



ABES RBCiamb



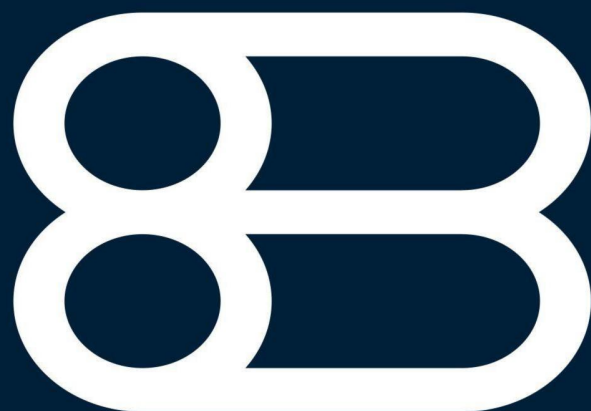
EDIÇÃO

Agosto/2008

Revista Brasileira de Ciências Ambientais

ISSN Impresso 1808-4524

ISSN Eletrônico 2176-9478



ABES

NISAM/ 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 Takayanagai (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 (SEMPA)
Celina Lopes Duarte (Ipen)
Célio Berman (IEE/USP)
Cíntia Philippi Salles (NISAM/USP)
Claudio Fernando Mahler (COPPE/UFRJ)
Cleverson 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 Zioni (FSP/USP)
Fernando Fernandes da Silva (NISAM/USP)
Francisco Radler de Aquino Neto (IQ/UFRJ)
Francisco Suetônio Bastos Mota (UFCE)
Gilberto Passos de Freitas (TJ/SP)
Gilda Collet Bruna (Mackenzie)
Guido Fernando Silva Soares (FD/USP)
Guilherme J. Purvin de Figueiredo (PGESP)
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 Sérgio 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)
Luis Enrique Sánchez (EP/USP)
Luiz Roberto Tomasi (FUNDESPA)
Luiz Sérgio Philippi (UFSC)
Marcel Bursztyn (UNB)
Marcelo de Andrade Roméro (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)

Revista Brasileira de Ciências Ambientais

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@ictr.org.br

...

Envio de Artigos

Observar as
normas para publicação
na página 60, deste número

Enviar para: ictr@ictr.org.br

...

Sites

www.ictr.org.br
www.fsp.usp.br/nisam

...

Para anunciar

Marcelo de Andrade Roméro
maromero@usp.br

...



Editor

Marcelo de Andrade Roméro



Índice

2 NISAM/ICTR
CONSELHO EDITORIAL CIENTÍFICO

3 Editor
MARCELO DE ANDRADE ROMÉRO

Gerenciamento de Resíduos

GESTÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA ANÁLISE DO
MODELO APLICADO EM OBRAS DE EDIFÍCIOS MULTIPISO NA CIDADE DO
RECIFE

Paula Christyan de Medeiros Souza, Aluisio Braz de Melo, Béda Barkokebas
Junior, Alexandre Duarte Gusmão, Fabiana Padilha Carneiro, Cristiane Fernandes
do Nascimento, Mariana Santos de Siqueira

4

Tratamento e Disposição Final de Resíduos
MODELAGEM CINÉTICA DA REMOÇÃO DE Cd^{2+} POR ZEÓLITAS DE CINZAS
DE CARVÃO

Denise Alves Fungaro Juliana de Carvalho Izidoro

9

Gestão Ambiental

INTEGRAÇÃO REGIONAL E GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS:
O PLANO DA BACIA DO ALTO TIETÉ E OS ORGANISMOS DE ARTICULAÇÃO
REGIONAL DO GRANDE ABC

Sandra Rodrigues Gaspar, Jeroen Johannes Klink

14

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA E AUTODEPURAÇÃO DOS RIOS DA
BACIA DO RIO PIRACICABA

Celimar Azambuja Teixeira, Rubem La Laina Porto

20

Energia e Ambiente

ESTUDO DO APROVEITAMENTO DA ENERGIA DO BIOGÁS PROVENIENTE DA
INCINERAÇÃO DO CHORUME PARA A GERAÇÃO DE ELETRICIDADE

Josmar Davilson Pagliuso, Carlos Roberto Regattieri

32

36

Normas

ISSN: 1808-4524

GESTÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA ANÁLISE DO MODELO APLICADO EM OBRAS DE EDIFÍCIOS MULTIPISO NA CIDADE DO RECIFE

Paula Christyan de Medeiros Souza

UFPB – PG
paulasouza_5@hotmail.com

Aluísio Braz de Melo

UFPB – PD

Béda Barkokébas Junior

POLI-UPE – PD

Alexandre Duarte Gusmão

POLI-UPE - PD

Fabiana Padilha Carneiro

POLI-UPE - PE

Cristiane Fernandes do Nascimento

POLI-UPE - IC

Mariana Santos de Siqueira

POLI-UPE - IC

RESUMO

Para o enfrentamento do problema do gerenciamento dos resíduos de construção civil foi criada a Resolução Nº 307/2003 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que impõe aos geradores a obrigatoriedade da segregação dos seus resíduos, sua reutilização e sua reciclagem e correta destinação final e em consequência disto foi criada a Legislação Municipal (Lei Nº 17.072/2005, de 03 de janeiro de 2005) da cidade do Recife, no qual se estabelecem as diretrizes e critérios para o programa de gerenciamento de resíduos da construção civil deste município. Este trabalho mostra os resultados da aplicação de uma metodologia em canteiros de obra de edifícios multipiso na cidade do Recife, que consistiu em uma análise inicial dos canteiros, na elaboração de um projeto adequado a realidade da empresa e do canteiro de obras, na realização de treinamentos com os funcionários, na implantação dos dispositivos e em auditorias mensais. Dentre os resultados encontrados estão a destinação compromissada dos resíduos, diminuição na quantidade de caçambas estacionárias com resíduos Classe A (entulho) retiradas dos canteiros, o encaminhamento dos resíduos Classe B para reciclagem, e a conscientização do setor da construção sobre a responsabilidade ambiental.

ABSTRACT

To solve the problem of the management of civil construction waste, was made a law that called Resolution number 307/2003 from Nacional Environment Councilor of Brasil(CONAMA). This law compels the constructors to separate your garbage, reuse it, recycle it, and send it to the correct place. By this reason was created the Municipal Legislation of Recife, law number 17.072/2005, which establishes a line of direction to the waste management program of civil construction. This study shows the results of the application of a methodology in sites of civil construction buildings in Recife. The first step of this study was a initial environment diagnosis in the constuctions sites, after it is made a special project to atend the necessities of the company and the constructions sites. The third step is training of the workers and the implantation of the selective collection devices. The company is monitored by check lists monthly. Amongst the joined results are the correct destination of garbage, the reduction of the amount of garbage removed in container with clean and recicle garbage of the sites constuctions and the aware of the construction industry about enviromental responsibility.

dade do Recife, que consistiu em uma análise inicial dos canteiros, na elaboração de um projeto adequado a realidade da empresa e do canteiro de obras e na realização de trei

INTRODUÇÃO

Os resíduos da construção civil são responsáveis em volume por pelo menos metade dos resíduos gerados numa grande cidade. Na maioria das vezes esses resíduos são depositados em locais proibidos ou em aterros oferecidos pelo município, sem nenhum tipo de segregação, diminuindo a vida útil dos aterros e impossibilitando a reutilização e/ou reciclagem, impactando negativamente o meio ambiente urbano. (CARNEIRO,2005)

Para o enfrentamento do problema e para garantir a sustentabilidade ambiental à construção civil, foi criada a Resolução Nº 307/2003 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que impõe aos geradores a obrigatoriedade da segregação dos seus resíduos, sua

reutilização e sua reciclagem e correta destinação final. Posteriormente a isso, foi aprovada em Recife/PE a Legislação Municipal (Lei Nº 17.072/2005, de 03 de janeiro de 2005), na qual se estabelecem as diretrizes e critérios para o programa de gerenciamento de resíduos da construção civil deste município. Para adequação a este novo cenário e inserção das construtoras nos moldes da nova legislação, viu-se a necessidade de um modelo de gerenciamento de resíduos para os canteiros de obra. Este trabalho mostra os resultados da aplicação de uma metodologia em canteiros de obra de edifícios multipiso na cidade do Recife, que consistiu em uma análise inicial dos canteiros, na elaboração de um projeto adequado a realidade da empresa e do canteiro de obras e na realização de treinamentos.

OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é analisar os resultados da aplicação de uma metodologia de gerenciamento de resíduos em canteiros de obra de edifícios multipiso na cidade do Recife, visando não apenas atender às novas exigências legais, mas o aperfeiçoamento dos modelos de gestão dos Resíduos de Construção e Demolição, tanto no âmbito interno aos canteiros de obras como também externo.

METODOLOGIA

A metodologia utilizada nessa etapa foi proposta para 15 canteiros de obras de diferentes empresas, no quadro abaixo segue as características das obras onde foram implantadas o SGR, após a etapa de apresentação do projeto apenas 7 empresas implantaram os sistema de gestão de resíduos (SGR).

A metodologia utilizada consistiu:

- No diagnóstico sobre a sistemática de tratamento e destinação dos resíduos nos canteiros de obra;
- Na proposta para implantação e detalhamento das alterações necessárias para transporte e coleta do que será descartado;
- Na adoção de recipientes específicos para a segregação dos diferentes materiais: madeira, plásticos, metal, papel, etc.
- No treinamento rápido dos funcionários.
- No acompanhamento contínuo para a solução de problemas pontuais que possam surgir e para aperfeiçoamento do plano de gestão;
- Na avaliação mensal dos resultados, com base em relatórios que pontuam o

Tabela1 - Caracterização da empresas estudadas

Empresa	Ritmo da obra	Valor do apartamento (R\$)	Fase da obra	Motivo para não adesão ao programa
Empresa 1	Rápido	300.00,00	Alvenaria	-
Empresa 2	Rápido	150.000,00	Acabamento	-
Empresa 3	Rápido	180.000,00	Acabamento	-
Empresa 4	Lento	180.000,00	Acabamento	-
Empresa 5	Rápido	140.000,00	Acabamento	-
Empresa 6	Rápido	250.000,00	Acabamento	-
Empresa 7	Rápido	600.000,00	Acabamento	-
Empresa 8	Rápido	150.000,00	Acabamento Final	Fim da obra
Empresa 9	Lento	160.000,00	Acabamento final	Fim da obra
Empresa 10	Lento	180.000,00	Alvenaria	Mudança na gestão
Empresa 11	Lento	100.000,00	Alvenaria	Falta de interesse
Empresa 12	Rápido	350.000,00	Estrutura	Falta de interesse
Empresa 13	Rápido	220.000,00	Acabamento	Falta de interesse
Empresa 14	Lento	70.000,00	Estrutura	Implantou sistema próprio
Empresa 15	Lento	70.000,00	Fundação	Atraso no início da obra

desempenho da equipe em relação à limpeza do canteiro, segregação e destinação dos materiais descartados.

- Na comprovação documental da destinação compromissada dos resíduos da obra, obtida em cada um dos locais de destinação dos resíduos.

RESULTADOS

Na primeira etapa do programa, que é a de diagnóstico da situação inicial, a realidade encontrada em todos os canteiros de obras foi bastante semelhante, salvo algumas pequenas diferenças.

No que se refere à limpeza dos canteiros onde foi implantada a metodologia, pode-se afirmar que houve melhora significativa. As notas variam de 0 (zero) a 10(dez) e eram atribuídas de acordo com a limpeza do canteiro. No gráfico apresentado na Figura 1, pode-se verificar a evolução gradativa deste item nos 7 canteiros de obras. Pode-se observar que algumas empresas tiveram uma constância em relação às notas, essa freqüência deve-se ao fato da implantação do sistema de certificação da qualidade que aliado ao SGR apresentou resultados bastante satisfatórios. As empresas que tiveram um melhoria crescente, devem isto ao empenho da equipe gerencial. Nesse caso o SGR auxiliou significativamente o Sistema de Certificação em Qualidade.

Nas Figuras 2 e 3 é apresentada a situação da limpeza dos pavimentos na etapa de diagnóstico e na visita de acompanhamento após a implantação.

Quanto à segregação dos resíduos, verificou-se que em grande parte dos canteiros visitados a mesma não era realizada, a partir da implantação do projeto, passou-se a realizar a separação dos resíduos desde a origem (fonte de geração) até seu armazenamento final

no canteiro. Dessa forma, obteve-se melhora bastante significativa em todos os canteiros onde a metodologia foi aplicada.

Na Figura 4 são apresentadas as notas obtidas no item “segregação na fonte”

nas visitas de monitoramento realizadas (aplicação de check-list) em 7 canteiros de obras. A oscilação ocorrida nas notas nas três primeiras visitas é normal, tendo em vista que este tem sido um período de adaptação e conscientização dos

Figura 1 – Evolução das Notas Relativas à Limpeza dos Canteiros de Obras.

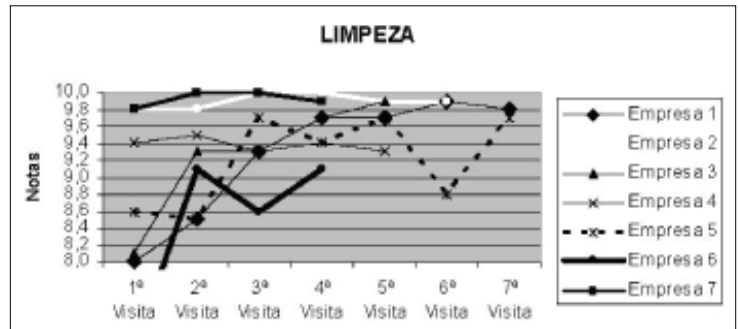


Figura 2 e 3 – Limpeza dos Pavimentos, antes e depois.



Figura 4 – Notas de Segregação na Fonte nos Canteiros em Estudo.



Figura 5 e 6 – Problemas Comuns Detectados nos Canteiros de Obras.



trabalhadores, uma vez que estes representam um fator decisivo no sucesso deste tipo de segregação.

Nas Figura 5 e 6 são dois problemas comumente encontrados nos canteiros: bombonas sem saco de rafia e

pequenas quantidades de resíduos empilhadas sem segregação.

Na figura abaixo temos a evolução das notas em relação à segregação final, isto é, o resíduo separado corretamente nas baias e na caçamba de metralha. Pode-se

observar que a maioria das empresas conseguiu realizar a segregação final de forma adequada, com exceção de uma empresa. Tal fato pode ser explicado pela falta de empenho da equipe do canteiro de obras.

As Figuras 8 e 9 ilustram a situação normalmente encontrada nos canteiros, onde se pode observar que os resíduos encontram-se segregados em quase sua totalidade.

De acordo com a metodologia adotada, a segregação final dos resíduos no canteiro de obras deve ser feita com o uso de baias e/ou bags. Na Figura 10, houve um declínio ou estagnação nas notas entre a segunda e terceira visita. Tal fato pode ser explicado pela existência de poucas entidades licenciadas pela Companhia Pernambucana de Recursos Hídricos - CPRH para recolhimento de resíduos Classe B (papel/papelão, plástico, madeira e metal), o que acarreta a lotação das baias e/ou bags, diminuindo as notas do item "acondicionamento final" e dificultando a correta segregação final dos resíduos.

Por fim, analisou-se ainda se os resíduos após segregados, estão recebendo um destino comprometido, ou seja, adequado do ponto de vista ambiental. Tal análise está sendo realizada com base no CTR – Controle de Transporte de Resíduos, documento que deve ser preenchido no canteiro sempre que qualquer resíduo seja retirado da obra. Devem constar neste documento principalmente a identificação do transportador, o volume ou o peso retirado, a data da retirada e a assinatura do transportador.

