de inspeccion, evaluacion y diagnostico de corrosion en estructuras de hormigon armado*. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnologia para el Desarrollo. p. 28 - 47, 1998.

GRAM, H; CUT, P. *Directives pour le controle de qualite*. St. Gallen: SKAT/BIT, Serie Pedagogique TFM/TVM, Outil 23, p. 69, 1994.

PIMENTEL, L. P. *Telhas onduladas à base de cimento Portland e resíduos de Pinus caribaea*. 2000. 67p. Dissertação (Mestrado) FEAGRI – Universidade de Campinas, Campinas, SP, 2000.

SAVASTANO, H. J., PIMENTEL, L. L. Viabilidade do aproveitamento de resíduos de fibras vegetais para fins de obtenção de material de construção. *Revista Brasileira de Eng. Agrícola e Ambiental*, Campina Grande PB, DEAg / UFPB, v. 4, n. 1, p. 103-110, 2000.

## A PRODUÇÃO ORGÂNICA E A INFORMATIZAÇÃO COMO FORMAS DE REDUÇÃO DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS

Ana Luiza Silva Spínola

Mestranda em saúde ambiental pela Faculdade de  
Saúde Pública da USP.

Gonzalo E. Krings

Pós-graduando em gestão ambiental pela Faculdade  
de Saúde Pública da USP.  
gonzalokrings@hotmail.com

### RESUMO

A utilização de agrotóxicos no campo cresceu vertiginosamente nos últimos 30 anos. A aplicação indiscriminada desses produtos, impulsionada pelo desenvolvimento de tecnologias e de substâncias com alto poder tóxico acabam resultando em significativa contaminação humana (com alto custo social) e ambiental. Após breve relato referente à problemática utilização dos agrotóxicos no campo, este trabalho enfoca duas possíveis soluções para redução dos resíduos gerados: a informatização quando da aplicação do defensivo e o modo de produção orgânico. Mais atenção é dada à produção orgânica pelo fato de a mesma não gerar resíduos tóxicos.

### ABSTRACT

The use of agrochemicals in the field has presented a path of strong growth over the last 30 years. The irresponsible utilization of these products, which has been worsened by the development of even more powerful and toxic substances, leads to a severe human and environmental contamination (with high social implications). After a short overview regarding the damages caused by agrochemicals in the field, this assessment focus on two possible solutions that aim to minimize the toxic waste generated: the application of technological resources when utilizing agrochemicals and the utilization of organic production techniques. Despite of what we said above, we emphasize the utilization of organic production techniques as long as it doesn't generate toxic waste.

## INTRODUÇÃO

O conceito popular de alimento saudável está intimamente ligado à sua aparência, desde a década de 30, época das primeiras febres consumistas norte-americanas, quando a imagem que descrevia sua força era a de uma dona de casa com um carrinho repleto de alimentos de beleza extraordinária saindo de um supermercado.

É necessário quebrar esse paradigma da aparência do alimento, sob pena de o preço por esse consumo desenfreado e insustentável ser altamente prejudicial para as atuais e futuras gerações.

A partir dos anos 60 houve ascendente preocupação com a salubridade alimentar, que tende cada vez mais a conservar os recursos naturais explorados. As pressões decorrentes já requerem novos métodos de produção os quais reduzam os impactos ambientais adversos e assegurem níveis de pureza e de não-toxicidade dos alimentos. É esse, em última análise, o desafio social embutido na expressão "agricultura sustentável".

Nesse contexto, fortaleceram-se os entusiastas de métodos orgânicos, biodinâmicos, biológicos e naturais de produção alimentar (BEZERRA e VEIGA, 2000).

O meio agrícola se encontra em destaque no tocante à geração de resíduos que, direta ou indiretamente, afetam a saúde pública e o meio ambiente em geral.

Este trabalho teve por finalidade inicial fazer um breve relato da problemática da utilização dos agrotóxicos na produção agrícola e apresentar formas viáveis de redução tanto da utilização dos próprios defensivos como da geração dos resíduos provenientes. O objetivo principal foi demonstrar como a informatização na aplicação dos defensivos pode reduzir a quantidade utilizada e como a produção

orgânica, principal enfoque da pesquisa, pode resultar em grandes benefícios à saúde pública e ao meio ambiente, já que não aplica agrotóxicos em seu processo produtivo.

Justifica-se a escolha do tema por ser uma realidade a aplicação indiscriminada de agrotóxicos no meio agrícola. Apesar de a demanda por produtos mais saudáveis estar crescendo, a população ainda está pouco informada sobre essas questões, na medida em que o alimento de boa aparência causa impressão de ser mais saudável.

A importância da criação de políticas públicas que legitimem e regulamentem o setor da produção orgânica também constitui tema de alta relevância. Ressalta-se a existência de um projeto de lei já em discussão perante o Congresso Nacional.

Desde logo, destaca-se a necessidade de o assunto, objeto deste trabalho, ser estudado com mais profundidade, tendo em vista que foram apresentados apenas breves questões sobre a viabilidade da redução da geração de resíduos agrícolas.

## METODOLOGIA

A metodologia utilizada foi descritiva e a pesquisa bibliográfica é documental. Devido à novidade do tema, houve dificuldade em encontrar bibliografias específicas que pudessem servir como referencial teórico.

Foram utilizadas algumas literaturas que tratavam da agricultura orgânica de forma genérica. Grande parte dos documentos está disponível na Internet, o que facilitou, demasiadamente, a busca por informações. Apesar de muitos documentos tratarem do tema, não há uma definição exata do que seja "produção orgânica". O projeto de lei em trâmite perante o Congresso Nacional pode ser utilizado como um referencial inicial, apesar de poder ser alterado até sua aprovação.

## APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### Problemática da utilização dos agrotóxicos

A Lei Federal n. 7.802/89, regulamentada pelo Decreto n. 4.074/02, em seu artigo 1º, inciso IV, define "agrotóxicos" como sendo "*produtos e agentes de processos físicos, químicos ou biológicos destinados ao uso nos setores de produção, armazenamento e beneficiamento de produtos agrícolas, nas pastagens, na proteção de florestas nativas ou implantadas e de outros ecossistemas e de ambientes urbanos, hídricos e industriais, cuja finalidade seja alterar a composição da flora e da fauna, a fim de preservá-las da ação danosa de seres vivos considerados nocivos, bem como substâncias e produtos empregados como desfolhantes, dessecantes, estimuladores e inibidores do crescimento*".

A definição apresentada exclui fertilizantes e químicos administrados a animais para estimular o crescimento ou modificar o comportamento reprodutivo.

O termo "agrotóxico", em vez de "defensivo agrícola", passou a ser utilizado no Brasil para denominar os venenos agrícolas, após grande mobilização da sociedade civil organizada. Mais do que uma simples mudança da terminologia, esse termo coloca em evidência a toxicidade desses produtos ao meio ambiente e à saúde humana. São ainda, genericamente, denominados *praguicidas* ou *pesticidas*.

A partir do final da década de 60, o esgotamento das áreas de lavouras temporárias foi superado pela adoção de métodos químicos de fertilização e, mais tarde, por um conjunto homogêneo de práticas tecnológicas. As "conquistas" científicas e tecnológicas fizeram com que os produtores rejeitassem a agricultura

tradicional. Inicialmente o padrão moderno propiciou surpreendentes aumentos da produção, mas a euforia das grandes safras logo foi abalada pelos problemas socioambientais que, até hoje, caracterizam a agricultura praticada em grande escala. Com a tecnologia atual, são produzidos agrotóxicos extremamente potentes e específicos tais como acaricidas, bactericidas, cupinídeos, entre outros.

Em 1995 o Brasil estava entre os maiores consumidores de agrotóxicos, representando 7% do consumo mundial (FUNASA, 2002).

Desde 1950 a quantidade de fertilizantes utilizados aumentou em 10 vezes e a quantidade de pesticidas utilizados nas lavouras em 17 vezes, inobstante a produção mundial de alimentos tenha aumentado apenas três vezes (HALWEIL, 2002). É sabido, porém, que não há falta de alimentos no mundo, mas justa e igualitária distribuição.

### **Estimativa de custos ambientais e sociais da utilização indiscriminada de agrotóxicos**

#### **Custos ambientais**

Os custos ambientais gerados pela utilização indiscriminada de agrotóxicos, ou seja, pela “política de alimento barato” ou “política do alimento em massa”, podem ser caracterizados pela contaminação dos corpos de água, do solo e do ar, pela perda da biodiversidade e de solos agricultáveis por salinização, acidificação ou erosão e pela redução da qualidade de vida da população.

Salienta-se que, muitas vezes, mesmo em condições ideais, a aplicação de um agrotóxico pode danificar sensivelmente o meio ambiente.

Cita-se, como exemplo, o inseticida Citrex, amplamente usado na citricultura para controle de ácaros. Tal inseticida é

incompatível com produtos de natureza alcalina (solo ou água), medianamente tóxico (faixa azul), sendo muito perigoso ao meio ambiente. Comumente os solos são verificados quanto à acidez, o que não é feito com relação às águas, havendo, portanto, grande chance de inserção de um inseticida que não tem ação contra o ácaro (para o qual foi destinada sua ação combativa), pelo fato de ser incompatível com a água alcalina. Dessa forma, não encontrando a satisfação esperada, o produtor, normalmente, age de duas formas: ou aumenta a dose ou aplica novamente o inseticida. Assim, nota-se que, em inúmeras situações, as “condições ideais” indicadas na bula não são seguidas pelos usuários devido à dificuldade de obtenção dos parâmetros no campo, tais como temperatura, vento e umidade.

Ao analisar esse exemplo, percebe-se, de forma nítida, que não é dada devida consideração ao meio ambiente na classificação dos agrotóxicos, como se fosse possível separar o ser humano do meio ambiente e da biodiversidade a qual, na realidade, é a verdadeira protetora das lavouras.

#### **Custos sociais — intoxicações**

O Brasil se encontra entre um dos maiores consumidores de agrotóxicos do mundo, tanto daqueles de uso agrícola como dos domésticos (domissanitários) e dos utilizados em campanhas de saúde pública, perfazendo um total comercializado de aproximadamente US\$ 1,600,000,000 (um bilhão e seiscentos milhões de dólares), o que representa 7% do consumo mundial para 1995, conforme informação obtida na Secretaria de Política Agrícola do Ministério da Agricultura e Abastecimento (FUNASA, 2002).

A maior utilização dessas substâncias ocorre na agricultura, especialmente nos sistemas de monocultura em grandes

extensões. São também utilizados em saúde pública, na eliminação e controle de vetores transmissores de enfermidades endêmicas e, ainda, no tratamento de madeira para construção, no armazenamento de grãos e sementes, na produção de flores, para combate a piolho e outros parasitas, na pecuária, etc.

Quanto aos efeitos sobre a saúde humana, os agrotóxicos podem determinar três tipos de intoxicação: (i) aguda, na qual os sintomas, nítidos e objetivos, surgem rapidamente, algumas horas após a exposição excessiva, por curto período, a produtos extremamente ou altamente tóxicos; (ii) subaguda, que ocorre por exposição moderada ou pequena a produtos altamente ou medianamente tóxicos, cujo aparecimento é mais lento e cujos sintomas são subjetivos e vagos; e (iii) crônica, que surge após meses ou anos de exposição pequena ou moderada a produtos tóxicos.

Essas intoxicações não são reflexos de uma relação simples entre o produto e a pessoa exposta. Vários fatores interagem, dentre eles os relativos às características químicas e toxicológicas do produto, ao indivíduo exposto e às condições da exposição ou condições gerais do trabalho. Nessas circunstâncias, pode-se dizer que os efeitos dos agrotóxicos sobre a saúde não dizem respeito apenas aos trabalhadores expostos, mas à população em geral, afetando não apenas o trabalhador da unidade produtiva, mas também o meio ambiente e o conjunto social.

Devido à falta de controle do uso dessas substâncias químicas tóxicas e ao desconhecimento da população em geral sobre os riscos e perigos à saúde decorrentes, estima-se que as taxas de intoxicações humanas no país sejam altas. Segundo a Organização Mundial da Saúde, para cada caso notificado de

É necessário quebrar esse paradigma da aparência do alimento, sob pena de o preço por esse consumo desenfreado e insustentável ser altamente prejudicial para as atuais e futuras gerações.

intoxicação existem outros cinquenta não-notificados (FUNASA, 2002).

Deve ser levado em conta que, para cada caso de intoxicação, o sistema de saúde despende, aproximadamente, R\$ 150,00 (cento e cinquenta reais), o que significa um total estimado de R\$ 45.000.000,00 (quarenta e cinco milhões de reais), os quais poderiam ser evitados, se as medidas de controle e de vigilância fossem mais ativas (FUNASA, 2002). É importante relatar que os dados ora relacionados somente levam em conta trabalhadores que aplicam os agrotóxicos ou moradores próximos às aplicações. Aqueles que se intoxicam com alimentos são dificilmente catalogados pela dificuldade de realizar diagnósticos precisos. Normalmente há apenas o diagnóstico do efeito e não da causa.

Diante do exposto, verificou-se a grande preocupação com os resíduos provenientes de agrotóxicos, tanto pelo fato de causarem desequilíbrios ecológicos como contaminação de recursos hídricos, dos solos, bem como de animais, de trabalhadores rurais e das cadeias alimentares, incluindo o próprio ser humano.

Surge, dessa forma, a necessidade de criação de políticas públicas as quais promovam a redução da utilização de agrotóxicos, fiscalizem a produção nos centros de distribuição, dificultando a utilização indiscriminada dos defensivos, bem como realizem intensivo combate ao contrabando de agrotóxicos proibidos no Brasil.

Como possíveis formas de reduzir resíduos provenientes dos agrotóxicos, o enfoque do presente trabalho é dado à informatização da produção agrícola e à agricultura orgânica.

### Redução dos resíduos provenientes dos agrotóxicos

#### Uso de tecnologias (Racionalização de uso de agrotóxico)

Algumas tecnologias atuais estão aptas a contribuir para a diminuição da aplicação de agrotóxicos, reduzindo, desta forma, a geração de resíduos.

A utilização de informática nos equipamentos agrícolas (pulverizadores) para a aplicação de agrotóxicos tem se mostrado de grande valia, auxiliando o operador do implemento no momento de executar os serviços no campo.

Podem-se destacar, ainda, válvulas e bicos eletrônicos controlados por um computador de bordo, proporcionando ao operador maior controle sobre a solução de agrotóxico pulverizada, gerando melhor utilização e, conseqüentemente, menor desperdício de material e impacto ao ser humano e ao meio ambiente.

O Global Position Satellite (GPS) — posicionamento global por satélite — já é encontrado em diversos equipamentos de pulverização e serve para evitar sobreposições de despejos de agrotóxicos e aumentar o controle sobre as áreas aplicadas (STENICO, 2002).

Tendo em vista o aprimoramento tecnológico desenvolvido pelas empresas aplicadoras de agrotóxicos, em pouco tempo será possível a utilização de tecnologias de reconhecimento espacial, possibilitando o conhecimento da área do terreno em que a aplicação do produto é realmente necessária.

Em fotos aéreas de grandes altitudes, realizadas de aviões ou satélites, é possível obter informações precisas do

solo tais como: umidade, cobertura, infestações de pragas, carência de componentes, acidificação e temperatura do solo.

Com esses dados é possível ao agricultor programar pulverizadores ou aplicadores lombares e, por meio do citado GPS, aplicar o produto, exatamente, no local correto, minimizando as aplicações desnecessárias de agrotóxicos. Conseqüentemente, reduz-se a utilização de insumos agrícolas, o impacto no meio ambiente e na biodiversidade, já que, atualmente, os agrotóxicos são dispersos indiscriminadamente em **toda** a superfície da cultura vegetal, desconhecendo-se se ela está realmente afetada, entendendo o aplicador ser este um ato preventivo ao surgimento de pragas.