Pode-se afirmar que todas as empresas participantes têm demonstrado interesse em exercer sua responsabilidade sobre os resíduos destinando-os de forma adequada. No entanto, em algumas ocasiões, em

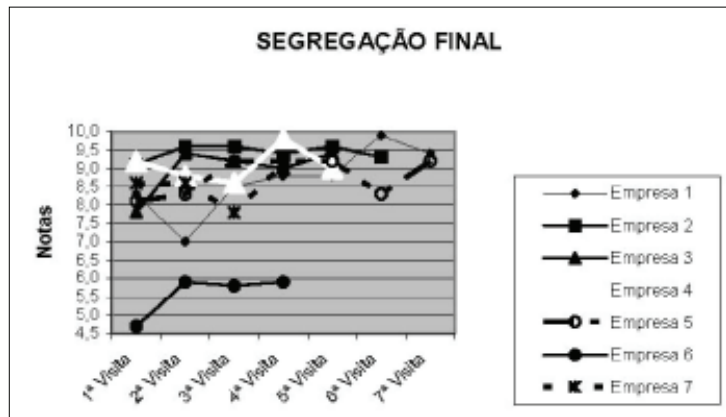


Figura 7 – Segregação Final dos Resíduos nos Canteiros de Obras.



Figura 8 e 9 – Segregação Final dos Resíduos Classe B (papel, plástico, madeira e metal) e caçamba com Resíduos Classe A (metralha) nos Canteiros de Obras.

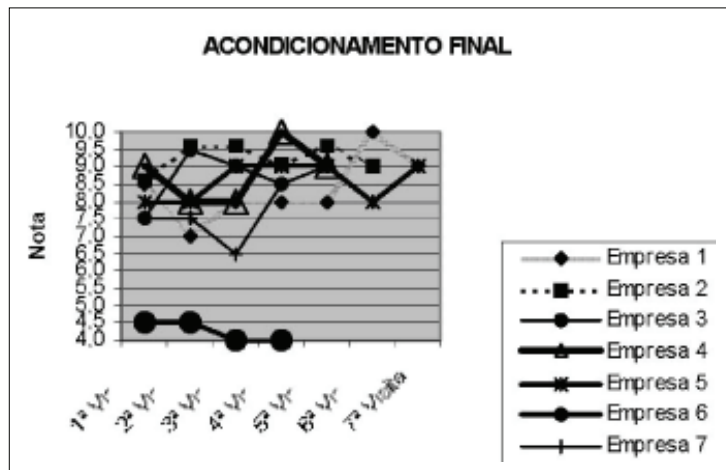


Figura 10 – Acondicionamento Final dos Resíduos nos Canteiros de Obras.

virtude da demora no recolhimento dos resíduos e por falta de espaço no canteiro para armazená-los, estes têm sido entregues a coletores não licenciados pela CPRH, embora mesmo nesses casos o CTR seja emitido.

Com a implantação da metodologia, houve ainda uma redução nos custos com a remoção dos resíduos, já que, após segregados, os resíduos classe B podem ser coletados sem nenhum custo para as empresas, uma vez que possuem valor agregado que permite a comercialização dos mesmos.

No entanto, na Cidade do Recife poucas são as entidades, sejam elas particulares, públicas ou filantrópicas que possuem licença da CPRH para realização de coleta de materiais recicláveis, e mesmo aquelas que possuem, não têm estrutura para atender a demanda gerada pelos canteiros de obras.

Por outro lado, é crescente em qualquer localidade, a quantidade de pessoas que dependem da renda obtida através da comercialização de materiais recicláveis para própria sobrevivência, assim como tem aumentado também o número de entidades de classe interessadas em realizar trabalhos com tais materiais, como forma de garantir não apenas um rendimento a famílias carentes, mas também o direito de exercer sua cidadania.

Pelo fato da doação dos materiais recicláveis constituir-se uma ação

sustentável, torna-se necessário que seja autorizada a doação de resíduos

CLASSE B, por parte dos construtores, à catadores de materiais recicláveis e órgãos de classe, desde que tais doações fiquem devidamente registradas, através do Controle de Transporte de Resíduos – CTR, formulário este que já vem sendo utilizado como forma de garantir a rastreabilidade do resíduo.

Apesar de todas as dificuldades encontradas para a destinação adequada dos resíduos classe B, no gráfico apresentado na Figura 8, pode-se observar a evolução da quantidade de caçambas de resíduos retiradas mensalmente do canteiro de obras da Empresa 5. É de fácil constatação a considerável redução na quantidade de caçambas removidas por mês a partir da implantação, que foi de aproximadamente 46%.

Tal redução, considerando um custo médio de remoção de caçamba da ordem de R\$70,00 (setenta reais), gerou uma economia de R\$ 980,00 (novecentos e oitenta reais) em apenas dois meses de funcionamento do projeto. Como o custo de implantação do modelo de gestão nesse canteiro foi da ordem de R\$ 700,00 (setecentos reais), pode-se afirmar que a partir do segundo mês de funcionamento, o modelo de gestão proporcionou uma quantia superior à quantia de recursos financeiros aplicados em sua implantação.

CONCLUSÕES

A implantação do modelo de gestão de resíduos em canteiro de obras de construção civil tem apresentado resultados bastante satisfatórios, com as empresas participantes demonstrando interesse em exercer sua responsabilidade sobre os resíduos destinando-os de forma adequada. Na maioria das obras, tem-se conseguido a aplicação adequada da sistemática utilizada, produzindo benefícios de diversas naturezas para as empresas, como:

- Redução do volume de resíduos a descartar;
- Otimização do fluxo de resíduos e melhoria da produtividade;
- redução nos custos com a remoção dos resíduos, compensando o investimento inicial na aplicação do sistema de gestão de resíduos;
- Ajuste aos padrões de desenvolvimento sustentável;
- Não ser responsabilizada por passivo ambiental.

REFERÊNCIAS

CARNEIRO, Fabiana Padilha. “Diagnóstico e Ações da Atual Situação dos

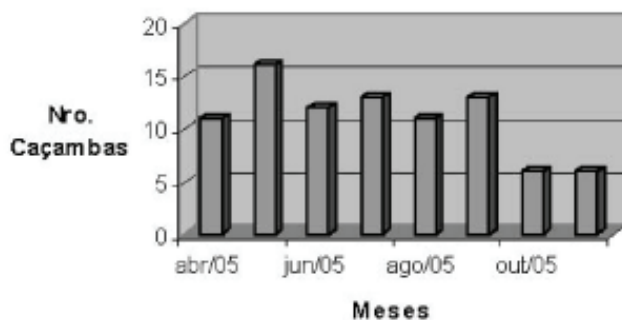
Resíduos de Construção e Demolição na Cidade do Recife”. Março/2005. Dissertação de Mestrado em Engenharia Urbana – **Universidade Federal da Paraíba**. Orientador: **Alufio Braz de Melo**. Linha de Pesquisa: **Resíduos de Construção e Demolição**.

BRASIL, Leis. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA.

RESOLUÇÃO nº 307, de julho de 2002.

PREFEITURA DA CIDADE DO RECIFE. **Lei nº 17.072/2005**. Estabelece as diretrizes e critérios para o Programa de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil.

Figura 11 – Quantidade de caçambas removidas por mês em um dos canteiros de Obras Atendidos pelo Projeto.



Tratamento e Disposição Final de Resíduos

RESUMO

Experimentos de adsorção foram realizados para remover Cd^{2+} de solução aquosa usando zeólitas sintetizadas a partir de cinzas de carvão como adsorventes. Estudos cinéticos mostraram que a adsorção do Cd^{2+} sobre todos os adsorventes foi um processo gradual. O equilíbrio foi alcançado após cerca de 4h de tempo de contato. A adsorção do Cd^{2+} pelos adsorventes seguiu o modelo cinético de pseudo-segunda-ordem. O mecanismo do processo encontrado mostrou ser complexo, consistindo de adsorção superficial e difusão de poro.

ABSTRACT

Adsorption experiments were carried out to remove Cd^{2+} from its aqueous solutions using zeolites synthesized from coal ashes as adsorbents. Kinetics studies showed that the adsorption on all the adsorbents was a gradual process. Equilibrium reached in about 4 h contact time. Adsorption of Cd^{2+} by the adsorbents followed pseudo-second-order model kinetic. The process mechanism was found to be complex, consisting of both surface adsorption and pore diffusion.

MODELAGEM CINÉTICA DA REMOÇÃO DE Cd^{2+} POR ZEÓLITAS DE CINZAS DE CARVÃO

Denise Alves Fungaro

CQMA/IPEN, PQ
dfungaro@ipen.br

Juliana de Carvalho Izidoro

CQMA/IPEN, IC

INTRODUÇÃO

Anualmente mais de 3,5 milhões de toneladas de carvão são usadas no Brasil em usinas termelétricas, o que faz com que a quantidade de cinzas geradas cheguem a 1,7 milhões de toneladas. Como é previsto um aumento de mais de 100% no consumo de carvão até 2010, a geração de cinzas deverá atingir 4 milhões de toneladas por ano.

O pequeno consumo das cinzas de carvão na indústria cimenteira e como fertilizante é inevitável devido à combinação de custo alto de transporte com produto de relativamente baixo valor no mercado. O principal esforço no sentido de mitigar os impactos ambientais decorrentes da disposição destes resíduos no meio ambiente é a ampliação da reciclagem, em particular, com a transformação das cinzas de carvão em um produto de alto valor agregado.

As cinzas de carvão mineral são constituídas basicamente de sílica e alumina sendo possível convertê-las em material zeolítico após tratamento hidrotérmico com hidróxido de sódio. Os métodos de conversão direta combinam a liberação de Si e Al e a cristalização de zeólitas em um simples estágio resultando, geralmente, em um produto final que contém 20 – 99% de zeólita dependendo das condições do processo. Os metais tóxicos que a cinza contém são removidos na solução básica que é encaminhada para tratamento posterior.

As zeólitas são aluminossilicatos hidratados de metais alcalinos e alcalinos terrosos (principalmente Na, K, Mg, e Ca), estruturados em redes cristalinas tridimensionais, compostas de tetraedros do tipo TO_4 (T = Si, Al, Ga, Ge, Fe, B, P, Ti, etc) unidos nos vértices através de átomos de oxigênio [Breck, 1984;

Gianneto, 1990; Smart e Morre, 1992]. A estrutura da zeólita apresenta canais e cavidades interconectadas de dimensões moleculares, nas quais se encontram íons de compensação, moléculas de água ou outros adsorbatos e sais. Este tipo de estrutura microporosa confere à zeólita uma superfície interna muito grande, quando comparada à sua superfície externa apresentando as propriedades de adsorção, capacidade de troca iônica e catálise.

Algumas das vantagens do uso da zeólita obtida a partir das cinzas de carvão como adsorvente são: (1) é sintetizada a partir de resíduo abundante e poluente; (2) o reagente usado na síntese é de baixo custo e pode ser reaproveitado; (3) a zeólita pode ser regenerada; (4) a estrutura confere seletividade de moléculas por tamanho (5) apresenta estabilidade térmica e resistência à radiação.

A literatura apresenta inúmeros trabalhos sobre a conversão de cinzas em zeólita por tratamento hidrotérmico alcalino e a sua utilização na remoção de íons metálicos em água [Henmi, 1987; Singer e Berggaut, 1995; Lin e Hsi, 1995; Amrhein *et al.*, 1996; Querol *et al.*, 1997, 2001, 2002; Poole *et al.*, 2000; Rayalu *et al.*, 2000; Kolay *et al.*, 2001; Murayama *et al.*, 2002]. O material zeolítico preparado com as cinzas de carvão coletadas em usina termelétrica situada no nordeste do Paraná mostrou-se eficiente na remoção de íons metálicos em água e efluentes de galvanoplastia e na remediação de solo contaminado [Fungaro *et al.*, 2002, 2004a, 2004b, 2004c, 2005].

Os estudos sobre a cinética de adsorção são importantes na determinação do tempo necessário para alcançar o equilíbrio, no exame das velocidades de adsorção que podem ser usadas para desenvolver modelos e no entendimento dos processos que

influenciam a remoção dos solutos. A natureza da etapa determinante da velocidade e os mecanismos envolvidos no processo de adsorção poderão ser estabelecidos pelos modelos cinéticos. Estas informações são úteis para o projeto de plantas de tratamento de efluentes.

No presente estudo, as cinéticas de adsorção dos íons Cd^{2+} em solução aquosa sobre zeólitas de cinzas de carvão foram analisadas pelo ajuste dos dados experimentais aos vários modelos cinéticos visando determinar o mecanismo que controla o processo de adsorção.

MATERIAL E MÉTODOS

MATERIAL

Todos os reagentes foram de grau analítico (Merck) e as soluções estoques foram preparadas a partir da diluição com água ultrapura do sistema Millipore Milli-Q. Os experimentos foram realizados à temperatura de 25 ± 1 °C. Agitador mecânico com temperatura controlada e centrífuga foram utilizados.

PREPARAÇÃO DA ZEÓLITA

As cinzas de carvão da Usina Termelétrica de Figueira, localizada no Paraná, foram utilizadas no estudo. As zeólitas foram preparadas a partir de cinzas leves retidas no filtro manga (ZM), cinzas leves retidas no filtro ciclone (ZC) e cinzas pesadas do fundo de caldeira (ZFC). O procedimento para o tratamento hidrotérmico foi o seguinte: a amostra contendo 30 g de cinzas de carvão foi colocada com 240 mL de NaOH $3,5 \text{ mol L}^{-1}$ e aquecida em estufa, à 100° C, por 24 horas. A suspensão foi filtrada e o sólido foi repetidamente lavado com água deionizada e seco em

estufa a 40° C. A análise por difração de raios-X (RINT-2000 RIGAKU) e por difração de raios-X (Bruker-AXS D8). A capacidade de troca catiônica (CTC) das zeólitas foi obtida usando solução de acetato de sódio e de amônio [Scott *et al.*, 2002].

PROCESSO DESCONTÍNUO DE ADSORÇÃO

Os processos descontínuos foram realizados por agitação de 1 g de zeólita com 100 mL da solução de Cd²⁺ com concentração conhecida. O sobrenadante foi separado por centrifugação e a concentração do metal nesta solução foi determinada por titulação complexiométrica com EDTA. Todos os experimentos foram realizados em duplicata.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

As composições químicas das cinzas de carvão usadas na síntese das zeólitas foram obtidas por fluorescência de raios-X. As cinzas apresentaram conteúdos de sílica e alumina (SiO₂ + Al₂O₃ = 22 - 36%) e das principais impurezas (Fe, Ca e S de 0,5 a 9%) muito baixos. Os outros óxidos encontraram-se em quantidades menores que 3%. A faixa da relação SiO₂/ Al₂O₃ variou entre 1,1 a 1,6.

A análise por difração de raios-X revelou que após o tratamento hidrotérmico das cinzas de carvão formou-se a zeólita NaP1 com traços de hidroxissodalita, enquanto quartzo e mulita da cinza também estavam presentes. Os valores de CTC encontrados foram 1,77 meq g⁻¹ para ZM, 1,38 meq g⁻¹ para ZC e 1,16 meq g⁻¹ para ZFC. O valor da CTC da zeólita sintética comercial pura NaP1 (5,00 meq

g⁻¹) pode ser usado para fornecer uma estimativa semi-quantitativa do conteúdo de zeólita obtido na síntese hidrotérmica [Querol *et al.*, 2002]. As taxas de conversão encontradas foram 35,4, 27,6 e 23,1%, para ZM, ZC e ZFC, respectivamente.