#### Produção orgânica

A Agenda 21, documento criado na Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada em 1992 no Rio de Janeiro, com vista a estabelecer diretrizes gerais para as ações de planejamento em todo o planeta, salienta que é necessário desenvolver a compreensão do papel do consumo e da forma de implementar-se padrões mais sustentáveis que promovam a eficiência dos processos, desenvolvendo políticas que estimulem padrões de consumo sustentáveis e a transferência de tecnologias ambientalmente saudáveis, *minimizando a geração de resíduos tóxicos agrícolas pelo estímulo à criação e consumo de produtos ambientalmente saudáveis* [o destaque é nosso]. Conforme abaixo descrito, o produto orgânico se constitui em um produto limpo, saudável, cujo sistema de cultivo observa o manejo agrícola sustentável, em plena consonância com a Agenda 21.

Devido à reduzida literatura existente sobre o tema, destaca-se, abaixo, a

definição constante do projeto de lei em trâmite perante o Congresso Nacional que visa disciplinar a produção orgânica no Brasil.

O projeto de lei em discussão no parlamento federal considera *“sistema orgânico de produção agropecuária todo aquele em que se adotam técnicas específicas, mediante a otimização do uso dos recursos naturais e socioeconômicos disponíveis, tendo por objetivo a sustentabilidade econômica e ecológica a maximização dos benefícios sociais, a minimização ou a eliminação da dependência de energia não-renovável e de insumos sintéticos, e a proteção do meio ambiente, as segurando-se, em especial: I – a oferta de produtos saudáveis, isentos de contaminantes; II – a preservação da diversidade biológica dos ecossistemas naturais em que se insere o sistema de produção; III – a conservação do solo e da água; IV – a manutenção ou o incremento da fertilidade do solo; V – a reciclagem de resíduos de origem orgânica para o solo”* (PL 14/2002, artigo 1º).

Destaca-se, pela definição acima, grande preocupação com a sustentabilidade ambiental e social, resultando na oferta, aos consumidores, de produtos sem contaminantes. É certo que a preservação da diversidade biológica, bem como a conservação da água e do solo (e manutenção de sua fertilidade) serão conseqüências naturais da não-utilização dos defensivos.

Nesse sentido, a agricultura orgânica é um sistema de gerenciamento total da produção agrícola com vista a promover a saúde do meio ambiente, preservar a biodiversidade, os ciclos e as atividades biológicas do solo. Para tanto, enfatiza-se o uso de práticas de manejo ambientalmente saudáveis. Portanto, exclui a adoção de substâncias químicas ou outros materiais sintéticos que

O termo “agrotóxico”, em vez de “defensivo agrícola”, passou a ser utilizado no Brasil para denominar os venenos agrícolas, após grande mobilização da sociedade civil organizada. Mais do que uma simples mudança da terminologia, esse termo coloca em evidência a toxicidade desses produtos ao meio ambiente e à saúde humana.

desempenhem no solo funções estranhas às desempenhadas pelo ecossistema (AMBIENTEBRASIL, 2003).

Sendo o produto orgânico cultivado sem o uso de adubos químicos ou de agrotóxicos é um produto limpo, saudável, proveniente de um sistema que observa as leis da natureza e todo o manejo agrícola, estando baseado no respeito ao meio ambiente e na preservação dos recursos naturais. O solo é a base do trabalho orgânico, e vários resíduos são nele reintegrados. O esterco, restos de verduras, folhas, aparas, etc. são devolvidos aos canteiros para que sejam decompostos e transformados em nutrientes para as plantas. Essa fertilização ativa a vida no solo e os microrganismos, além de transformarem a matéria orgânica em alimento para as plantas, tornam a terra porosa, solta e permeável à água e ao ar. O grande valor é a promoção permanente do melhoramento do solo que, em vez de mero suporte para a planta, é sua fonte de nutrição.

A rotação de culturas é utilizada como forma de preservar a fertilidade do solo e o equilíbrio de nutrientes. Contribui, também, para o controle de pragas, pois o cultivo das mesmas culturas nas mesmas áreas poderia resultar no aparecimento de doenças e infestações. As monoculturas são evitadas, já que a diversidade, ao implicar no aumento de espécies e na interação entre os diversos organismos, é fator que traz estabilidade ao agrossistema.

Salienta-se, novamente, que o solo é considerado um organismo complexo, repleto de seres vivos (minhocas, bactérias, fungos, formigas, cupins, etc.) e de substâncias minerais em constante interação e interdependência. Assim, ao se manejar um aspecto (adubação, por exemplo), faz-se necessário considerar todos os outros de forma conjunta (diversidade biológica, qualidade das águas subterrâneas, suscetibilidade à erosão, etc.). Esse é o princípio da visão sistêmica da agricultura, a prescrever que a propriedade agrícola deve ser considerada em todas suas dimensões (produtiva, ecológica, social, econômica, etc.).

Dessa forma, a denominada agricultura orgânica combate o uso de quaisquer produtos tóxicos, prejudiciais à vida humana de forma direta ou indireta e ao meio ambiente.

#### Panorama do mercado no mundo e no Brasil

O mercado mundial de orgânicos movimentou próximo de vinte e três e meio bilhões de dólares por ano, e há uma expectativa de crescimento da ordem de 20% ao ano. O principal consumidor de produtos orgânicos na Europa é a Alemanha, já que a população é bastante consciente em relação às questões ambientais, percebendo o produto orgânico como benéfico ao meio ambiente e à própria saúde (LEITE apud SOUZA e ALCÂNTARA, 2003).

No Brasil a produção de orgânicos teve grande impulso nos últimos dois anos. O preço dos produtos no mercado são em média 30% mais elevados do que o produto convencional. Observa-se que a demanda cresce a cada ano, podendo ser este ritmo acelerado pelo efeito da divulgação dos próprios produtos nos pontos de venda.

As exportações absorvem 70% do volume total certificado. O maior estímulo às exportações são os preços que se

obtem pelo produto diferenciado, podendo atingir ágios de 30% a 60%, a variar conforme o produto.

Importante ressaltar que a certificação dos produtos orgânicos é realizada de forma voluntária pelos produtores, inexistindo, como visto, legislação específica em vigor a respeito. A certificação deve ser entendida como um instrumento econômico baseado no mercado, que visa diferenciar produtos com valor agregado tanto para o consumidor como para os produtores. A tendência atual é a quantidade de produtos certificados aumentar à medida que o consumidor adquira consciência em ter estilo de vida mais saudável.

Assim, efetivas políticas públicas de informação ao consumidor devem ser implementadas, para que a sociedade, ao adquirir determinado produto, saiba como o mesmo foi produzido, bem como as conseqüências do respectivo processo de produção para a saúde e meio ambiente. O que se busca é que a sociedade, após ser informada, tenha possibilidade de optar entre o produto orgânico e o convencional.

## CONCLUSÃO

A utilização indiscriminada de agrotóxicos geram significativos danos à saúde pública e ao meio ambiente. Os problemas sociais podem ser caracterizados pela intoxicação dos trabalhadores das lavouras, pelos resíduos de agrotóxicos que permanecem nos produtos agrícolas, acabando por contaminar o ser humano (consumidor) e toda cadeia alimentar. Os problemas ambientais também causam preocupação, especialmente quanto à contaminação de corpos de água.

O conceito popular de o alimento saudável estar intimamente ligado à sua aparência deve ser revisto pela sociedade,

já que esta visão levou os produtores à utilização indiscriminada de agrotóxicos para manter a produção e a aparência dos produtos agrícolas.

A informatização pode ser grande aliada à realização de práticas mais saudáveis de produção agrícola, já que reduz a aplicação indiscriminada do defensivo porque é aplicado apenas no local necessário.

Por outro lado, o modo de produção orgânico está em plena conformidade com os preceitos do desenvolvimento sustentável, razão pela qual políticas públicas de incentivo, de informação à população e de regulamentação do setor são requeridas com urgência. É certo que a demanda social por produtos saudáveis só será possível se houver conscientização e informação, fatores estes essenciais para que se consiga reduzir a geração de resíduos tóxicos agrícolas.

## BIBLIOGRAFIA

- AMBIENTEBRASIL. *Agricultura orgânica*. Disponível em: <<http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=/agropecuario/index.html&conteudo=/agropecuario/agrinatural.html>>. Acesso em: 10 jan. 2003.
- ANDEF Associação nacional de defesa vegetal. Banco de dados. *Distribuição e vendas por estado*. Disponível em: <<http://www.andef.com.br/dentro/bbanco.htm>>. Acesso em: 15 jan. 2003.
- BEZERRA, Maria do Carmo; VEIGA, José Eli. (Coord.). *Agricultura sustentável*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis; Consórcio Museu Emilio Goeldi, 2000, 190 p.
- BRASIL. *Constituição Federal, coletânea de legislação de direito ambiental*. Org. Odete Medauar. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2002 (RT-minicódigos).
- \_\_\_\_\_. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. *Guia de vigilância sanitária. Intoxicações por agrotóxicos*. Disponível em: <<http://www.funasa.gov.br/pub/GVE/GVE0515A.htm>> Acesso em: 17. nov. 2002.
- BRASIL. *Projeto de Lei da Câmara dos Deputados n. 14 de 2002* (n. 659/99, na Casa de origem). Dispõe sobre a agricultura orgânica, altera dispositivos da Lei n. 7.802, de 11 de julho de 1989, e dá outras providências. Senado Federal. Disponível em: <<http://www.senado.gov.br>>. Acesso em: 27 fev. 2003.
- CORSON, Walter H. (Ed.). *Manual global de ecologia: O que você pode fazer a respeito do meio ambiente*. Tradução Alexandre Gomes Caramuru. 2. ed. São Paulo: Augustus, 1996. p. 24-5.
- GAYOSO, Alessandra A. F. de Toledo. *Informação cedida por coordenadora de Certificação da Associação de Alimentos Orgânicos* (AAO), 2002.
- HALWEIL, Brian. Agricultura de interesse público. In: FLAVIN, Christopher et al. *Estado do mundo 2002*. Salvador: Uma, 2002. p. 59-86.
- LAMBERT, Mark. *Agricultura e meio ambiente*. Tradução Nelson Bolognini Jr.; revisão técnica de Jose Carlos Sariego. São Paulo: Scipione, 1997. (coleção preserve o mundo).
- NAURO, José Velho. *Agrotóxicos ameaçam a vida de agricultores*. AN Verde. Matérias especiais. Joinville, SC – Brasil. Disponível em: <[http://www.an.com.br/anverde/especiais/mat\\_esp06.htm](http://www.an.com.br/anverde/especiais/mat_esp06.htm)>. Acesso em: 17 nov. 2002.
- PENNA, Carlos Gabaglia. *O estado do planeta – sociedade de consumo e degradação ambiental*. Rio de Janeiro: Record, 1999.
- PLANETAORGANICO. *Qualidade dos orgânicos*. Disponível em: <<http://www.planetaorganico.com/saudqua.htm>> Acesso em: 9 fev. 2003.
- SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Estado do Meio Ambiente. *Agenda 21: Conferência das Nações Unidas sobre meio ambiente e desenvolvimento*, São Paulo: SEMA, 1997.
- SOUZA, Ana Paula de Oliveira; ALCÂNTARA, Rosane L. Chicarelli. *Produtos orgânicos: Um estudo exploratório sobre as possibilidades do Brasil no mercado internacional*. Disponível em: <<http://www.planetaorganico.com.br/trabAnaPaula.htm>> Acesso em: 25 fev. 2003.
- STENICO, Jose Dinis. Informação cedida por responsável técnico de usina de açúcar e álcool da região de Piracicaba, 2002.

# Tratamento e Disposição Final de Resíduos

## ESTABILIZAÇÃO DE LODOS DE ESGOTO UTILIZANDO RETORES ANAERÓBIOS SEQÜENCIAIS (SISTEMA RAS)

**Durval Rodrigues de Paula Junior**

Professor Associado da Faculdade de Engenharia  
Agrícola FEAGRI/Unicamp.  
durval@agr.unicamp.br

**Luciana de Mattos Moraes**

Zootecnista, MSc e doutoranda em engenharia agrícola  
– FEAGRI/Unicamp.

**Sandra Aparecida Rozon de Camargo**

Engenheira sanitária, MSc engenharia civil FEC/  
Unicamp.

**Edson Aparecido Abul Nour**

Professor Assistente Doutor da Faculdade de  
Engenharia Civil FEC/Unicamp.

**Denis Miguel Roston**

Professor Assistente Doutor da Faculdade de  
Engenharia Agrícola FEAGRI/Unicamp.

### RESUMO

A disposição final adequada do lodo é uma etapa problemática no processo operacional de uma estação de tratamento de esgotos e que, normalmente, tem sido negligenciada. Visando ao desenvolvimento de tecnologia simplificada para a estabilização de lodos gerados em Estações de Tratamento de Esgotos sanitários (ETE), este trabalho propôs a implantação e avaliação de um sistema constituído de reatores anaeróbios seqüenciais (RAS) para a estabilização de lodos originários de decantadores primários e secundários da ETE-Carioba (filtros biológicos), da cidade de Americana-SP. Os principais objetivos deste trabalho consistiram em realizar estudo comparativo da estabilização de lodos, utilizando sistema RAS e digestor anaeróbio convencional de câmara única, determinar parâmetros de projeto e otimizar procedimentos operacionais dos sistemas estudados. Os sistemas foram avaliados pelo monitoramento semanal de parâmetros físico-químicos (sólidos totais, voláteis e fixos, pH, ácidos voláteis, alcalinidade total e parcial) de amostras do afluente, efluente e pontos intermediários dos sistemas, operando com Tempos de Detenção Hidráulica (TDH) de 30, 20 e 10 dias, totalizando 450 dias de operação. As maiores remoções de ST foram obtidas no sistema A (96, 97 e 80% nos TDHs de 30, 20 e 10 dias, respectivamente); porém, pela ausência de mecanismos mecânicos de mistura, o efeito da sedimentação de sólidos precisa ser considerado, impedindo, assim, uma comparação direta com os demais sistemas. Nos sistemas B e C, essas remoções foram de 66, 41 e 28% e 32, 33 e 35%, respectivamente. Os resultados indicaram que tanto no TDH de 30, como no de 20 dias, o Sistema B apresentou eficiência de remoção de ST superior ao Sistema C, e que no TDH de 10 dias essas eficiências se aproximaram, mantendo-se em torno de 30%.

### ABSTRACT

The final adequate disposal of sludge is a problematic stage in the operational process of a sewage treatment plant and that, normally, has been neglected. Seeking the technology development simplified for research in the direction to optimize of sludge from Sewage Treatment Plant, this work propose installation and evaluation of a Sequential Anaerobic Reactor System (RAS) treating sludge from primary and secondary sedimentation tanks of Sewage Treatment Plant – Carioba (biologic filters), located in the city of American – SP. The main objectives of this work consisted in accomplishing comparative studies of the sludge stabilization using continuous flow sequential anaerobic reactors and conventional anaerobic digester, to determine design parameters and optimizing operational procedures of the studied system. The system were evaluated by weekly monitoring of physical-chemical parameters (total solids, volatile solids, fixed solids, pH, volatile fatty acids, partial alkalinity and total alkalinity of the samples from influent, effluent and intermediary points of system, during an operation with 30, 20 and 10 days Hydraulic Retention time (HRT), totaling 450 days operations. The total solids removal better rate were obtained in System A (96, 97 and 80% in the hydraulic retention times 30, 20 and 10 days, respective) however, goes the absence of mechanical mechanisms of mixture, the effect of solids sedimentation needs to be considered, impeding the direct comparison with the other systems. In systems B and C, these removal were 66, 41 and 28% and 32, 33 and 35%, respectively. The results indicated that in HRT 30 and 20 days, the System B total presented solids removal better efficiency to System C, and that HRT 10 days these efficiency approached, staying in lathe of 30%.