EFEITO DO TEMPO DE CONTATO

A cinética de adsorção do Cd²⁺ 562 mg L⁻¹ pelos materiais zeolíticos foi estudada por processos descontínuos, onde a concentração do íon metálico foi determinada após intervalos de tempo (FIG. 1). A remoção foi rápida nos estágios iniciais de contato e gradualmente decresceu até atingir o equilíbrio. A adsorção ocorreu rapidamente, excedendo 70 % após 1 hora de contato para a ZM e ZC. A ZFC removeu apenas 52 % após 4 horas de agitação. A eficiência de retenção aumentou na seguinte ordem: ZFC < ZC < ZM. Uma capacidade de adsorção entre 72 - 95 % foi alcançada no equilíbrio.

MODELAGEM CINÉTICA

O comportamento transiente do processo de adsorção do íon metálico pelas zeólitas foi analisado usando os modelos cinéticos de pseudo-primeira ordem e pseudo segunda ordem de Lagergren.

A velocidade de adsorção pode ser determinada pela expressão de velocidade de pseudo-primeira ordem dada por Lagergren [Ho e McKay, 1998]:

$$\log_{10} (q_e - q) = \log_{10} q_e - K_1 t / 2,303 \quad (1)$$

onde q_e e q são as quantidades de íon metálico adsorvidas (mg g⁻¹) no equilíbrio e no tempo t (h), respectivamente; K₁ é a constante de velocidade de adsorção (h⁻¹). A constante K₁ pode ser calculada a partir da inclinação da reta do gráfico log₁₀ (q_e - q) versus t.

Os dados cinéticos foram também analisados usando as cinéticas de pseudo- segunda ordem [Ho *et al.*, 1996], as quais são representadas por:

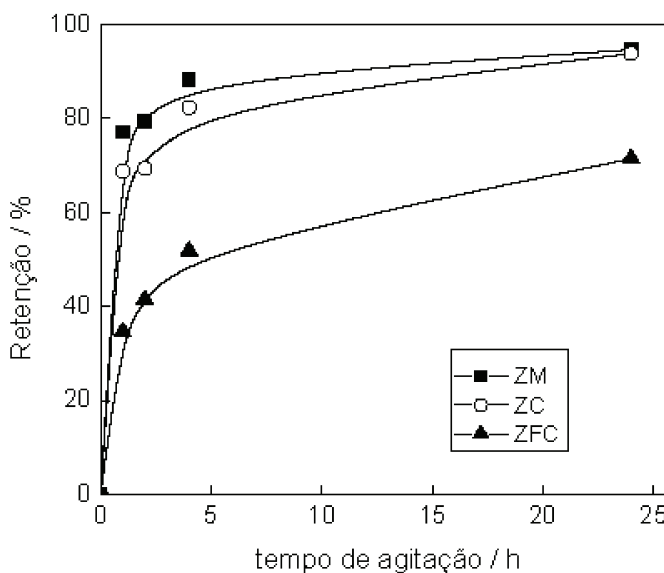


Figura 1 – Porcentagem de retenção do Cd²⁺ em função do tempo de agitação para as zeólitas preparadas com cinza do filtro manga (ZM), do filtro ciclone (ZC) e do fundo de caldeira (ZFC).

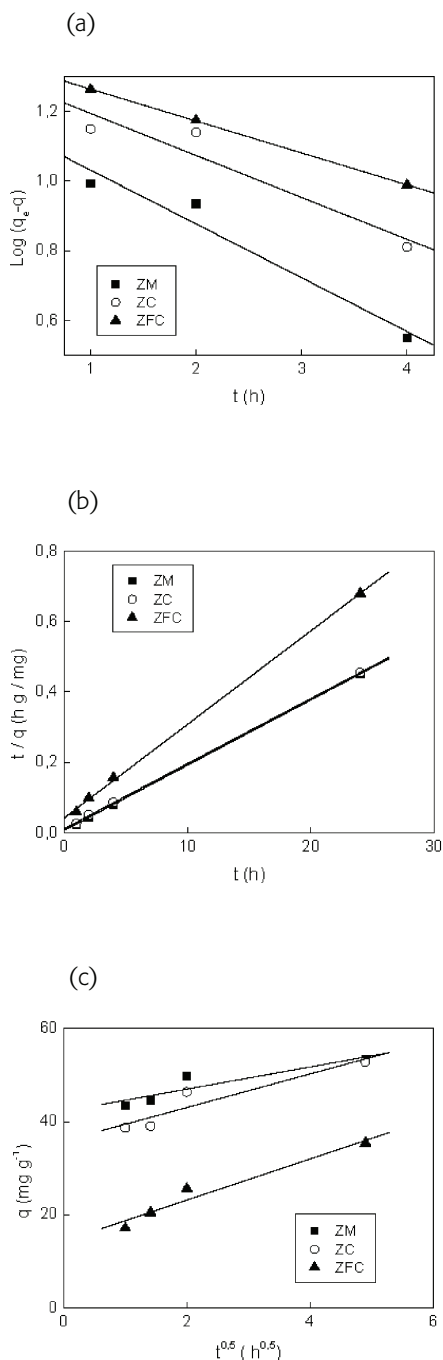


Figura 2 – Comparação dos modelos cinéticos da adsorção do Cd²⁺ sobre zeólitas: (a) cinética de pseudo-primeira-ordem; (b) cinética de pseudo-segunda-ordem; (c) difusão intrapartícula.

$$\frac{t}{q} = \frac{1}{K_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (2)$$

onde K_2 é a constante de velocidade de pseudo-segunda-ordem (g/mg h), q_e e q são as quantidades de íon metálico adsorvidas (mg g⁻¹) no equilíbrio e no tempo t (h). A partir das retas do gráfico de t/q versus t , os valores das constantes K_2 (g/mg h) e q_e (mg g⁻¹) podem ser calculados.

O mecanismo do processo de adsorção definitivo pode não ser obtido pelos modelos cinéticos descritos acima e, portanto, o modelo da difusão intrapartícula foi testado. De acordo com Weber e Morris, 1963, o coeficiente de difusão intrapartícula (K_i) pode ser definido como:

$$K_i = q / t^{0.5} \quad (3)$$

onde q é a quantidade de íon metálico adsorvida (mg g⁻¹) e t (h) é o tempo de agitação.

O valor de K_i (mg/g h^{0.5}) pode ser obtido da inclinação da curva do gráfico q (mg g⁻¹) versus $t^{0.5}$ (h^{0.5}).

A FIG. 2 mostra os ajustes dos resultados do processo de adsorção aos vários modelos cinéticos e os parâmetros de todos os modelos encontram-se na TAB. 1.

A avaliação quantitativa dos modelos requer que os coeficientes de correlação sejam comparados (R^2). Comparando-se os dados da TAB. 1, observou-se que os valores dos coeficientes de correlação calculados para os modelos cinéticos de

pseudo-primeira-ordem e pseudo-segunda-ordem de Lagergren eram maiores que 0,9 mostrando a aplicabilidade de ambos os modelos cinéticos.

A linearidade do gráfico da FIG. 2c mostra a presença da difusão intrapartícula e como as linhas não passam pela origem, esta etapa não é a determinante da velocidade indicando um mecanismo complexo consistindo de adsorção superficial e transferência intrapartícula [Carbery *et al.*, 1977]. Os valores de R_2^2 foram maiores que aqueles de R_1^2 e R^2 confirmando que o processo de adsorção se ajusta melhor ao mecanismo de pseudo-segunda-ordem para todos os adsorventes e a quimisorção é a etapa controladora do mecanismo [Ho, 2003]. A velocidade de remoção do Cd²⁺ foi mais rápida com ZM seguida por ZC e ZFC.

CONCLUSÃO

Os estudos de cinética de adsorção mostraram que zeólitas preparadas com diferentes tipos de cinzas de carvão foram efetivas como adsorvente para Cd²⁺ em solução aquosa. O equilíbrio de adsorção foi praticamente alcançado em 4h com eficiência de remoção entre 72 a 95 %. Os resultados demonstraram que o processo de adsorção seguiu o modelo cinético de pseudo-segunda-ordem com valor de velocidade mais alto para a adsorção sobre a zeólita preparada com cinza do filtro manga.

Tabela 1 – Parâmetros dos modelos cinéticos da adsorção de Cd²⁺ em zeólitas de cinzas de carvão.

Adsorvente	Pseudo 1º –ordem		Pseudo 2º –ordem		Difusão	
	$K_1(10^{-1} h^{-1})$	R_1^2	$K_2(10^{-1} g/mg h)$	R_2^2	$K_i(mg/g h^{0.5})$	R_i^2
ZM	3,55	0,9776	0,556	0,9999	2,37	0,9156
ZC	2,77	0,9535	0,304	0,9999	3,59	0,9413
ZFC	0,211	0,9999	0,170	0,9998	4,41	0,9755

REFERÊNCIAS

1. AMRHEIN, C.; HAGHNA, G.H.; KIM, T.S.; MOSHER, P.A.; GAGAJENA, R.C.; AMANIOS, T.; TORRE, L., Synthesis and properties of zeolites from coal fly ash. *Environ. Sci. Technol.*, v. 30, p. 735-742, 1996.
2. BRECK, D.W.; *Zeolite Molecular Sieve*, John Wiley & Sons: New York, 1984.
3. CARBERY, J.B.; TWARDOSKI, O.J.; EBERHART, D.K. Clay adsorption treatment of non-ionic surfactants in wastewater. *J. Water Poll. Contr. Fed.*, v. 49, p. 452 – 459, 1977.
4. FUNGARO, D.A.; SILVA, M.G. Utilização de zeólita preparada a partir de cinza residual de carvão como adsorvedor de metais em água. *Quim. Nova*, v. 25, p. 1081-1085, 2002.
5. FUNGARO, D.A.; FLUES, M.S-M.; CELEBRONI, A.P. Estabilização de solo contaminado com zinco usando zeólitas sintetizadas a partir de cinzas de carvão. *Quim. Nova*, v. 27 p. 582-585, 2004a.
6. FUNGARO, D.A.; IZIDORO, J.C. Tratamento de efluentes industriais usando material zeolítico preparado com cinzas de carvão. In: *Água – Fonte da Vida/ Prêmio Jovem Cientista e Prêmio Jovem Cientista do Futuro*. Porto Alegre, RS: Gráfica e Editora Comunicação Impressa, p. 129–143, 2004b.
7. FUNGARO, D.A. Aplicação de material zeolítico preparado com cinzas de carvão no tratamento de águas contaminadas. *Revista Meio Filtrante*, Abril/Maio/Junho de 2004c. Disponível em: <www.meiofiltrante.com.br>. Acessada em: 27/maio/2006.
8. FUNGARO, D.A.; IZIDORO, J.C.; ALMEIDA, R.S. Remoção de compostos tóxicos de solução aquosa por adsorção com zeólita sintetizada a partir de cinzas de carvão. *Ecl. Quím.*, v. 30, p. 31-35, 2005.
9. GIANNETTO, G. Zeolitas, características, propiedades y aplicaciones industriales, Ed. Ediciones Innovación Tecnológica: Caracas, 1990.
10. HENMI, T. Increase in cation exchange capacity of coal fly ash by alkali treatment. *Clay Sci.*, v. 6, p. 277-282, 1987.
11. HO, Y.S. Removal of copper ions from solution by tree fern. *Water Res.*, v. 37, p. 2323-2330, 2003.
12. HO, Y.S.; MCKAY, G. The kinetics of sorption of basic dyes from aqueous solution by sphagnum moss peat. *Can J. Chem. Eng.* v. 76, p. 822 – 827, 1998.
13. HO, Y.S.; WASE, D.A. J.; FORSTER, C.F. Kinetic studies of competitive heavy metal adsorption by sphagnum moss peat. *Environ. Technol.*, v. 17, p.71-77, 1996.
14. KOLAY, P.K.; SINGH, D.N.; MURTI, M.V.R. Synthesis of zeolites from a lagoon ash. *Fuel*, v. 80, p. 739-745, 2001.
15. LIN, C.F.; HSI, H.C. Resource recovery of waste fly ash: synthesis of zeolite-like materials. *Environ. Sci. Technol.*, v. 29, p. 1109-1117, 1995.
16. MURAYAMA, N.; YAMAMOTO, H.; SHIBATA, J. Mechanism of zeolite synthesis from coal fly ash by alkali hydrothermal reaction. *Int. J. Miner. Process.*, v. 64, p.1-17, 2002.
17. POOLE, C.; PRIJATAMA, H.; RICE, N.M. Synthesis of zeolite adsorbents by hydrothermal treatment of pfa wastes: a comparative study. *Min. Eng.*, v. 13, p. 831-842, 2000.
18. QUEROL, X.; ALASTUEY, A.; LOPEZ-SOLER, A.; PLANA, F.; ANDRES, J.M.; JUAN, R.; FERRER, P.; RUIZ, C. R. A fast method for recycling fly ash: Microwave- assisted zeolite synthesis. *Environ. Sci. Technol.*, v. 31, p. 2527-2532, 1997.
19. QUEROL, X.; PLANA, F.; ALASTUEY, A.; LOPEZ-SOLER, A.; MEDINACELI, A.; VALERO, A.; DOMINGO, M.J.; GARCIA-ROJO, E. Synthesis of zeolites from fly ash at pilot plant scale. Examples of potential application. *Fuel*, v. 80, p. 857-865, 2001.
20. QUEROL, X.; MORENO, N.; UMAÑA, J.C.; ALASTUEY, A.; HERNÁNDEZ, E.; LÓPEZ-SOLER, A.; PLANA, F. Synthesis of zeolites from coal ash: an overview. *Int. J. Coal Geol.*, v. 50, p. 413-423, 2002.
21. RAYALU, S.; MESHARAM, S.U.; HASAN, M.Z. Highly crystalline zeolites from fly ash. *J. Haz. Mat.*, v. B77, p. 123-131, 2000.
22. SCOTT, J.; GUANG, D.; NAERAMITMARNUSUK, K.; THABUOT, M.; Zeolite synthesis from coal fly ash for the removal of lead ions from aqueous solution. *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, v. 77, p. 63-69, 2002.
23. SINGER, A.; BERKGAUT, V. Cation exchange properties of hydrothermally treated coal fly ash. *Environ. Sci. Technol.*, v. 29, p.1748-1753, 1995.
24. SMART, L.; MOORE, E. *Solid State Chemistry. An introduction*, Chapman & Hall: London, 1992.
25. WEBER, W. J.; MORRIS, J.C. Kinetics of adsorption carbon from solutions. *J. Sanit. Eng. Div. Am. Soc. Civ. Eng.*, v. 89, p.31-60, 1963.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pelo apoio financeiro e a Carbonífera do Cambuí Ltda. pelas amostras de cinzas de carvão.

INTEGRAÇÃO REGIONAL E GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS: O PLANO DA BACIA DO ALTO TIETÊ E OS ORGANISMOS DE ARTICULAÇÃO REGIONAL DO GRANDE ABC

Sandra Rodrigues Gaspar

IMES, PG
sandrargaspar@terra.com.br

Jeroen Johannes Klink

IMES, PD

RESUMO

Este estudo foi realizado com o objetivo de verificar qual a contribuição dos organismos de articulação regional do Grande ABC (Câmara Regional do Grande ABC, Consórcio Intermunicipal das Bacias do Alto Tamanduateí e Billings e Agência de Desenvolvimento Econômico do Grande ABC), no período de 2003 e 2004, para a implementação do Plano da Bacia do Alto Tietê - PBAT, um dos instrumentos do Sistema de Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. Trata-se de uma pesquisa de cunho exploratório, caracterizada como estudo de caso. A gestão dos recursos hídricos na região do Grande ABC foi o caso estudado. A pesquisa teve como objetivos identificar as ações dos organismos regionais acima citados relacionadas ao Plano da Bacia do Alto Tietê e suas contribuições para a implementação deste plano da região do ABC Paulista. Concluiu-se que tais contribuições não foram significativas para a implementação do PBAT na região do Grande ABC face à própria aplicabilidade do plano na região e à fragilidade da articulação interinstitucional entre organismos regionais e os órgãos do sistema de gerenciamento dos recursos hídricos.