## INTRODUÇÃO

O saneamento é, sem dúvida, uma das mais importantes ferramentas socioeconômicas para ações preventivas eficientes, na relação custo-benefício, ligadas aos problemas de saúde pública e de preservação dos recursos naturais. Os dados referentes ao esgoto sanitário no Brasil são alarmantes, indicando índices de cobertura da população, por rede coletora, de apenas 30% e um percentual de comunidades que possuem tratamento inferior a 10% (CHERNICHARO, 1997). Isso demonstra que volumes exorbitantes de esgoto bruto são lançados diariamente em cursos d'água, causando, obviamente, graves problemas sanitários e ambientais. A necessária e premente ampliação da quantidade de esgotos tratados gerará um grande e inevitável crescimento da produção de lodo no Brasil. Embora exista uma tendência à aplicação de tecnologias que reflitam em uma menor produção de lodo, não se pode descartar o emprego dos sistemas ditos convencionais que sabidamente geram quantidades apreciáveis de lodos. A geração de grandes volumes de lodo e seu processamento e disposição talvez seja o problema mais complexo com o qual a engenharia sanitária se depara.

Todo tratamento convencional de esgoto gera como subproduto o lodo formado nos decantadores primários e secundários, o qual deve sofrer um tratamento adicional, já que, na maioria das vezes, não está totalmente estabilizado. Nesses sistemas, o lodo é geralmente tratado em reatores anaeróbios de câmara única que, com altos tempos de detenção hidráulica, promovem a estabilização e redução de massa, o que, usualmente, tornam essas unidades as maiores de toda a estação de tratamento, onerando, sobremaneira,

os custos de implantação e operação das estações de tratamento de esgotos.

Durante os últimos 20 anos, verificou-se uma verdadeira revolução nos conceitos concernentes ao tratamento de águas residuárias. Nesse período, além de ocorrer ampliação e valorização da aplicabilidade do processo anaeróbio, houve também aumento significativo do número de alternativas para a concepção física das unidades à conversão biológica. A consciência atual coloca em destaque a multidisciplinaridade do assunto e envolve elementos de biologia, microbiologia, bioquímica, engenharias, arquitetura, economia, sociologia e educação ambiental. As unidades já não são vistas como simples tanques, em concreto, chapas, etc. Hoje essas unidades são estudadas como reatores nos quais ocorrem transformações complexas, com participação de organismos vivos. Há de tentar-se a otimização do reator (custos) fundamentada na otimização do processo biológico (CAMPOS, 1999).

Apesar do grande impulso no conhecimento do processo anaeróbio e ampliação de sua aplicação para o tratamento de águas residuárias, pouco avanço pode ser constatado com relação à otimização dos digestores anaeróbios convencionais utilizados na estabilização dos lodos primários e secundários gerados nas ETEs convencionais. Digestores anaeróbios de baixa carga operam com tempo de retenção celular ( $\theta_c$ ) na faixa de 30 a 60 dias, enquanto digestores anaeróbios de alta taxa, incorporando mecanismos de aquecimento e mistura, operam com  $\theta_c$  na faixa de 15 a 20 dias (METCALF & EDDY, 1991). Tendo em vista que nesses digestores convencionais não existem mecanismos de retenção de biomassa, os tempos de retenção celular e detenção hidráulica são

aproximadamente iguais, e representam o tempo de residência dos resíduos no reator. Consta-se, em geral, a necessidade de altos tempos de residência dos resíduos, nos reatores, para promover a estabilização de resíduos sólidos orgânicos, caracterizando-se a grande dificuldade de promover-se a hidrólise do material sólido, etapa inicial do processo anaeróbio e, normalmente, a etapa limitante nesse caso.

Da análise de vários artigos reunidos no *Proceedings of the II International Symposium on Anaerobic Digestion of solid waste* (MATA-ALVARES, 1999), verifica-se uma tendência nas investigações científicas sobre digestão anaeróbia de lodos, voltada para um pré-tratamento dos lodos, utilizando-se processos químicos (adição de hidróxido de sódio), físicos (maceração mecânica, desintegração de partículas sob altas pressões, hidrólise térmica, etc.) e biológicos (solubilização de lodo orgânico por meio de bactérias anaeróbias termofílicas, adição de enzimas hidrolíticas). Por outro lado, observa-se também um intenso desenvolvimento tecnológico para o pós-tratamento dos lodos e destinação final, envolvendo sistemas de separação sólido-líquido (desidratação natural e mecânica), higienização e aplicação agrícola, incineração, aterros sanitários, etc. (ANDREOLI, 1999).

Em resumo, investigações no sentido de otimizar a digestão anaeróbia de lodos pelo desenvolvimento tecnológico de "novas concepções de sistemas" não têm sido exploradas, incentivando a proposição deste projeto. Este projeto visou implementar e avaliar o uso de reatores anaeróbios seqüenciais no tratamento de lodo proveniente de decantador primário e secundário da ETE-Carioba, da cidade de Americana, SP, cujo sistema de tratamento

empregado é o de filtros biológicos. A proposta de estudar-se a estabilização de lodos utilizando reatores anaeróbios seqüenciais foi fundamentada na possibilidade de melhoria das condições hidrodinâmicas do sistema, possibilitando as condições de mistura e contato substrato-biomassa serem otimizadas em cada reator e as reações bioquímicas, envolvidas no processo anaeróbio, poderem ser favorecidas pela criação de condições ambientais distintas nos diversos reatores do sistema. A concepção de fluxo de lodo por meio dos reatores associados em série pode favorecer a predominância das etapas de hidrólise e acidificação nos primeiros reatores do sistema, propiciando maior estabilidade do processo e melhor desempenho do sistema.

## OBJETIVO

Desenvolvimento de tecnologia simplificada utilizando reatores anaeróbios seqüenciais (RAS) para estabilização de lodos gerados em estações de tratamento de esgotos sanitários.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido na Estação de Tratamento de Esgotos ETE-Carioba, da cidade de Americana-SP. A instalação piloto de tratamento, ilustrada nas Figuras 1 e 2, é constituída por uma caixa de equalização, com volume de 2.500 l, que alimenta três sistemas de reatores anaeróbios. O primeiro sistema (A) é constituído de cinco reatores anaeróbios seqüenciais (RAS) com volumes de 1.000 l cada um, com recirculação do sobrenadante do quinto para o primeiro reator. O segundo sistema (B) também é um sistema RAS, com configuração semelhante à do



Figura 1 – Vista geral das instalações experimentais  
Crédito: Autores

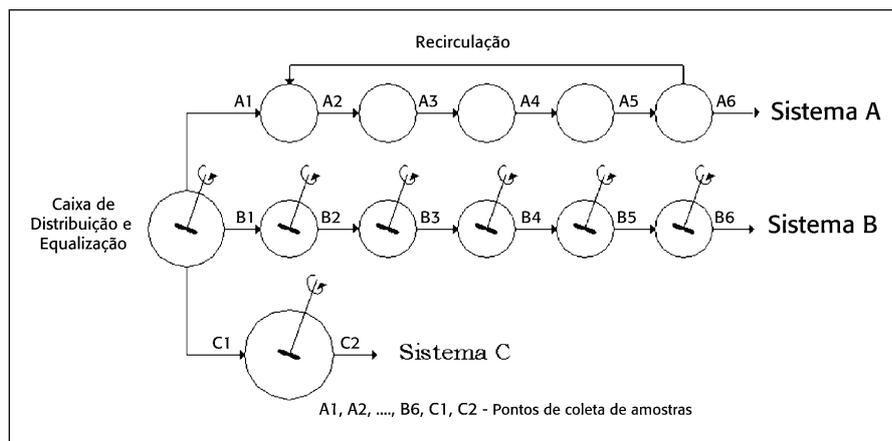


Figura 2 – Esquema da instalação piloto  
Fonte: Autores

Sistema A, diferenciando-se do anterior por possuir um mecanismo de mistura promovido por misturadores lentos instalados em cada um dos reatores. Finalmente, o terceiro sistema (C) é constituído por um reator anaeróbio de câmara única, com capacidade de 5.000 l, dotado também de um misturador mecânico para manter homogêneo seu conteúdo. Em todos os reatores dos três sistemas, o fluxo é ascendente.

A avaliação dos três sistemas propostos neste estudo foi realizada por parâmetros analisados nas amostras coletadas nos pontos de coleta indicados na Figura 2. As determinações de Sólidos Totais (ST), Sólidos Voláteis (SV), Sólidos Fixos (SF), pH, DQO Total e DQO Solúvel foram realizadas de acordo com o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (AWWA, 1995). A análise de Ácidos Voláteis (AV) foi efetuada utilizando

metodologia proposta por DILLALO & ALBERTSON (1961), enquanto as de Alcalinidade Total (AT) e Alcalinidade Parcial (AP) foram efetuadas utilizando metodologia proposta por RIPLEY et al (1986).

Os sistemas foram operados por cerca de 450 dias, compreendendo etapas de partida, de transição, de adaptação e, principalmente, fases de estabilização com TDH de 30, 20 e 10 dias. O monitoramento dos sistemas foi realizado por coletas de amostras e análises de laboratório, realizado semanalmente durante todo o período de operação. O controle das vazões dos sistemas A, B e C, medição de temperatura e atividades de manutenção rotineira foram realizadas diariamente por um operador das instalações.

Visando contornar o problema operacional causado pela presença de sólidos grosseiros (estopas e fios, provenientes das tecelagens da cidade) no lodo avaliado, no 120º dia de operação, foi instalada uma peneira estática. Essa providência solucionou inúmeros problemas de manutenção das bombas e o entupimento das instalações até o final da operação dos sistemas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A evolução temporal, durante os 450 dias de operação, dos parâmetros ST e SV, para o afluente (média =  $(A1+B1+C1)/3$ ) e para o efluente dos sistemas A, B e C está apresentada nas Figuras 3 e 4.

As Figuras 3 e 4 permitem ilustrar o comportamento dos parâmetros ST e SV na saída dos sistemas A, B e C em relação à entrada dos sistemas, em todas as etapas de operação (partida, transição, adaptação e estabilização com TDH de 30 dias, adaptação e

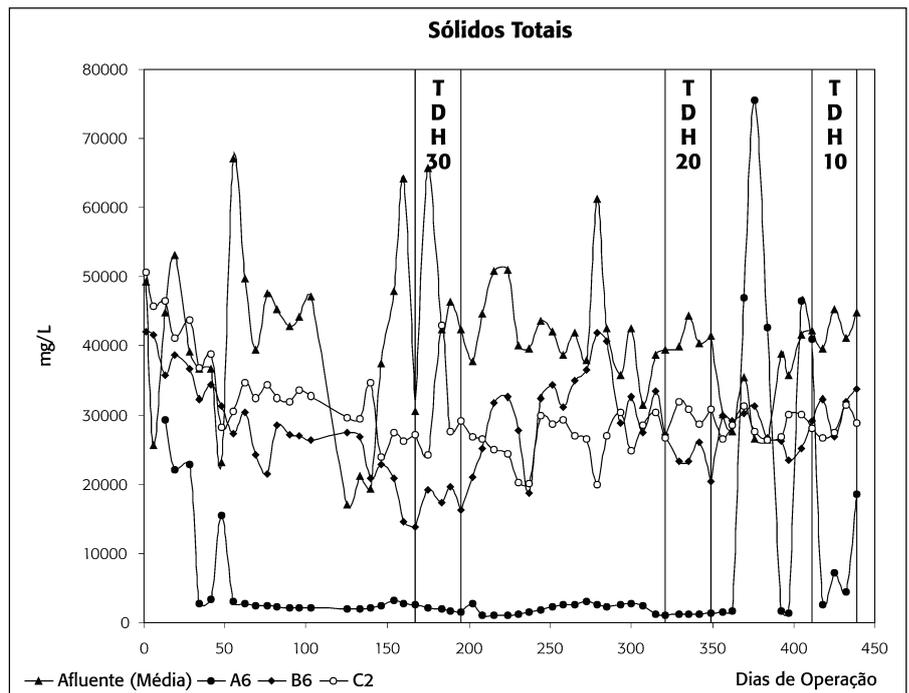


Figura 3 – Evolução temporal de sólidos totais no afluente (média aritmética dos pontos A1, B1 e C1) e no efluente de cada um dos sistemas avaliados (A6, B6 e C2)  
Fonte: Autores

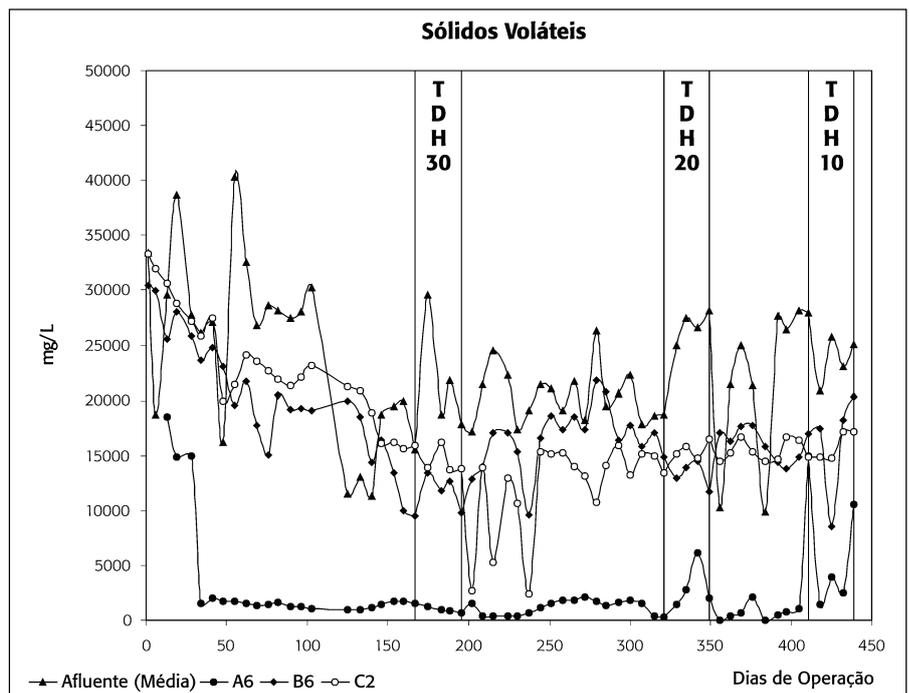


Figura 4 – Evolução temporal de sólidos voláteis no afluente (média aritmética dos pontos A1, B1 e C1) e no efluente de cada um dos sistemas avaliados (A6, B6 e C2)  
Fonte: Autores

Tabela 1 – Valores médios dos principais parâmetros avaliados, durante a operação dos sistemas A, B e C para TDH de 30, 20 e 10 dias  
Fonte: Autores

TDH (dias)	Pontos de Amostragem	Sólidos Totais	Remoção de ST	Sólidos Voláteis	Remoção de SV	pH	Ácidos voláteis	Alcalinidade Total	Alcalinidade Parcial
		mg/L	(%)	mg/L	(%)	-	mg/L	mg/L	mg/L
30	A1	49.500	96	22.280	96	7,2	310	610	422
	A6	1.835		910		8,0	521	2.128	1.275
	B1	52.710	66	23.995	50	7,0	321	619	401
	B6	18.165		11.920		7,5	1.286	1.363	640
	C1	45.310	32	19.680	27	7,1	304	662	448
	C2	31.025		14.430		7,6	836	1.828	1.661
20	A1	39.350	97	20.195	98	7,0	150	553	602
	A6	1.250		340		7,5	107	1.106	987
	B1	39.405	41	20.480	35	6,9	164	549	341
	B6	23.360		13.250		7,8	248	1.332	957
	C1	45.510	33	22.360	30	7,2	231	919	341
	C2	30.675		15.565		8,0	627	1.522	808
10	A1	40.355	80	23.650	80	6,5	648	437	103
	A6	8.215		4.635		7,6	224	1.663	1.221
	B1	43.595	28	23.355	31	6,5	643	430	100
	B6	31.225		16.150		7,7	152	1.506	1.085
	C1	44.080	35	24.025	34	6,6	653	734	206
	C2	28.698		15.975		8,0	620	1.383	869

Tabela 2 – Determinação de coliformes totais e fecais e ovos de helmintos para o afluente e efluente, dos sistemas A, B e C, operados com TDHs de 30, 20 e 10 dias  
Fonte: Autores

TDH (dias)	Pontos de Amostragem	Coliformes (Totais e Fecais)	Remoção	Ovos de Helmintos	Remoção
		NMP/100 ml	(%)	número de ovos/L	(%)
30	A1	5,0E+06	97,80	10	100
	A6	1,1E+05		Isento	
	B1	5,0E+06	84,00	10	50
	B6	8,0E+05		5	
	C1	5,0E+06	96,80	10	60
	C2	1,6E+05		4	
20	A1	3,0E+06	99,27	8	100
	A6	2,2E+04		Isento	
	B1	3,0E+06	98,33	8	63
	B6	5,0E+04		3	
	C1	3,0E+06	98,33	8	75
	C2	5,0E+04		2	
10	A1	3,0E+05	46,67	7	100
	A6	1,6E+05		Isento	
	B1	3,0E+05	46,67	7	29
	B6	1,6E+05		5	
	C1	3,0E+05	89,66	7	57
	C2	3,1E+04		3	

estabilização com TDH de 20 dias e adaptação e estabilização com TDH de 10 dias).