ABSTRACT

The study was made for to check that contribution of the Greater ABC regional articulation organizations (The Greater ABC Citizenship Forum, The Intermunicipal Consortium of the Alto Tamanduateí and Billings Basin and The Economic Development Agency) to a implementation for the Alto Tietê Basin Plan, an instrument of the Water Resources Management System of São Paulo State. It's about an exploratory research, characterized like a case study. A water resource management of The Greater ABC is a case studied. The research has like objectives to identify what the regional organizations actions further along related to the Alto Tietê Basin Plan and contributions for implementation this plan in the ABC region. To conclude, these contributions show little importants for an implementation of the Alto Tietê Basin Plan in the ABC region, because of suitable plan application and fragility interinstitucional articulation between the regional organizations and the water resources management system organizations.

INTRODUÇÃO

Uma das questões ambientais mais preocupantes refere-se à quantidade e qualidade da água utilizada para fins de abastecimento público e do setor privado, em consequência de uma utilização sem controle dos recursos hídricos em décadas passadas, que acarretou à sociedade atual, problemas econômicos (altos investimentos em tratamento de água da produção industrial e disposição das águas residuárias), sociais (comprometimento do atendimento às necessidades da população), ambientais (degradação dos mananciais) e de saúde (poluição e contaminação das águas).

Para o equacionamento desta questão, é fundamental uma efetiva modificação na relação entre as políticas urbanas e de recursos hídricos visando a integração e a cooperação entre esses dois sistemas, principalmente quando se trata de bacias intensamente urbanizadas, cuja gestão está intimamente ligada aos processos de uso e ocupação do solo urbano.

Tal gestão, por sua vez, deve pautar-se numa nova lógica institucional e prática governativas, pois o gerenciamento da água extrapola os limites dos municípios e se dá no âmbito dos limites da bacia hidrográfica que, a *priori*, abarcam um conjunto de municípios ou duas ou mais regiões, exigindo uma articulação regional que envolva organismos públicos, privados e sociedade civil. Para Silva (2003), os desafios que se colocam para a efetividade desta gestão referem-se à integração e articulação dos municípios de uma mesma bacia, e destes, com as bacias vizinhas, no planejamento e gestão urbanos relacionados ao uso e destino da água. Sob esta ótica, áreas que já possuem instituições de gestão regional – como o Grande ABC,

implantadas e atuantes, apresentam facilidades para a implementação de ações consorciadas com o desenvolvimento econômico, ambiental e social e com as especificidades da bacia na qual estão inseridas. Instrumentos importantes para a implantação e consolidação desta articulação regional (Silva, 2003), são os planos e bacia, uma vez que pressupõe uma visão integrada da utilização do espaço territorial ocupado pelas áreas urbanas, preocupando-se com as alterações ambientais que resultaram desse processo e as formas de controlá-la.

No caso da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê, cujo território abriga a região do Grande ABC, foi elaborado em 2002, pela Fundação de Apoio à Universidade de São Paulo, o Plano da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê, que visa garantir a conservação dos recursos hídricos por meio de diretrizes e orientações para a proteção, recuperação e conservação dos mananciais e dos rios urbanos e implantação de sistemas de uso racional da água e de drenagem e controle das cheias (FUSP, 2002).

Este plano foi desenvolvido tendo como pressuposto a coordenação entre os diferentes usos dos recursos hídricos e os sistemas municipais e intermunicipais de planejamento e gestão, e o desenvolvimento e implantação de um sistema atualizado permanentemente de informações hídricas para a bacia que possa subsidiar a formulação de diretrizes para orientação dos planos diretores 3 metropolitanos e municipais, além da proposição de programas regionais de investimentos em gestão, obras e serviços de recursos hídricos e saneamento e análise/elaboração de leis, regulamentos, instrumentos normativos e de avaliação e controle (FUSP, 2000).

As ações propostas no PBAT não apresentam determinação rígida de metas físicas a serem cumpridas pois permitem adequação à realidade e dinâmica de cada região e/ou município da bacia, podendo ser detalhadas, posteriormente, a partir da decisão da Agência de Bacia do Alto Tietê, do Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê e dos subcomitês, órgãos gerenciadores do Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos, por meio de medidas estruturais de despoluição, drenagem e abastecimento, medidas não-estruturais (implantação da Agência, sistema de licenciamento e certificação, gestão compartilhada) e medidas de melhoria do processo de decisão (desenvolvimento, articulação institucional, e capacitação institucional dos municípios).

O grande desafio do plano é, portanto, harmonizar a condutas dos diferentes agentes, nas esferas estadual – órgãos da administração e concessionários – e municipal, que têm responsabilidades no aproveitamento de recursos hídricos visando a gestão integrada metropolitana.

OBJETIVOS

A partir da preocupação sobre a importância de aproximar os organismos de fomento à gestão regional do Grande ABC (Câmara Regional do Grande ABC, Consórcio Intermunicipal das Bacias do Alto Tamanduaté e Billings e Agência de Desenvolvimento Econômico do Grande ABC) com as instituições regionais e metropolitanas responsáveis pela gestão das bacias hidrográficas, foram definidos os seguintes objetivos:

a) Identificar as ações dos organismos de atuação regional no Grande ABC (Câmara Regional do

Grande ABC, Consórcio Intermunicipal das Bacias do Alto Tietê e Billings e Agência de Desenvolvimento Econômico), desenvolvidas no período de 2003 e 2004 que se relacionam com o Plano da Bacia do Alto Tietê;

b) Analisar a contribuição desses organismos para a implementação do Plano da Bacia do Alto Tietê e a gestão integrada da bacia na região do ABC Paulista.

METODOLOGIA

Foi realizada uma pesquisa de cunho exploratório, caracterizada como estudo de caso. O caso estudado foi à região do Grande ABC, sob a ótica da gestão integrada dos recursos hídricos. O recorte cronológico compreende o período de 2003 e 2004, imediatamente posterior à finalização do Plano da Bacia do Alto Tietê.

Para a realização da pesquisa foram utilizadas as seguintes técnicas para coleta dos dados:

a) Entrevistas focalizadas com questões-chave, abertas, aplicadas aos representantes do Subcomitê das Bacias Hidrográficas Billings-Tamanduateí, onde foram coletadas informações sobre elementos conceituais, teóricos e práticos da gestão de bacias e dos planos de bacia; a aos responsáveis pela presidência/coordenação da Câmara Regional do Grande ABC e Consórcio Intermunicipal das Bacias do Alto Tamanduateí e Billings, onde foram coletadas informações sobre as ações destes organismos para a implementação do Plano da Bacia do Alto Tietê;

b) Pesquisa documental para coleta de dados referentes à função, competência, composição, estrutura, área de atuação e ações desenvolvidas (2003-2004) pelas instâncias regionais do Grande ABC.

RESULTADOS

Como parte integrante da Bacia do Alto Tietê, o ABC Paulista é representado pelo subcomitê da Bacia Hidrográfica Billings-Tamanduateí. Este subcomitê foi criado em 1998 com a função de fornecer, à região do Grande ABC, autonomia para discutir a gestão de seus recursos hídricos. Este subcomitê é formado por um conselho tripartite, composto por representantes do Governo do Estado, governos municipais (sete municípios) e sociedade civil.