A Tabela 1 apresenta os valores médios dos principais parâmetros avaliados e a eficiência de remoção de ST e SV durante as fases de estabilização com TDH de 30, 20 e 10 dias, da operação dos sistemas A, B e C.

No Sistema A, durante os TDHs de 30 e 20 dias, a remoção de ST e SV se manteve na faixa de 95%. Já durante o TDH de 10 dias houve uma queda na eficiência de remoção que se manteve na ordem de 80%, conforme pode ser observado na Tabela 1. Esse comportamento mostra que o desempenho do sistema foi comprometido com a redução do TDH para 10 dias, uma vez que houve um aumento na concentração de ácidos voláteis no efluente.

Conforme pode ser observado na Tabela 1, o Sistema B apresentou remoções de ST de 66, 41 e 28% para os TDHs de 30, 20 e 10 dias, respectivamente, enquanto o Sistema C apresentou remoções de ST de 32, 33 e 35% para os TDHs de 30, 20 e 10 dias, respectivamente.

Pode-se verificar que, tanto no TDH de 30 como no de 20 dias, o Sistema B apresentou eficiência de remoção de ST superior ao Sistema C, e que no TDH de 10 dias essas eficiências se aproximaram, mantendo-se em torno de 30%.

A hipótese formulada pelo projeto da Unicamp, de a configuração proposta para os reatores anaeróbios seqüenciais poder aumentar a eficiência do sistema e também sua estabilidade, foi confirmada apenas em parte pela pesquisa, pois o estudo comparativo entre os sistemas B e C (Sistema RAS com Mistura Mecânica e Digestor Convencional de Câmara Única com Mistura Mecânica) mostrou que, para os TDHs de 30 e 20 dias o Sistema B (RAS) apresentou eficiência de

remoção de ST e SV superior ao Sistema C (convencional). No entanto, com relação à estabilidade dos sistemas, verificou-se exatamente o inverso da hipótese estabelecida, pois o Sistema C (convencional) apresentou grande estabilidade durante toda a operação, mesmo com as reduções dos TDHs de 30 para 20 e para 10 dias, mantendo sempre as remoções de ST e SV, praticamente da ordem de 30 a 35% (apresentando até uma melhora ao desempenho do início ao final da operação), e também necessitando sempre de períodos mais curtos de adaptação à cada redução de TDH, conforme pode ser observado nas Figuras 3 e 4.

Por outro lado, o Sistema B (RAS com mistura) apresentou sempre reduções de eficiência acompanhando as reduções de TDH, necessitando também de períodos mais longos para a adaptação do sistema à nova situação.

O Sistema A (RAS com recirculação) também apresentou comportamento similar ao Sistema B, principalmente na redução do TDH de 20 dias para 10 dias, situação a qual, provavelmente, levou os Sistema de Reatores Anaeróbios Seqüenciais (RAS) A e B ao limite.

A avaliação da qualidade sanitária dos efluentes dos sistemas A, B e C, em relação ao afluente, está apresentada na Tabela 2.

Verificou-se que a totalidade dos resultados positivos para coliformes totais foi confirmada para coliformes fecais, ou seja, foram encontrados apenas coliformes fecais nas amostras analisadas. Os valores obtidos estão colocados de uma só vez na Tabela 2.

As eficiências de remoção de coliformes para os sistemas A, B e C com TDH de 30 e 20 dias foram semelhantes, apresentando valores a variarem de 96 a 99%, com exceção da

eficiência do Sistema B durante o TDH de 30 dias, que foi de 84%. Para TDH de 10 dias, os valores de eficiência de remoção dos sistemas A e B diminuíram para a faixa de 46%, enquanto no Sistema C a eficiência foi de 89%. No entanto, mesmo com alto valor de remoção, a concentração final no efluente ainda é alta para a reciclagem agrícola.

Nos sistemas B e C a eficiência de remoção para ovos helmintos foi menor em relação à de coliformes, apresentando valores de 29 a 75%. Os valores menores de eficiência de remoção foram obtidos durante a operação com TDH de 10 dias. No entanto, para o Sistema A, a eficiência de remoção de ovos de helmintos foi de 100% durante todos os TDHs avaliados. O Sistema A, por apresentar uma configuração que permite a sedimentação da matéria orgânica e sólidos presente no lodo, propiciou a sedimentação dos ovos de helmintos, os quais apresentam valores de massa suficientes para ocorrer a sedimentação durante TDH utilizado. Somente o Sistema A apresentou efluente isento de ovos de helmintos, mostrando-se, neste aspecto, adequado para a reciclagem agrícola.

## CONCLUSÕES

O estudo comparativo da estabilização de lodos utilizando Reatores Anaeróbios Seqüenciais (RAS) e Digestor Convencional de Câmara Única, principal objetivo específico proposto, foi plenamente atingido, pois a análise comparativa dos sistemas B (RAS com mistura mecânica) e C (Digestor Convencional de Câmara Única com mistura mecânica) pode ser realizada durante a operação estável dos sistemas

B e C para TDHs de 30 dias, 20 e 10 dias. Pode-se concluir deste estudo que para os TDHs mais altos (30 e 20 dias) o Sistema RAS (B) apresenta melhor desempenho que o Digestor Convencional (C), porém o Sistema RAS se mostrou menos estável que o Digestor Convencional (C), principalmente para TDHs menores.

O Sistema A, constituído de Reatores Anaeróbios Seqüenciais com recirculação (sem mistura mecânica), foi o sistema que apresentou o melhor desempenho na remoção de ST e SV. Evidentemente que a acumulação de sólidos nos reatores precisa ser considerada e impede uma comparação conclusiva com os sistemas B e C. No entanto, a operação do Sistema A, com os cinco Reatores Anaeróbios Seqüenciais, por cerca de 450 dias, sem que houvesse necessidade de descarte, indica que esta alternativa é plenamente viável e bastante econômica, necessitando apenas de descartes periódicos de lodo (provavelmente já bastante estabilizado). Após tempos relativamente longos, aspecto operacional, perfeitamente possível de ser incorporado à utilização dessa tecnologia.

Com relação ao número de reatores necessários à estabilização de lodos no Sistema RAS, também objetivo específico do projeto, os resultados indicaram que um aumento em relação ao número estudado (cinco reatores) pode não

promover um aumento no desempenho do sistema, o qual compense a possibilidade de diminuir sua estabilidade. Por outro lado, uma grande diminuição do número de reatores em relação ao estudado (5) muda a concepção hidrodinâmica do sistema (afastando-se do regime "tipopistão" e aproximando-se do regime "mistura completa"). Baseando-se nos resultados obtidos neste estudo, um número de três a cinco reatores pode compor um Sistema RAS com vantagens de desempenho em relação ao Digestor Convencional de Câmara Única, operando com TDHs entre 20 e 30 dias.

Como durante a operação com TDH de 10 dias, o desempenho dos sistemas RAS (A e B) diminuiu significativamente, e também houve uma queda na estabilidade com os sistemas chegando, praticamente, à sua condição limite, pode-se utilizar, como parâmetro de projeto TDH na faixa de 20 a 30 dias, baseado nos estudos realizados.

De forma geral, pode-se concluir que o desenvolvimento de tecnologia simplificada, utilizando Reatores Anaeróbios Seqüenciais (Sistema RAS) para a estabilização de lodos de esgoto, mostrou-se plenamente viável, podendo ser aplicada em escala real, com melhor desempenho que a tecnologia convencional de Digestor de Lodos de Esgoto.

## BIBLIOGRAFIA

- ANDREOLI, C. V. (Coord.) *Uso e manejo de lodos na agricultura*. Rio de Janeiro: ABES, Projeto PROSAB, 1999. 97p.
- AWWA/APHA, WEF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20 ed. Washington. DC, USA, 1998. 1325 p.
- CAMPOS, J. R. (Coord.) *Tratamento de esgotos sanitários por processos anaeróbios e disposição controlada no solo*. Rio de Janeiro: ABES, Projeto PROSAB, 1999. 435p.
- CHERNICHARO, C. A. L. *Reatores anaeróbios*. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 1997. 245p.
- DILLALO R.; ALBERTSON O. E. Volatile acids by direct titration. *Journal Water Pollution Control Federation*. Alexandria, VA, v. 33, n. 4, p. 356-65, 1961.
- MATA-ALVAREZ, J. (Ed.) II INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ANAEROBIC DIGESTION OF SOLID WASTE (II ISAD-SW). 1999, Barcelona. *Proceedings...* Barcelona: IWA Publishing, 1999.
- METCALF & EDDY INC. *Wastewater Engineering: treatment, disposal and reuse*. Cingapura: McGraw-Hill Publishing Company, 3<sup>rd</sup> 1991.
- RIPLEY L. E.; BOYLE W. C.; CONVERSE J. C. Improved alkalimetric monitoring for anaerobic digestion of high-strength wastes. *Journal Water Pollution Control Federation*, Alexandria, V. A., v. 58, n. 5, p. 406-11, 1986.

## RESUMO

As discussões sobre a utilização de tecnologias mais limpas em todos os segmentos de mercado vêm ganhando força no mundo atual. A indústria de embalagens, por estar relacionada ao aumento crescente na geração de resíduos sólidos, torna-se um foco importante na busca pelo desenvolvimento sustentável. A indústria de bebidas vem sofrendo profundas transformações quanto à escolha da matéria-prima utilizada nas embalagens, em que vasilhames retornáveis vêm sendo substituídos por descartáveis. Daí a necessidade de estudos de Avaliação de Ciclo de Vida, a fim de orientar a própria indústria, consumidores e políticas governamentais na busca de embalagens ambientalmente mais adequadas. Neste trabalho se buscou a comparação entre as garrafas de vidro e de PET, com volume de 600 ml, quanto ao gasto energético relativo ao transporte no estado de São Paulo, incluindo-se a distribuição do produto e a destinação final. Concluiu-se que as garrafas plásticas, apesar de seu baixo peso, têm um gasto energético no transporte maior que as de vidro, quando adicionados os gastos com a destinação final da embalagem, para uma distância de distribuição do produto de até 175 km.

## ABSTRACT

Issues about the use of cleaner technologies in all the market segments are winning force in the current world. The packing industry, which is related to the increase of the solid waste generation, becomes an important focus in the search for the sustainable development. The beverage industry is suffering deep transformations in relation to the choice of the raw material used in the packing, where returnable bottles have been substituted for disposable bottles. Environmental Life Cycle Assessment is needed to guiding the industry, consumers and government politics in the search of acceptable environmentally packing. In this work, the comparison between the 600 ml bottles of glass and PET was done for energy consumption for the transport in the state of São Paulo, including the distribution of the product and the final destination. It was concluded that the plastic bottles, in spite of the low weight, have more energy consumption in the transport than those of glass, when added the packing final destination, for a product distribution distance up to 175 km.

## USO DA AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA (ACV) EM EMBALAGENS DE PLÁSTICO E DE VIDRO NA INDÚSTRIA DE BEBIDAS NO BRASIL

**Andréa Rodrigues Fabi**

Faculdade de Engenharia Mecânica  
Universidade Estadual de Campinas.

**Adriano Viana Ensinas**

Faculdade de Engenharia Mecânica  
Universidade Estadual de Campinas.

**Iraci Pereira Machado**

Faculdade de Engenharia Mecânica  
Universidade Estadual de Campinas.

**Waldir Antonio Bizzo**

Faculdade de Engenharia Mecânica  
Universidade Estadual de Campinas.  
bizzo@fem.unicamp.br

## INTRODUÇÃO

Desde os primórdios do comércio, a embalagem tem sido indispensável no transporte de muitos tipos de produtos, exercendo um papel cada vez mais importante para as empresas fabricantes, que buscam, além de diminuir as perdas do produto durante o transporte e armazenamento, aumentar a comunicação, conveniência e praticidade de seu produto.

Apesar de todas as vantagens que as embalagens ofereciam, no fim do último século começou-se a questionar o aumento crescente da geração e emissão de resíduos, decorrente de seu uso.

A indústria de bebidas foi se desenvolvendo com o aumento do mercado, buscando embalagens as quais acondicionassem volumes cada vez maiores e oferecendo praticidade aos consumidores, sem considerar que, a longo prazo, as mesmas pudessem causar uma série de prejuízos ambientais.

Em muitos países os vasilhames de vidro retornáveis não são mais utilizados, tendo sido substituídos por vasilhames descartáveis. No Brasil, quarto maior produtor mundial de cerveja, as garrafas de vidro retornáveis ainda são utilizadas para o envase de 85 a 90% da produção do produto. O mesmo não acontece com os refrigerantes nos quais vasilhames não-retornáveis são a maioria. Como o país ainda conta com o ciclo do produto voltado ao uso de retornáveis, torna-se imprescindível uma avaliação detalhada, dos diversos tipos de envase.

Neste trabalho essa avaliação foi limitada ao consumo energético e

emissões de CO<sub>2</sub> no transporte de vasilhames de PET (Politereftalato de etileno) descartáveis e de vidro retornável.

## PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DO PET (POLITEREFTALATO DE ETILENO)

A escolha do PET para uso em bebidas carbonatadas resultou em parcerias entre as indústrias de bebidas e as de plásticos para o desenvolvimento das embalagens. A indústria de bebida queria se beneficiar do crescimento das vendas gerado com o aumento do tamanho das garrafas, principalmente as de dois litros, fazendo com que a indústria plástica buscasse a melhor alternativa entre os polímeros, chegando-se ao PET (MATHIAS, 1997).

O PET tem como característica a baixa permeabilidade ao oxigênio e ao dióxido de carbono, sendo por isso o único plástico adequado para refrigerantes. Além da leveza e transparência, é inerte ao líquido, substituindo o vidro, quase 20 vezes mais pesado.

O polietileno tereftalato é o mais importante membro da família dos poliésteres, grupo de polímeros descoberto na década de 30 por W. C. Carothers, da Dupont, sendo, em 1941, patenteado como fibra têxtil pelos ingleses Whinfield e Dickson (CETEA, 1999). Em 1973, o processo de injeção com biorientação, desenvolvido pela própria Dupont, introduziu o PET na aplicação como garrafas, as quais começaram a ser produzidas em 1977 nos Estados Unidos, revolucionando o

mercado de bebidas e impulsionando o grande crescimento na utilização desse polímero (HARTWIG, 1998).

O PET é um polímero formado tanto pela reação do ácido tereftálico (TPA) como do dimetiltereftalato (DMT) com o etilenoglicol, produtos da indústria petroquímica, mais precisamente da nafta, obtida pelo craqueamento do petróleo, ou do gás natural.

## PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DO VIDRO

Recipientes de vidro são, provavelmente, a mais antiga embalagem manufaturada. Estima-se que o vidro tenha sido inventado na Ásia há 6.000 anos.

Nas últimas décadas o vidro passou a competir com o metal, sobretudo com o plástico, principalmente no envase de líquidos.

O vidro é um material obtido pela fusão de compostos inorgânicos (ver Tabela 1), a altas temperaturas, e resfriamento da massa resultante até um estado rígido, não-cristalino.

Uma característica especial das embalagens de vidro é a possibilidade de serem reutilizadas após o consumo do produto, sem perdas em suas propriedades, o que, para os dias de hoje, é uma grande vantagem. Assim, o vidro é uma excelente alternativa para um mundo realmente preocupado com problemas ambientais (ABIVIDRO, 2000).

As embalagens de vidro sofreram estagnação do consumo na primeira metade dos anos 90, quando começaram a sentir a concorrência de outros tipos de embalagens, sobretudo as plásticas.

Segundo a cervejaria Kaiser, nos EUA, por exemplo, 75% das embalagens de cerveja são descartáveis, devido ao consumo nas residências ser muito elevado, o que não ocorre no Brasil, onde as pessoas preferem consumir o produto, principalmente, em bares e restaurantes. Já na Europa a embalagem retornável é símbolo de economia financeira e respeito ao meio ambiente, principalmente na Dinamarca, na qual 100% do mercado é de retornáveis (SANTOS,1996).

## GERAÇÃO DE RESÍDUOS E RECICLAGEM

Estamos vivenciando um momento de transformação na sociedade atual que, cada vez mais, preocupa-se com a qualidade de vida e os problemas ambientais. Apesar de o consumo de embalagens descartáveis ter alcançado a preferência do consumidor, existe a preocupação com a destinação final dessas embalagens, visto o aumento de seu volume no lixo urbano.

O Brasil produz cerca de 242.000 toneladas de lixo diariamente, destes, cerca de 76% ficam a céu aberto e

apenas 24% recebem tratamento mais adequado (VILHENA, 2000). A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – PNSB, 1989, realizada pelo IBGE, editada em 1991, mostrou que o aumento populacional, bem como o crescimento da urbanização, não foi acompanhado de medidas necessárias para dar ao lixo gerado um destino adequado.

Um estudo realizado pela Environmental Protection Agency (EPA), na prevenção de geração de resíduos no setor de embalagens, propõe as seguintes práticas (JENKINS,1991):

1 – Redução na quantidade de matéria-prima utilizada por unidade de produto. Um exemplo disso são as tecnologias usadas na indústria de garrafas, que vêm conseguindo baixar o peso das mesmas. Segundo Franklin e Associates, de 1972 a 1987 a indústria vidreira norte-americana baixou o peso das garrafas retornáveis em 44%.

2 – Aumento da média do tempo de vida de bens duráveis e semi-duráveis, reduzindo-se as trocas.

3 – Substituição de garrafas *one-way* usadas uma única vez por garrafas reutilizáveis, além de aumentar o número de reutilizações das garrafas.

4 – Redução no consumo de bens, persuadindo as pessoas a moderarem

suas necessidades e desejos, o que leva a radicais mudanças no estilo de vida.

Um setor importante na indústria de embalagem é o *design* de novos produtos baseados nos possíveis impactos causados. Um estudo realizado na Noruega, no setor de embalagens, demonstrou que dentre 275 tipos de embalagens estudadas no período de 1992 a 1996, 215 embalagens sofreram mudanças que envolveram pequenas modificações como o uso de materiais mais leves, remoção de material supérfluo e aumento do volume; em 40 casos as mudanças foram mais significativas, envolvendo o uso de material reciclado e substituição da matéria-prima utilizada, e, em 20 casos, as mudanças foram grandes, com a introdução de materiais reutilizáveis, o que determinou novas estruturas na indústria e novas atividades para a limpeza e coleta (HEKKERT et al, 2000).

Opções e políticas voltadas à redução de resíduos incluem o uso de regulamentações, incentivos fiscais e esforços voluntários. As maiores mudanças favoráveis produzidas no setor de embalagens para redução de resíduos atenderam à redução de custos, ao invés de focalizar a redução de resíduos (SELKE, 1994).

Uma das práticas adotadas para destinação ideal das embalagens é a reciclagem, em que elas podem ser desviadas dos aterros para a manufatura de bens. A reciclagem traz benefícios, como:

- Diminuir a quantidade de lixo, aumentando a vida útil dos aterros.
- Preservar recursos naturais.
- Economizar energia.
- Diminuir a poluição do ar e água.
- Gerar empregos por meio das recicladoras.

Existem duas formas distintas de realização da reciclagem: *closed-looping recycling*, quando o reuso ou a

Matéria	Óxido	Função
Areia	SiO <sub>2</sub>	Formador
Calcário	CaO	Estabilizante
Dolomita	MgO	Estabilizante
Feldspato	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Estabilizante
Barrilha	NaO	Fundente
Sulfato de Sódio	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Afinante
Ferro, Cromo, Cobalto e Selênio		Corantes

Tabela 1 – Principais matérias-primas utilizadas na produção do vidro

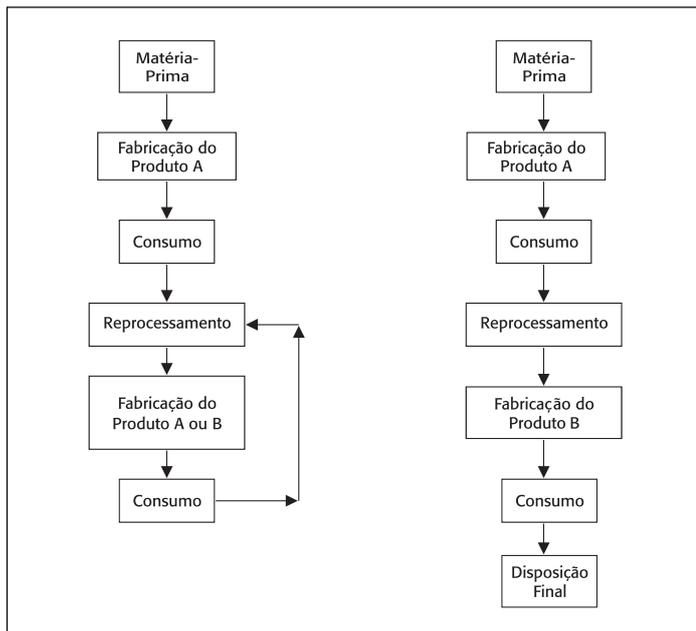


Figura 1 – Diferentes processos de reciclagem  
Fonte: CURRAN, 1996

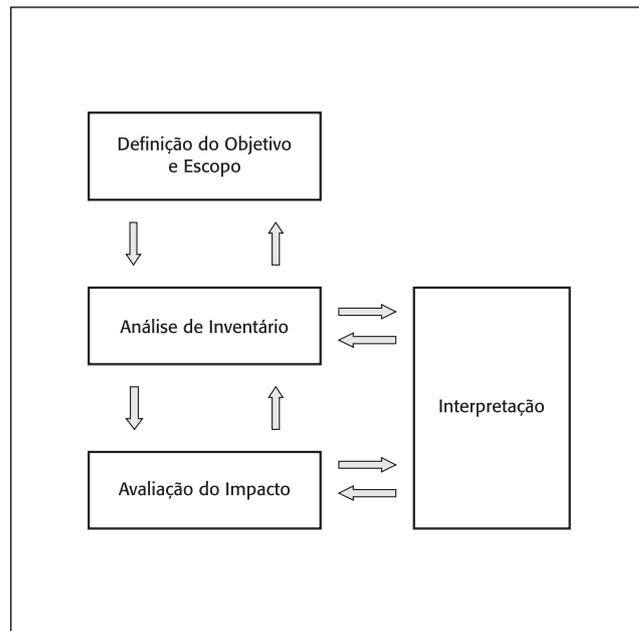


Figura 2 – Etapas da análise de ciclo de vida  
Fonte: CURRAN, 1996

reciclagem são ilimitados, desviando para sempre o material da disposição final, como no caso da garrafa de vidro, que pode ser reutilizada diretamente ou pela reciclagem dos cacos, em caso de inutilização da garrafa original, entrando como matéria-prima de uma nova garrafa.

Quando o produto é reutilizado para a fabricação de outro produto, temos um *open-loop recycling*: o material é desviado do aterro por algumas vezes para servir de matéria-prima a outro o qual, em determinado momento, não poderá ser reutilizado e seguirá para o aterro, como no caso do PET reutilizado para fazer carpete. A Figura 1 mostra o esquema dos processos de reciclagem.

Uma grande diferença no consumo de material e energia para a manufatura, extração e emissões envolvidas podem ser observadas nos dois processos, uma vez que na reciclagem *closed looping* o produto pode ser reutilizado infinitamente e o impacto inicial da extração da matéria virgem acaba se tornando reduzido ao longo do ciclo de vida do produto.

## ANÁLISE AMBIENTAL DE CICLO DE VIDA

Todos os produtos utilizados pela sociedade moderna têm um impacto sobre o meio ambiente, relacionado com diversos fatores que ocorrem durante as fases de extração da matéria-prima, produção, uso e disposição final. As diversas etapas da Análise de Ciclo de Vida podem ser observadas na Figura 2.

De acordo com o Society of Toxicology and Chemistry, (SETAC, 1991), *“A Análise de Ciclo de Vida (ACV) tem como objetivo avaliar as cargas ambientais associadas com um produto, processo ou atividades relacionadas a ele para identificação e quantificação da energia e materiais usados, além das descargas para o ambiente. As informações geradas podem servir para análise e implementação de oportunidades a fim de influenciar melhorias ambientais, abrangendo desde a extração, o*

*processamento da matéria-prima, a manufatura, o transporte e a distribuição; o uso e reuso; a manutenção; a reciclagem e a disposição final.”*

O principal objetivo da Análise de Ciclo de Vida é a obtenção, por uma visão global e completa, de subsídios que definam os efeitos ambientais, implementando melhorias nesses efeitos.

Uma das restrições ao uso da ACV é sua complexidade, ocasionando custos altos em sua elaboração, além da necessidade de uma grande quantidade de dados devido à sua abrangência, o que pode levar a uma extrema dificuldade de interpretação (BOUSTEAD, 1998). Esses problemas podem ser contornados a partir do momento em que se delimita e formula-se, claramente, os objetivos do trabalho.

Um dos passos utilizados em uma ACV é a análise de inventário, que identifica e quantifica a energia e os materiais utilizados, emissões e o esgotamento dos recursos. Algumas

análises podem limitar seu foco para aspectos particulares da Análise de Ciclo de Vida.

Em um momento em que se intensifica a busca por tecnologias mais limpas para os processos industriais e os produtos, no sentido de evitar-se a poluição e os desperdícios de recursos naturais, o uso de ACV pode e deve ter um papel central definido no uso de tecnologias limpas, buscando alternativas aos meios convencionais de indústrias altamente competitivas.

## METODOLOGIA

Os dados coletados para esse estudo foram obtidos diretamente de indústrias e distribuidoras que atuam no setor nacional, principalmente na região Sudeste do Brasil, obedecendo a parâmetros usados na ACV, no qual os dados devem estar limitados a uma certa região geográfica.

O escopo desse trabalho se limita ao levantamento dos dados relativos ao consumo de energia e emissão de dióxido de carbono, na distribuição e transporte para a disposição final em aterros. Não foram consideradas as etapas de produção das garrafas, lavagem, bem como a extração da matéria-prima utilizada. Na análise do consumo de energia com o transporte não foi considerada a energia gasta na extração e refino do óleo diesel. A Tabela 2 mostra os dados coletados nas empresas: Forquímica, situada em Jaguariúna e Transportadora Americana, da cidade de Americana, ambas no estado de São Paulo.

Os dados obtidos na empresa Distribuidoras de Bebidas de Jaguariúna (DBJ) são apresentados na Tabela 3, e referem-se à capacidade de carga dos diferentes caminhões utilizados.

Carreta		Truck	
Carga	Consumo	Carga	Consumo
Vazio	2,8 km/l	Vazio	4 km/l
10 Toneladas	2,5 km/l	7 Toneladas	3,8 km/l
20 Toneladas	2,2 km/l	12 Toneladas	3,6 km/l
25 Toneladas	1,9 km/l	14 Toneladas	3,5 km/l

Tabela 2 – Consumo de combustível na região Sudeste

Embalagem	Truck	Carreta
Garrafa de Vidro 600 ml	12.096 unidades	20.736 unidades
Garrafa de PET 600 ml	19.008 unidades	31.680 unidades

Tabela 3 – Capacidade do caminhão

Capacidade do Caminhão	23	m <sup>3</sup>
Densidade do Lixo	250	kg/m <sup>3</sup>
Peso da Carga	5.750	kg
Consumo de Combustível	0,267	l/km
Distância	55	km

Tabela 4 – Dados da destinação final

Para efeito de simplificação das comparações entre as duas embalagens, de PET e de vidro, foram utilizadas garrafas com o mesmo volume de líquido. No Brasil as garrafas de cerveja de vidro retornáveis existentes no mercado têm capacidade de 600 ml. Também no Brasil o mercado de refrigerantes possui uma garrafa de PET com o mesmo volume. Ambas foram analisadas sempre levando em consideração o consumo e a emissão para 1.000 litros de bebida.

O consumo de combustível foi analisado em dois tipos diferentes de caminhão, já que para pequenas distâncias e distribuição dentro das cidades são utilizados caminhões tipo *truck* e para distâncias maiores, em estrada, do tipo *carreta*.

Quanto ao consumo de combustível, identificamos que, devido à relação peso/volume das embalagens, o consumo de combustível na distribuição pode variar,

pois algumas embalagens ocupam menos espaço que outras. Também varia o consumo com o retorno à indústria com apenas o vasilhame vazio e sem o vasilhame, levando em consideração a reutilização de garrafas, já que somente as garrafas reutilizáveis devem retornar à indústria para serem lavadas e enchidas novamente para o reuso. Para isso, foram utilizados diferentes consumos de acordo com o peso da carga, sendo que, para garrafas não-retornáveis foi considerado o consumo de retorno do caminhão vazio. O combustível utilizado foi o óleo diesel, sendo esse o combustível utilizado para transporte de carga no Brasil.

O cálculo da coleta e transporte do lixo ao aterro usou os dados obtidos no Departamento de Limpeza Urbana do município de Campinas.

A média de reutilização de garrafas de vidro no Brasil, de acordo com o SINDICERV, é de 30 vezes, ou seja, o consumo de combustível na coleta de

Tabela 5 – Características do combustível utilizado

Combustível	PCI	Emissão de CO <sub>2</sub>
Óleo Diesel	42.923 KJ/kg	2,617 kg/kg de combustível

lixo ocorre cada vez que a bebida é consumida em garrafas de PET, já que em embalagens de vidro esse consumo acontece apenas uma vez após 30 vezes de uso.

## APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os cálculos de consumo de energia para cada vasilhame levaram em conta as características do combustível utilizado, no caso, o óleo diesel, conforme Tabela 5.

Na Tabela 6 podemos observar os diferentes valores de consumo e emissão de gás carbônico, com a variação da distância percorrida.

Se levarmos em consideração apenas a distribuição de bebidas, podemos observar que as garrafas de vidro retornáveis, por serem mais pesadas, podem consumir em uma viagem de 400 km, 12,3% a mais de combustível que a garrafa de PET não-retornável, o mesmo acontecendo com os dados relativos à emissão de gás carbônico (Figuras 3 e 4).

Quando consideramos a distribuição do produto, somada ao consumo de combustível devido à coleta para a destinação final das embalagens após o

Distância Ida e volta	Vidro [L diesel]	Vidro Energia [MJ]	Vidro Emissão CO <sub>2</sub> [Kg]	PET [L diesel]	PET Energia [MJ]	PET Emissão CO <sub>2</sub> [Kg]
0	0	0	0	0	0	0
25	13,72	588,98	35,91	13,19	566,35	34,53
50	27,44	1.177,96	71,82	26,39	1.132,69	69,06
75	50,60	2.171,97	132,42	46,68	2.003,69	122,16
100	73,76	3.165,97	193,03	66,97	2.874,70	175,27
125	96,92	4.159,98	253,63	87,27	3.745,70	228,37
150	120,08	5.153,99	314,24	107,56	4.616,70	281,48
175	143,23	6.147,99	374,84	127,85	5.487,70	334,58
200	166,39	7.142,00	435,45	148,14	6.358,70	387,69
225	189,55	8.136,01	496,05	168,43	7.229,71	440,79
250	212,71	9.130,01	556,65	188,73	8.100,71	493,90
275	235,86	10.124,02	617,26	209,02	8.971,71	547,00
300	259,02	11.118,03	677,86	229,31	9.842,71	600,11
325	282,18	12.112,03	738,47	249,60	10.713,72	653,21
350	305,34	13.106,04	799,07	269,90	11.584,72	706,32
375	328,50	14.100,04	859,67	290,19	12.455,72	759,42
400	351,65	15.094,05	920,28	310,48	13.326,72	812,53

Tabela 6 – Variação do consumo de energia e emissão de CO<sub>2</sub> no transporte de 1.000 litros de bebida

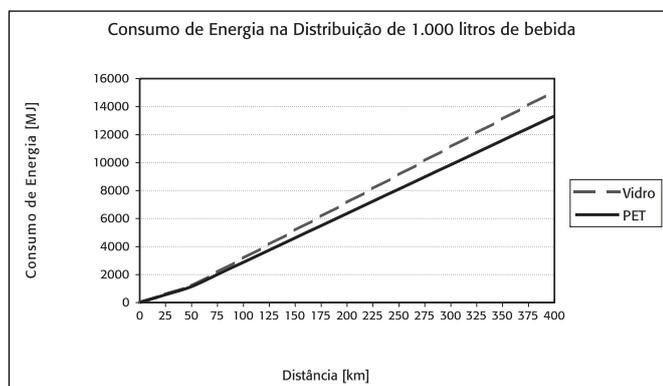


Figura 3 – Variação do consumo de combustível na distribuição de bebidas em garrafas de vidro e de PET

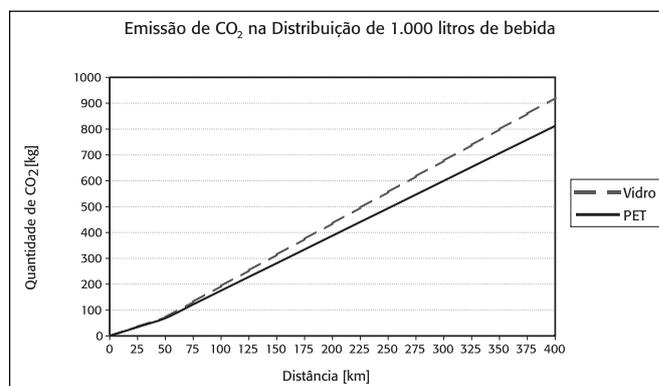


Figura 4 – Variação na emissão de CO<sub>2</sub> na distribuição de 1.000 litros de bebida

uso, as garrafas de vidro retornáveis passam a ter vantagem até uma distância percorrida de 175 km (ver Figura 5). Após esse ponto, o PET passa a ser mais econômico e emitir menos, mas com uma vantagem de apenas 2,4% em uma viagem de 400 km. A Tabela 7 apresenta os cálculos para diversas distâncias percorridas na distribuição.

## CONCLUSÕES

Como temos implantada no Brasil toda a infra-estrutura necessária para a utilização de vasilhames retornáveis, faz-se necessário um estudo completo do ciclo de vida das embalagens, a fim de orientar as indústrias, e implantar políticas em busca da utilização de tecnologias mais limpas no setor.

Essa é a primeira etapa de um trabalho que deverá englobar, além do consumo e emissão de CO<sub>2</sub> na distribuição e na destinação final dos vasilhames, todas as etapas do processo produtivo e as formas de reutilização das embalagens.

Nessa etapa quantificamos o consumo energético e a emissão de CO<sub>2</sub> nas duas opções de embalagem, destacando-se que, graças ao pouco peso, o PET é preferível ao vidro retornável nos quesitos analisados, quando se compara apenas a distribuição do produto da indústria ao consumidor final.

Entretanto, quando se considera as diversas vezes em que a garrafa de vidro é reutilizada antes de seguir para destinação final, essa vantagem, dependendo da distância percorrida na distribuição, não existe ou é muito pequena, o que torna a garrafa de vidro retornável similar à garrafa de PET quanto ao consumo de combustível e às emissões relacionadas à distribuição do produto envasado.

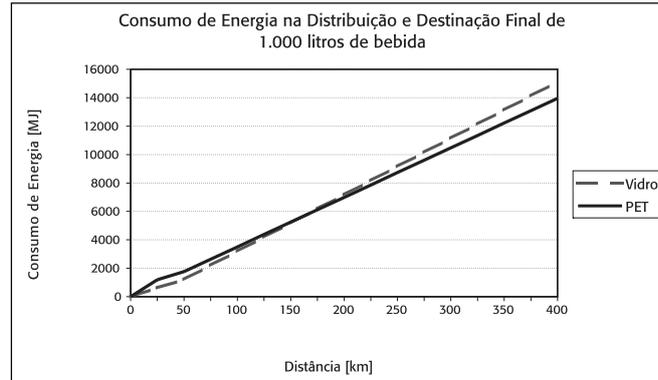


Figura 5 – Consumo energético das garrafas de vidro e de PET na distribuição somada à destinação final das embalagens para 1.000 litros de bebida

Distância Ida e volta	Vidro [L diesel]	Vidro Energia [MJ]	Vidro Emissão CO <sub>2</sub> [kg]	PET [L diesel]	PET Energia (MJ)	PET Emissão CO <sub>2</sub> [kg]
0	0	0	0	0	0	0
25	14,21	609,99	37,19	27,88	1.196,63	72,96
50	27,93	1.198,97	73,10	41,07	1.762,97	107,49
75	51,09	2.192,98	133,71	61,37	2.633,97	160,59
100	74,25	3.186,99	194,31	81,66	3.504,98	213,70
125	97,41	4.180,99	254,91	101,95	4.375,98	266,80
150	120,56	5.175,00	315,52	122,24	5.246,98	319,91
175	143,72	6.169,00	376,12	142,53	6.117,98	373,01
200	166,88	7.163,01	436,73	162,83	6.988,99	426,12
225	190,04	8.157,02	497,33	183,12	7.859,99	479,22
250	213,20	9.151,02	557,93	203,41	8.730,99	532,33
275	236,35	10.145,03	618,54	223,70	9.601,99	585,43
300	259,51	11.139,04	679,14	243,99	10.473,00	638,53
325	282,67	12.133,04	739,75	264,29	11.344,00	691,64
350	305,83	13.127,05	800,35	284,58	12.215,00	744,74
375	328,99	14.121,05	860,96	304,87	13.086,00	797,85
400	352,14	15.115,06	921,56	325,16	13.957,05	850,96

Tabela 7 – Cálculo do consumo e emissão na distribuição e coleta do vasilhame de vidro e de PET para a disposição final

## BIBLIOGRAFIA

ANJOS, C. A. R. *Aplicação da energia de microondas na secagem da resina de polietileno tereftalato (PET)*. 1998. 113p. Tese (Doutorado) – FEA, Universidade de Campinas, Campinas, 1998.

ANUÁRIO ABIVIDRO. São Paulo, 2000, 67p.

BOLETIM TÉCNICO DO CETEA, *Novas Tecnologias para um maior desenvolvimento na área de embalagens de vidro*. Campinas, v. 9, n. 4, jul./ago. 2000.

\_\_\_\_\_. *Você conhece o lado químico do PET*. v. 8, n. 4, Campinas, jul./ago., 1999.

BOUSTEAD, I. *Plastics and Environmental, Radiat. Phys. Chem.* v. 5, n. 1, p. 23-30, 1998.

CURRAN, M. A. *Environmental Life-Cycle Assessment*. USA, 1996.

HARTWIG, K. *Innovative PET technology for Soft Drinks, Mineral Waters, Fruit Juices and Beer*. *Kunststoffe Past Europe*, Alemanha, p. 809-814, 1998.

HECKERT, M. P. et al. *Reduction of CO<sub>2</sub> emissions by improved management of material and product use: the case of primary packaging*. *Resources Conservation and Recycling*, v. 29, p. 33-64, 2000.

JENKINS, W. A.; HARRINGTON, J. P. *Packaging food with plastics*. Lancaster: Technomic, 1991, 326p.

KELSEY, R. J. *Packaging in today society*. Lancaster: Technomic, 1990, 141p.

MANUAL DE COMBUSTÃO E COMBUSTÍVEIS INDUSTRIAIS. 5. ed.; ESSO Brasileira de Petróleo; jul. 1985.

MATHIAS, J. *Análise setorial: A indústria de refrigerantes e água*. *Gazeta Mercantil*, São Paulo, p. 235, out. 1998.

SANTOS, J. B. B. *Análise Setorial: A indústria de cerveja*. *Gazeta Mercantil*, São Paulo, p. 266, 1996.

SELKE, S. E. M. *Packaging and the environment alternatives, trends and solutions*. Lancaster: Technomic, 1994. 179p.

SONG, H. S.; HYUN, C. J. *A study on the comparison of the various waste management scenarios for PET bottles using life cycle assessment methodology*. *Resources, Conservation and Recycling*, n. 27, p. 267-284, 2001.

VIDALES, G. M. D. *El envase en el tiempo: história del envase*. México: Trillas/UAM, 1996. 445p.

VILHENA, A.; D'ALMEIDA M. L. O. *Lixo municipal: Manual de Gerenciamento Integrado*. São Paulo: CEMPRE/IPT, 2000. 370p.

## RESUMO

Neste trabalho se descreve o processo de educação ambiental envolvido na implantação do Programa Futuro Limpo (Programa Municipal de Redução e Controle de Resíduos) no município de São Carlos, SP. Este programa se iniciou com a coleta seletiva de resíduos de papel na administração municipal, e a coleta seletiva de material reciclável em um bairro da cidade. Ele tem como base as resoluções da Agenda 21, e a aplicação do princípio dos "3 Rs" (redução, reutilização e reciclagem). Os objetivos desse programa são a sensibilização e a conscientização da comunidade, a promoção de uma revisão de valores e hábitos de consumo, a formação de massa crítica sobre as questões ambientais e a responsabilidade de cada cidadão na busca de melhores condições de vida para todos. Além disso, o desvio de materiais para a reciclagem permite o aumento da vida útil do aterro sanitário, que já está em fase de ampliação devido ao esgotamento da área atual. A coleta seletiva permite também a inclusão social com geração de renda, por meio do envolvimento dos atores sociais que já trabalham, de maneira informal, na coleta de material reciclável. Atuam no programa 10 membros de um grupo de aproximadamente 40 pessoas que trabalhavam no aterro coletando resíduos recicláveis. O trabalho educativo se baseou no contato pessoal com os moradores da região, realizados por agentes ambientais preparados para conversar com os moradores sobre as alternativas para reduzir a geração de resíduos, e convidá-los a colaborar com o programa. Outra metodologia utilizada é a realização de reuniões chamadas: "Encontro para um Futuro Limpo", nas quais os participantes são convidados a participar e trazer suas dúvidas e sugestões para o programa. Para o trabalho educativo no âmbito da educação formal foram elaboradas cartilhas permanentes para uso com o público infantil, e uma apostila com informações e dicas sobre redução e controle de resíduos.

## ABSTRACT

This article presents the environmental education process involved in the Municipal Waste Reduction and Control Program – Clean Future – developed in São Carlos, SP. The program follows the guidelines Reduce, Reuse and Recycle, and aims to promote a revision of consumer habits and values, the creation of a critical conscience towards environmental issues and the importance of the participation of each citizen in the quest for a better future for all. Besides that, the program also has a strong social commitment, because it allows the inclusion of people that already work in the collection of recyclable materials under extreme conditions at the municipal landfill. The Clean Future Program works in two major fronts: paper collection in the municipal administration and a community curbside recycling program. The environmental education process was based on personal contact with the community, which was achieved by home visits, and group meetings, during which the participants are lead to reflect on issues such as consumerism, waste, and alternatives like the Clean Future Program.

## A EDUCAÇÃO AMBIENTAL NO SISTEMA DE COLETA SELETIVA DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO MUNICÍPIO DE SÃO CARLOS – PROGRAMA FUTURO LIMPO

Elke Cliquet \*

Marcelo Augusto Rossi e Simões

Paulo Seske Shiroma

Ana Cristina Werebe de Araújo

Francelino L. de Miranda Grandó

Universidade Federal de São Carlos.

Secretaria Municipal de Desenvolvimento Sustentável,  
Ciência e Tecnologia – Prefeitura Municipal de São  
Carlos - SP.

\* ediquet@terra.com.br

Edna Kunieda

Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada –  
CRHEA / USP.

Secretaria Municipal de Desenvolvimento Sustentável,  
Ciência e Tecnologia – Prefeitura Municipal de São  
Carlos - SP.

Flávia Thiemann

Paulo José P. Mancini

Reynaldo Norton Sorbille

Yashiro Yamamoto

Secretaria Municipal de Desenvolvimento Sustentável,  
Ciência e Tecnologia – Prefeitura Municipal de São  
Carlos - SP.

## INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos são encarados como um grande problema ambiental, tanto pela quantidade gerada como pela toxicidade de alguns rejeitos. A quantidade relativamente alta de resíduos sólidos urbanos gerada está relacionada diretamente com os hábitos de consumo. Entende-se, então, que a implantação da coleta seletiva deve estar acompanhada de um programa de educação ambiental, no qual o papel e a importância do cidadão devem ser destacados na cadeia desse processo. Compreende-se também que a educação ambiental deve basear-se nas resoluções da Agenda 21 de 1992, na qual o princípio dos “3Rs” é apontado como a solução ou minimização dos problemas relacionados aos resíduos sólidos: redução ao mínimo dos resíduos; aumento ao máximo da reutilização e reciclagem ambientalmente saudáveis dos resíduos (AGENDA 21, 1996).

A cidade de São Carlos gera atualmente cerca de 4.100 toneladas de lixo por mês, ou uma média de 136 toneladas por dia. Estima-se que até 30% do lixo enviado para o aterro sanitário seja composto pelo chamado material reciclável seco, tais como vidro, papel, plástico e metais. Além dos resíduos sólidos domiciliares, coletados por empresa contratada para esse fim, outras 40 toneladas de lixo chegam todos os dias ao aterro, provenientes de grandes geradores, como as indústrias. Os resíduos de feiras livres e varrição de ruas também são levados para o aterro sanitário.

No início de 2001, quando a atual administração assumiu o município, aproximadamente 40 pessoas trabalhavam no aterro sanitário catando material reciclável em meio ao lixo. Além

dos riscos de acidentes e danos à saúde inerentes à atividade, esse grupo compartilha também o estigma de ser associado ao material do qual retira seu sustento: o lixo. São trabalhadores, pais e mães de família que se expõem diariamente às duras e insalubres condições do aterro sanitário para garantir sua sobrevivência.

Para buscar uma alternativa de trabalho para essas pessoas, a prefeitura municipal de São Carlos, por intermédio da Secretaria Municipal de Desenvolvimento Sustentável, Ciência e Tecnologia, criou o *Programa Municipal de Redução e Controle de Resíduos – Futuro Limpo*. Em sua primeira fase, o Programa Futuro Limpo atua em duas frentes: um sistema de redução de resíduos de papel dentro da administração municipal, visando à redução do consumo e à coleta seletiva de papel; e um projeto piloto de coleta seletiva de material reciclável na área urbana. O objetivo final é a criação de um plano de gerenciamento de todos os resíduos sólidos no município.

A sensibilização e conscientização da comunidade, a promoção de uma revisão de valores e hábitos de consumo, e formação de massa crítica sobre as questões ambientais e a responsabilidade de cada cidadão na busca de melhores condições de vida para todos, são alguns dos objetivos que norteiam o programa de coleta seletiva de São Carlos. Acredita-se também que a coleta seletiva permite a inclusão social com geração de renda, pela possibilidade de envolvimento dos atores sociais que já trabalham, de maneira informal, na coleta de material reciclável em nossa cidade. Nessa primeira etapa, o programa tem como objetivo a retirada dos trabalhadores que estão atualmente no aterro sanitário. Por último, o desvio de materiais para a

reciclagem permitirá o aumento da vida útil do aterro sanitário de nossa cidade, que já está em fase de ampliação, devido ao esgotamento da área de disposição de lixo.

## METODOLOGIA

### O programa na rede administrativa municipal

O Programa Futuro Limpo, já implantado em prédios da administração municipal, localizados na região central da cidade, teve início pelo dimensionamento de um sistema de coleta seletiva de resíduos unicamente de papel. A opção por esse determinado tipo de resíduo deve-se à observação que resíduos de papel e papelão são os mais gerados, em peso, pela rede administrativa, seguido de copos plásticos, os quais são os resíduos mais gerados em termos de volume. Ademais, o descarte e a coleta de resíduos de uma só espécie permitem à equipe uma maior abordagem pedagógica e facilidade na sensibilização dos atores a mudanças reais de hábitos de consumo e descarte desses resíduos. Desse modo, buscou-se no funcionalismo público a formação de agentes multiplicadores que se antecipariam à expansão do projeto piloto de coleta de material reciclável a todo o município.

Uma vez entendida a educação ambiental como um trabalho lento e gradual, a inclusão do funcionalismo público como atores efetivos no processo tornou-se um diferencial desse programa, quando comparado com similares observados em municípios da região.

Em cada unidade administrativa, a implantação do programa se inicia com a realização de um encontro educativo,

no qual são debatidas questões relacionadas ao acúmulo excessivo de lixo, consumo e desperdício, e o papel de cada pessoa para minimizar o problema. O “Encontro para um Futuro Limpo”, como é denominado, é realizado, preferencialmente, no próprio local de trabalho do público-alvo e a apresentação do programa utiliza um projetor de *slides* e dinâmicas de grupo buscando estimular a participação. Todos os funcionários são convidados a participar, desde a direção aos responsáveis pela limpeza, e todo o trabalho educativo é realizado preconizando-se o princípio dos “3 Rs”, conforme recomenda a Agenda 21, priorizando-se, assim, a redução como principal medida para a minimização de resíduos. Folhetos educativos, impressos em papel reciclado, são distribuídos a todos os funcionários no final do encontro, como uma forma de reforço.

Ainda nesse encontro é determinado um responsável local, que desempenhará importante papel no apoio à equipe do Futuro Limpo quanto ao monitoramento e controle do sistema de coleta na unidade. Com o auxílio desse responsável local, é disposto na unidade todo o material necessário (coletores, cartazes indicativos e sacos de rafia retornáveis), bem como acordado todo o sistema que está sendo implantado.

Visando respeitar a especificidade de cada setor administrativo, uma metodologia diferenciada foi desenvolvida para abordagem do programa nas instituições públicas de ensino. Os encontros são realizados somente com os funcionários e professores e não diretamente com os alunos, pois se acredita que o próprio professor deve abordar o aluno, em benefício do processo pedagógico.

Além dos folhetos educativos destinados ao público adulto (funcionários e professores), também

foram elaboradas cartilhas infantis e apostilas didáticas para os alunos e professores, respectivamente. A apostila didática contém informações e dicas sobre redução e controle de resíduos a fim de auxiliar o trabalho de educação ambiental realizado pelos professores nas escolas. Tanto a apostila didática quanto a cartilha infantil foram elaboradas em conjunto com a Secretaria Municipal de Educação e Cultura, e esse material deve ser de uso permanente nas escolas, visando educar a criança no sentido da reutilização e conservação do material escolar.

O sistema de coleta dos resíduos de papel é operacionalizado por uma parceria estabelecida com a Associação para Proteção Ambiental de São Carlos (APASC), uma organização não-governamental sem fins lucrativos. Esta se ocupa, entre outras atividades, de coletar os sacos de rafia contendo os resíduos de papel nas repartições públicas municipais e encaminhá-los a uma central de triagem existente na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), onde o material é separado conforme sua natureza (jornal, papelão, papel branco, etc.), prensado e encaminhado para as indústrias recicladoras.

### **O projeto piloto de coleta seletiva na região da Vila Nery**

A construção do projeto piloto de coleta seletiva na área urbana ocorreu de forma participativa. Em todo o processo, a prefeitura contou com a colaboração do Fórum Comunitário do Lixo, um grupo de entidades e cidadãos interessados na solução das questões relativas ao lixo urbano, além da Comissão Gestora e do Grupo de Educação Ambiental, ambos formados por uma combinação de funcionários da prefeitura e representantes da sociedade. O projeto piloto contempla aspectos

técnicos e operacionais da coleta, além de aspectos educativos relacionados à redução da geração de resíduos.

No processo de educação ambiental, que começou antes do início do programa, uma equipe de quatro agentes ambientais visitou todas as residências e pontos comerciais da área, para entregar um folheto explicativo, conversar com a comunidade sobre o início do mesmo, sugerir opções para a redução de geração de resíduos e formas de participação, baseado em Grimberg, E. e Blauth, P., 1998. O folheto, elaborado de maneira simples e direta, com exemplos de resíduos que podem ou não ser encaminhados ao programa, e no verso há um poema com dicas de redução de resíduos. O trabalho educativo de preparação desses agentes foi realizado em parceria com a ONG-APASC, por meio de um convênio firmado com a prefeitura. O curso de formação dos agentes ambientais teve como objetivo formar pessoas capazes de sensibilizar a comunidade a participar da busca de soluções para as questões relacionadas ao excesso de lixo e à coleta seletiva.

Por meio da aplicação de um formulário foi feito um diagnóstico prévio sobre o nível de conhecimento e interesse da comunidade residente no bairro Vila Nery, eleito como bairro piloto para a implantação do Programa de Coleta Seletiva no município de São Carlos.

A partir da aplicação do formulário, análise e sistematização dos dados, pretendeu-se estabelecer um primeiro contato com a comunidade, despertando o interesse na coleta seletiva; verificou-se qual grau de adesão ao programa poderia ser esperado, e buscou-se avaliar o nível de participação da comunidade após a implantação do programa, mediante a aplicação de novos questionários.

Para o trabalho com a comunidade, entendeu-se que a ação dos agentes ambientais seria diferenciada para os diversos atores que a compõem. Esse trabalho está detalhado na apresentação dos resultados.

Como esquema de comunicações interativo, para que a população, além de receber informações, faça comentários, críticas, elogios e/ou dê sugestões, foi disponibilizado um ramal telefônico. Além disso, deverá ser realizada uma série de encontros para que a comunidade possa manifestar-se e ajudar a construir o programa.

Na semana anterior ao lançamento da coleta seletiva foi promovido pela SMDS o 1º Encontro para um Futuro Limpo, que convidou a comunidade da Vila Nery a um debate sobre coleta seletiva, além de apresentar o programa propriamente dito. A finalidade desse evento foi esclarecer dúvidas e fornecer orientações finais. O convite, feito por meio de uma filipeta, e entregue pelos agentes ambientais.

Para manter um canal aberto com a população foi planejada a promoção de encontros no bairro após lançamento da coleta seletiva – Encontro Futuro Limpo. O primeiro desses encontros se realizou duas semanas após o início da coleta. O objetivo era discutir os problemas, dúvidas e sugestões da comunidade. Esses encontros serão o espaço utilizado para o oferecimento de oficinas de reaproveitamento e compostagem.

## APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Quanto aos resultados referentes à coleta de resíduos de papel na administração pública, observações qualitativas decorrentes do

monitoramento da coleta podem ser feitas. Uma análise subjetiva aponta uma sensível melhora no conteúdo e qualidade do papel coletado. Após a realização dos encontros educativos, observou-se a diminuição de outros resíduos misturados ao papel. No início do processo eram encontrados todo tipo de resíduos, inclusive orgânicos, misturados ao papel. Em contrapartida, o papel coletado se encontra ainda excessivamente picado em pequenos pedaços, dificultando o trabalho de triagem. Assim, esses resíduos são encaminhados à prensagem com o papel de menor valor agregado, em vez de ser prensado como papel de primeira.

Está sendo efetuada uma análise quantitativa dos resíduos coletados, assim como uma análise qualitativa com critérios classificatórios predefinidos.

A coleta seletiva na área urbana é semanal, de segunda a quinta-feira, visando atender a toda a região. O sistema de coleta adotado é “porta a porta” e os coletores recolhem os materiais em sacos de ráfia, que são levados até o caminhão. O caminhão da coleta seletiva no início foi alugado provisoriamente pela prefeitura, com serviço de motorista e combustível inclusos no preço. É um caminhão de carroceria aberta, no qual foi adaptada uma gaiola de tela, o que aumenta a capacidade de carga do caminhão para 2,5 toneladas. Atualmente o caminhão é patrocinado pela empresa VEGA Engenharia Ambiental e Instituto VEGA.

A Central de Triagem de Material Reciclável está equipada com duas prensas verticais e uma horizontal; balança, empilhadeiras manuais e carrinhos para transportar as bombonas plásticas nas quais são colocados os vidros selecionados. Todos os equipamentos foram comprados pela

prefeitura, a um custo total de aproximadamente R\$ 40 mil. Além do investimento em equipamentos, a prefeitura também reformou uma casa, situada ao lado do galpão, para servir de escritório, vestiário e cozinha para os trabalhadores.

Dos resíduos coletados, uma pequena parte é rejeito que, após a triagem, é separado e enviado para o aterro. O restante do material fica estocado na central de triagem, aguardando ser prensado e vendido. A receita gerada com a venda do material é revertida integralmente para os trabalhadores do programa, devido à compreensão que a população de São Carlos envolve-se no programa de coleta seletiva, com consciência ecológica e generosidade, visando gerar renda para os catadores.

A opção de coletar os materiais em cada casa foi feita para reduzir o risco de perder os mesmos que, ao serem colocados na rua, poderiam ser recolhidos por outras pessoas antes da passagem de nossa equipe. Como esse método está acarretando demora no processo, estamos estudando a opção de pedir à população que coloque os recicláveis na rua para serem recolhidos. Poderá ser utilizado um sistema de som no caminhão da coleta, para avisar sobre sua chegada.

O poema, com dicas de redução, que está no folheto da coleta seletiva, foi musicado e o refrão deverá servir como o tema da mesma.

Quanto à qualidade dos recicláveis entregues, ainda será necessário um trabalho com a população, uma vez que o material nem sempre está limpo e seco, conforme pedido. E alguns materiais não-recicláveis, como o isopor, são entregues com frequência.

Quanto ao trabalho dos agentes ambientais, apenas parte dos objetivos foi cumprida:

1. Visitas às residências: O trabalho de sensibilização da comunidade da Vila Nery para a participação na coleta seletiva, feito por visitas às residências e conversas com os moradores. Durante essa conversa foram fornecidas dicas de redução de geração de resíduos, compostagem, e de como encaminhar os materiais para a coleta seletiva. Os agentes ambientais estavam preparados para responder às perguntas e adequar o bate-papo aos interesses do morador. Foi entregue um folheto do programa, no qual estava marcado o horário da coleta naquele local.

2. Visitas a locais de agregação de pessoas: Centros comunitários, associações de moradores, igrejas e templos e condomínios são considerados locais privilegiados para o desenvolvimento de trabalho educativo e instalação de PEVs e composteiras comunitárias. Em um primeiro momento, os agentes ambientais deveriam ir a esses locais para divulgar o início da coleta seletiva, e oferecer a possibilidade de agendamento de visita de educadoras para aprofundamento das conversas com o grupo. Quanto aos condomínios, os síndicos deveriam ser procurados para que, com as educadoras, buscassem viabilizar a coleta de material no local. Até o momento apenas uma igreja foi procurada e ajuda na divulgação do programa. Em relação aos condomínios, o grau de participação é variável. Apenas alguns aceitaram promover uma reunião com os moradores. Nos edifícios em que a participação é melhor, geralmente há um(a) morador(a) empenhando para a coleta funcionar.

3. Conversa com os catadores de recicláveis que já atuam na área: Estes deverão ser tratados como parceiros em potencial, não como competidores. Os agentes ambientais deveriam

procurar conversar com os catadores que encontrarem e explicar o programa, pedindo sua colaboração para auxiliar a viabilidade do mesmo. Os moradores que já separam material reciclável e entregam a um catador são aconselhados a manter esta prática. O contato com os catadores infelizmente ainda não foi estabelecido, e já há alguns problemas, como, por exemplo, o material acumulado em esquinas para a coleta pelo caminhão é levado antes por algum catador autônomo. Também há denúncias de pessoas que se apresentam como sendo do programa, a fim de recolher os resíduos antes da passagem do grupo.

4. Conversas com os comerciantes: A SMDS deverá buscar uma parceria com os comerciantes por meio de contato com o presidente da Associação Comercial e Industrial de São Carlos (ACISC). Entende-se que esse é um trabalho muito importante, talvez demandando um período maior de tempo, mas que a adesão dos comerciantes aconteça de maneira gradativa, ao longo do tempo. Esse trabalho ainda não foi iniciado.

5. Visitas agendadas: Será atribuição das educadoras da SMDS visitas agendadas para grupos de, no mínimo, cinco moradores do bairro piloto, para maiores esclarecimentos com relação ao programa de coleta seletiva e possibilidades de redução na geração de resíduos. Até o momento não buscamos oferecer essa alternativa.

6. Visitas às escolas: A sensibilização para a questão ambiental gerada pelo lixo começará com os professores. Os horários de treinamento pedagógico coletivos serão utilizados para a realização de um "Encontro para um Futuro Limpo". Caberá, então, aos professores, escolher qual a maneira de trabalhar a questão com seus alunos, visto aqui como potenciais agentes

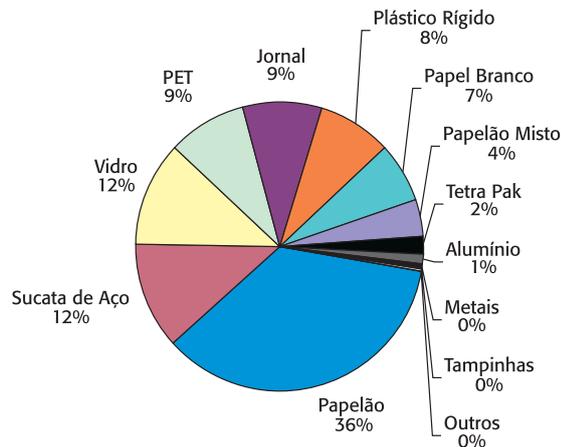
multiplicadores (ou editores). O material a ser distribuído para os alunos do ensino fundamental até a 6ª série será a cartilha "*A menina, uma tarde e a sombra fresca de uma árvore*", em uma nova versão que contemple todos os tipos de resíduos a serem coletados pelo programa (atualmente a cartilha trata apenas da coleta de papel). Uma lista de sugestões de atividades em educação ambiental (EA) estará sendo disponibilizada aos professores, para abranger as demais séries, que adaptarão seu conteúdo de acordo com o formato de sua disciplina. Se a escola adotar um Posto de Entrega Voluntária (PEV) de material reciclável, o programa de EA orientará os docentes sobre como incentivar seus alunos a utilizá-lo adequadamente. Uma outra estratégia é estabelecer parceria com o Centro de Divulgação Científica e Cultural (CDCC/USP), que já possui um programa próprio sobre a questão dos recicláveis. Alguns encontros foram realizados, a maioria em escolas municipais, no âmbito do programa interno.

### **Os trabalhadores da coleta e a equipe da prefeitura**

Trabalham atualmente no programa, como coletores, 18 pessoas, parte das quais antes recolhiam material reciclável no aterro sanitário. Esses trabalhadores já estão recebendo auxílio para a retirada de documentos pessoais, que a maioria não possuía ou os tinha em situação irregular. Além disso, recebem orientação na organização do trabalho, seguro individual e equipamentos de proteção individual e coletiva. A equipe da prefeitura é formada por membros das secretarias municipais de Desenvolvimento Sustentável, Ciência e Tecnologia (SMDS); Cidadania e Assistência Social (SMCAS), e Obras e Serviços Públicos (SMOSP). A equipe

### Programa de Coleta Seletiva Distribuição em Peso

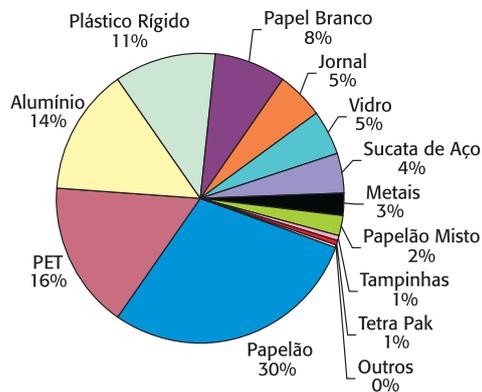
Período coletado (junho a outubro)



Fonte: Autores

### Programa de Coleta Seletiva Distribuição por Valores

Período coletado (junho a outubro)



Fonte: Autores

está trabalhando para fomentar a organização desses trabalhadores em uma cooperativa de catadores. Para tanto, uma tarde por semana é dedicada às reuniões de avaliação do trabalho e discussões sobre a criação da cooperativa. O objetivo é constituir um empreendimento que tenha como pressuposto de organização o modelo autogestionário, em que as decisões e o controle da cooperativa são exercidos por seus próprios associados.

A logística da coleta, bem como as organizações do trabalho e do espaço do galpão de triagem foram elaboradas pela Comissão Gestora e pela ONG-RAMUDA – Ramos que Brotam em Tempo de Mudança, a qual está assessorando a equipe da coleta seletiva, via convênio com a prefeitura.

### Dados preliminares da coleta seletiva na área urbana

Os gráficos ao lado mostram os dados obtidos durante os cinco meses iniciais da coleta seletiva. A pesagem de cada resíduo segregado é realizada apenas no momento da venda, quando já prensado em fardos. Os gráficos refletem a proporção entre os resíduos comercializados no período. O primeiro gráfico reflete a proporção em peso, e o segundo a relação entre os valores obtidos com a venda.

Está excluído do cálculo final o peso dos sacos e sacolas plásticas entregues ao programa, porque ainda não foi efetuada nenhuma venda, e então não foram pesados. Uma parte do material coletado nas residências é rejeito, por não ser reciclável. Nesse grupo estão, principalmente, o isopor e resíduos de tipo hospitalar, mas de uso domiciliar, como seringas de injeção de insulina. O rejeito é descartado semanalmente, e não é pesado.

## CONCLUSÕES

Implantar a coleta seletiva de resíduos no município de São Carlos, iniciando-se pelo bairro piloto da Vila Nery, pressupõe um programa de educação ambiental, no qual objetive a sensibilização da comunidade sobre a problemática causada pelo lixo e, em um sentido global, suscite questionamentos sobre a insustentabilidade de nossas ações diante do meio ambiente. Este entendido em um contexto que abranja a interdependência entre o meio natural, o socioeconômico e o cultural.

Para que a coleta seja bem-sucedida o material reciclável deverá ser, previamente, separado na fonte geradora (residências e estabelecimentos comerciais), o que torna a participação da comunidade essencial. Embora exista uma tendência entre as prefeituras no investimento em campanhas, tipicamente intensas e de curta duração, e haja necessidade de intensificar-se a divulgação em certos momentos, é fundamental um trabalho constante com a população. Entende-se que todo processo educativo requer continuidade, e a mesma sinalizará a eficácia da coleta, possibilitando a avaliação de erros e acertos, e o ajuste adequadamente aplicado à realidade local.

Para que a ação seja provida de reflexão, ou seja, o "porquê" fazer, é necessário destacar em que sentido as pequenas mudanças de hábito podem minimizar impactos no meio ambiente. A coleta seletiva não é a solução definitiva, mas, atualmente, uma medida ambientalmente viável a oferecer menor custo e risco que o aterro sanitário, aumentando a vida útil do mesmo; ela reintroduz alguns tipos de materiais na cadeia produtiva de embalagens e demais objetos, além de servir como um instrumento que promove a inclusão social dos catadores os quais sobrevivem

em meio inóspito. Estes últimos, muitas vezes, pouco conscientes de seu papel fundamental como agentes ambientais.

Ainda assim, o grande norteador da campanha educacional é elucidar que a cultura do consumo, além de geradora de desperdício, estabelece-se em bases falsas: os recursos naturais se esgotam quando se ultrapassam os limites ambientais, ou seja, as regras naturais de conservação e regeneração. Para atingir esse objetivo, a orientação na comunidade, em ordem hierárquica, privilegia a redução da geração de resíduos, o reaproveitamento e o encaminhamento para reciclagem.

O recolhimento do material para reciclar não é considerado o eixo condutor do programa, embora parte fundamental do mesmo. Essa etapa deve ser bem realizada, atrelada ao trabalho de educação ambiental que esclarecerá a comunidade sobre a tipologia dos resíduos coletados, o modo de condicionar-se e disponibilizar o material, etc.

Sob uma ótica imediatista, a coleta seletiva não é considerada uma atividade lucrativa, pois o ganho com a venda dos recicláveis mal cobre os custos do programa. Em nosso caso, como o custo da coleta é coberto por patrocínio, é possível reverter integralmente a receita da venda aos trabalhadores, e a prefeitura arca com as demais despesas, como energia elétrica, além do investimento inicial em equipamentos. No entanto, os custos ambientais e sociais gerados pelo acúmulo de lixo são reconhecidamente reduzidos.

Concluindo, o desafio que cabe ao programa de educação ambiental é o de tornar-se um instrumento descentralizador, redistribuindo atributos do que é papel da prefeitura e do que é do cidadão cômico de seus direitos e deveres para com o local onde vive, estimulando a parceria responsável em

um movimento a buscar a melhoria da qualidade de vida da população em geral: uma cidade mais limpa, um ambiente mais preservado, uma relação mais equilibrada com a natureza, e um respeito maior com os demais seres vivos.

A avaliação após 10 meses de coleta é que a participação da comunidade na coleta seletiva está sendo muito satisfatória. Mais atenção deverá ser dada no futuro aos aspectos de redução de geração de resíduos, inclusive incentivo à criação de composteiras domésticas visando reduzir o envio de material orgânico ao aterro sanitário.

Questões referentes à organização do grupo de coletores, distribuição de tarefas e distribuição da renda gerada com a venda do material estão em fase de discussão com o grupo. A expansão do programa para outros bairros da cidade está condicionada à vinda de mais coletores para o programa, o que deverá acontecer em breve.

Quanto aos resíduos de papel da administração municipal, estes serão analisados qualitativa e quantitativamente após ser implantada a coleta em toda a região central. Espera-se que a quantidade de papel utilizado seja reduzida e o descarte seletivo seja feito da melhor forma possível. Porém, espera-se, principalmente, que o programa seja entendido e adotado como uma forma de melhoria para o meio ambiente e a qualidade de vida.

## BIBLIOGRAFIA

CONFERÊNCIA das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD). *Agenda 21*. Brasília: Senado Federal/SSET, 1996. 591p.

GRIMBERG, E.; BLAUTH, P. (Org.) *Coleta seletiva: Reciclando materiais, reciclando valores*. São Paulo: Pólis, 1998.

## O Evento

O Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável – ICTR 2004 e o Ciclo de Conferências sobre Política e Gestão Ambiental – NISAM 2004 agregam pesquisas e trabalhos institucionais, bem como a disseminação do conhecimento científico e tecnológico, promovendo a integração entre pesquisadores, profissionais, empresários e representantes governamentais.

O evento será realizado de 17 a 20 de outubro de 2004, no Costão do Santinho, em Florianópolis, Santa Catarina, e será dividido em ciclo de conferências, seminários e sessões de pôsteres, estimando-se a participação de cerca de 1.000 congressistas. Esse será o principal evento nacional na área de resíduos e desenvolvimento sustentável, considerando-se o potencial de conhecimentos, adquiridos e em construção, que podem subsidiar políticas públicas, criando uma ótima oportunidade de diálogo entre as partes interessadas na área.

A Comissão Científica do evento já aprovou 832 resumos para apresentação de trabalho final, tendo recebido cerca de 600 trabalhos na íntegra, cujos autores são professores, pesquisadores e profissionais das mais diversas áreas do conhecimento e com trabalhos em todos os diferentes setores da sociedade, contribuindo para que o evento se torne, efetivamente, um local para amplo e profundo debate sobre as questões que envolvem resíduos e desenvolvimento sustentável.

## ICTR

O Instituto de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável – ICTR é uma sociedade sem fins lucrativos que congrega professores, pesquisadores e alunos das instituições públicas de ensino e de pesquisa do Brasil, os quais atuam na área de resíduos e desenvolvimento sustentável. Fundado em 27 de novembro de 2002, o instituto constitui uma rede de professores e pesquisadores em busca dos seguintes objetivos:

Contribuir para o desenvolvimento, a difusão e o intercâmbio de conhecimentos científicos e tecnológicos, especialmente na área de resíduos, saúde, educação e meio ambiente, visando à promoção da sustentabilidade do processo de desenvolvimento social, econômico e cultural.

Promover a cooperação entre os pesquisadores da área de resíduos, saúde, educação e meio ambiente, instituições públicas e privadas, bem como entre comunidades, movimentos sociais e indivíduos, na busca do desenvolvimento sustentável em consonância com os ideais de preservação da vida, da liberdade, da democracia e da paz.

Promover a abertura de novos espaços de articulação entre diferentes níveis de governo e sociedade, em particular, o setor empresarial, a universidade, centros de pesquisa e organizações da sociedade civil.

Contribuir para o aperfeiçoamento institucional do Brasil, na área de resíduos, saúde e meio ambiente, por meio da participação do ICTR na formulação de decisões e orientações no âmbito de políticas públicas, legislação e sua aplicação, bem como organização e gestão dos órgãos e instituições pertinentes.

## NISAM

Núcleo de Informações em Saúde Ambiental – NISAM é um NACE (Núcleo de Apoio à Cultura e Extensão), um órgão de integração, instituído com o objetivo de reunir docentes e especialistas dos departamentos e unidades da USP, que conta com recursos provenientes de suas pesquisas e projetos e é vinculado à Pró-Reitoria de Cultura e Extensão Universitária da Universidade de São Paulo.

Foi criado em 1992 e dele participam docentes e pesquisadores de diversas unidades da Universidade de São Paulo, entre elas: Faculdade de Saúde Pública, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Direito, Escola Politécnica e Faculdade de Medicina.

O NISAM é gerido por um Conselho Deliberativo e administrado por um coordenador científico e por um vice-coordenador científico.

### OBJETIVOS

#### **Desenvolvimento de Estudos e Extensão:**

Promover, gerenciar e executar projetos de desenvolvimento no âmbito da saúde ambiental.

#### **Treinamento e Transferência de Tecnologia:**

Desenvolver cursos de extensão, aperfeiçoamento e especialização; seminários e atividades congêneres, aprofundando o intercâmbio técnico-científico entre instituições no país e no exterior, na área da saúde e ambiente.

#### **Gerenciamento de Informações:**

Produzir, atualizar e disponibilizar informações por meio de estudos e pesquisas associadas a projetos em saúde e ambiente e temas correlacionados.



## Eventos

### Programa

O evento será dividido em nove seminários de apresentação de trabalhos:

01: Seminário de Reciclagem e Reaproveitamento

02: Seminário de Resíduos Industriais

03: Seminário de Resíduos Agrícolas

04: Seminário de Resíduos Urbanos (e de Construção e Demolição)

05: Seminário de Resíduos Especiais (Resíduos de Laboratório, Químicos Perigosos e de Serviço de Saúde)

06: Seminário de Gestão Ambiental (Educação Ambiental, Política e Legislação)

07: Seminário de Áreas Degradadas, Riscos e Impactos Ambientais (e Solos Contaminados)

08: Seminário de Lodos de Estações de Tratamento

09: Seminário de Desenvolvimento Regional Sustentável

### Comissão Executiva

Presidente

*Jorge Alberto Soares Tenório (USP/UFOP)*

*Daniella Mac-Dowell Leite de Castro (USP)*

*Denise Croce Romano Espinosa (USP/UFOP)*

### Comissão Científica

*Angela Maria Magosso Takayanagui (USP)*

*Arlindo Philippi Jr. (USP)*

*Armando Borges (UFSC)*

*Carlos Eduardo Tucci (UFRGS)*

*Cláudio Mahler (COPPE/UFRI)*

*Cleverson V. Andreoli (UFPR)*

*Edson Abdul Nour (Unicamp)*

*Eglé Novaes Teixeira (Unicamp)*

*João Antonio Galbiatti (Unesp)*

*Jorge Hamada (Unesp)*

*José Fernando Thomé Jucá (UFPE)*

*Leny Borghesan A. Alberguini (USP)*

*Leo Heller (UFMG)*

*Luiz Fernando Cybis (UFRGS)*

*Marcel Burzryn (UNB)*

*Marcelo de Andrade Romero (USP)*

*Marcio J. Estefano de Oliveira (Unesp)*

*Maria Cecília Focesi Pelicioni (USP)*

*Maria Zanin (UFSCar)*

*Paulo Fortes (UNITAU)*

*Sabetai Calderoni (USP)*

*Sebastião Roberto Soares (UFSC)*

*Severino Soares Agra Filho (UFBA)*

*Suetônio Motta (UFCE)*

## ICTR' 2004

Congresso Nacional de  
Ciência e Tecnologia em  
Resíduos e Desenvolvimento  
Sustentável

## NISAM' 2004

Ciclo de Conferências  
sobre Política e  
Gestão Ambiental

17 a 20  
outubro de 2004  
Florianópolis