Outras interfaces com a gestão dos recursos hídricos acontecem no âmbito das instâncias regionais: a Câmara Regional do Grande ABC, o Consórcio Intermunicipal e a Agência de Desenvolvimento Econômico. Por meio de suas ações voltadas não apenas ao desenvolvimento econômico, mas também ao social e ambiental, essas instâncias apresentam as condições e infra-estrutura necessárias para conduzir a gestão da Bacia Billings-Tamanduateí dentro da proposta de gestão da Bacia do Alto Tietê, representado pela presença do subcomitê e das próprias instâncias regionais articuladoras, importantes espaços tripartite, democráticos e políticos que contam com a participação de governos estadual e municipal, as sociedade civil e do setor privado.

A Câmara Regional do Grande ABC, instaurada em 1997, reúne representantes dos governos estadual e municipal e da sociedade civil no sentido de equacionar os problemas da região e buscar soluções para a problemática social, econômica, ambiental, territorial, de circulação e de transportes. As prioridades são estabelecidas de acordo com os diagnósticos formulados pelos grupos temáticos e com o Planejamento

Regional Estratégico do Grande ABC. No período de 2003 a 2004, foram fechados, pela Câmara, 22 acordos. Dentre esses acordos, conforme apontado pelos entrevistados, os apresentam relação com as diretrizes e metas do Plano da Bacia do Alto Tietê são:

a) Projeto Billings, destinado a viabilizar o aproveitamento do Reservatório Billings para o abastecimento da população;

b) Drenagem pluvial e fluvial, acordo assinado pela Câmara em 2000 que prevê a construção de 46 reservatórios (piscinões) na região do Grande ABC. Desde 2000, foram construídos 17 reservatórios e em 2004 foram definidos os locais para mais 6;

c) Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental e Lei específica da Billings, objetivando preservar e recuperar o manancial Billings, compatibilizando as ações de preservação dos mananciais com o uso e ocupação do solo e o desenvolvimento socioeconômico;

d) Programa de Saneamento Ambiental dos Mananciais do Alto Tietê e Billings, que abrangerá toda a Região Metropolitana de São Paulo, destacando a preservação dos mananciais de água para abastecimento da região;

e) Rodoanel - obras de construção do trecho sul do complexo viário metropolitano, que corta o território do Grande ABC.

O Consórcio Intermunicipal das Bacias do Alto Tietê e Billings foi instalado em 1990 tendo como objetivo principal representar o conjunto dos sete municípios perante outras entidades e instâncias e de fomentar políticas consensuais para o desenvolvimento da região. A partir de 1997, passou também a fornecer apoio e suporte para o funcionamento da Câmara do ABC. Este consórcio é

composto pelo Conselho de Municípios e pelo Conselho fiscal, do qual participam membros das 6 câmaras de vereadores das cidades e de entidades da sociedade civil. O Consórcio participa também dos acordos fechados pela Câmara Regional. Durante o período 2003/2004, além de participar destes acordos, este consórcio desenvolveu, através de seus grupos de trabalho, ações nas áreas de política tributária, meio ambiente, lei específica da Bacia Billings, combate à violência contra a mulher, demarcação das divisas intermunicipais, mobilização para combate à dengue. Articulou também a gestão regional referente à drenagem pluvial e fluvial, sistema viário de interesse regional e metropolitano, construção do coletor tronco de esgoto, movimentos de alfabetização e Criança Prioridade 1, saúde, segurança pública, centros de apoio de difusão tecnológica (plástico/moveleiro) e o Projeto Alquimia (qualificação profissional do setor de plásticos).

A Agência de Desenvolvimento Econômico, criada em 1998, tem por missão produzir e disseminar informações sócio-econômicas da região, conduzindo as ações de marketing regional e coordenando as ações técnico-financeiras de apoio e fomento às empresas, visando promover o desenvolvimento econômico sustentado da região. A agência é uma associação civil sem fins lucrativos, que conta com a participação do Consórcio Intermunicipal, dos setores privado, acadêmico e civil. No período 2003-2004, destacam-se os projetos de Arranjos Produtivos Locais, Incubadora de Empresas, Consórcio Social ABC da Juventude e Programa de Apoio à Exportação e a participação em 06 acordos regionais, nas áreas de diversificação e fortalecimento das cadeias produtivas e de inclusão social.

DISCUSSÃO

As instâncias de articulação regional do Grande ABC, considerando sua função, composição e atuação, apresentam mecanismos facilitadores dos processos de articulação interinstitucional para a gestão hídrica integrada e de caráter metropolitano, pois atuam em áreas que permitem a integração entre os sistemas de gestão de recursos hídricos e a gestão territorial e urbana e atuação junto aos usuários da água, com vistas à gestão da demanda e controle e racionalização.

Porém, embora essas instâncias sejam reconhecidamente legítimas, existe ainda uma dificuldade explícita no que se refere à adesão de tais organismos ao sistema de gerenciamento de recursos hídricos, pois os mesmos não estão contemplados na constituição do Subcomitê Billings-Tamanduateí, órgão gestor do sistema de recursos hídricos no Grande ABC. O sistema de recursos hídricos, portanto, não considera todos os atores da bacia. Conseqüentemente, os atores da bacia (instituições regionais), também não consideram, ou consideram parcialmente, em seus planejamentos, as diretrizes desses sistemas, não acoplando a discussão sobre a problemática da água em todas as suas dimensões de atuação.

A contribuição dos organismos de articulação regional do Grande ABC para a implementação do Plano da Bacia do Alto Tietê é uma das conseqüências dessa dificuldade. Muitas das ações da Câmara Regional do Grande ABC, do Consórcio Intermunicipal das Bacias do Alto Tietê e Billings e da Agência de Desenvolvimento Econômico apresentam relação direta com as recomendações e diretrizes do Plano da Bacia do Alto Tietê. Porém, conforme colocado pelos entrevistados, nenhuma ação teve, em sua elaboração e/ou

execução, o Plano da Bacia do Alto Tietê considerado como instrumento de apoio ou norteador.

O Plano da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê é um instrumento de gestão integrada e compartilhada das áreas da bacia e dos usos de suas águas por meio do estabelecimento de diretrizes e orientações. Entretanto, não é um instrumento normativo legalmente instituído, mas um conjunto de recomendações. Portanto, o que garante sua implementação é justamente a adesão das instituições ao plano e ao sistema de gerenciamento de recursos hídricos, o que depende integralmente da articulação dos organismos que atuam na bacia e sub-bacias hidrográficas do Alto Tietê.

Por não ser normativo, a utilização e implantação do Plano da Bacia do Alto Tietê reflete duas situações:

a) A instabilidade da capacidade e força governativas dos órgãos dos sistemas de gerenciamento dos recursos hídricos (agências, comitês, subcomitês e conselhos), no que se refere à implantação do plano e à influência em outras instâncias de decisão;

b) A crise do próprio sistema de gestão e governança metropolitana da Grande São Paulo, expressos pelas dificuldades de ações articuladas entre os vários municípios que compõem a bacia e órgãos gestores, não só nos aspectos ambientais, mas sociais, econômicos, culturais, políticos, etc.

Às limitações inerentes à gestão do setor de recursos hídricos em que convivem três esferas administrativas decisórias (União, Estados e Municípios), somam-se, para explicar a ausência de ações coordenadas de gestão da água, fatores como a falta histórica de prioridade política dada ao setor. Embora bastante atuantes, a Câmara Regional do Grande ABC, o Consórcio Intermunicipal e a Agência de

Desenvolvimento Econômico, têm, no tocante à gestão dos recursos hídricos, poder muito limitado, uma vez que só há domínio federal ou estadual das águas.

No ABC são ainda explicitadas algumas necessidades de mudança na condução e na postura político-administrativa de gestão da água, tanto por parte do poder público quanto pela sociedade civil organizada:

- Cultura organizacional e intelectual: mudança na visão ainda tradicional de gestão e práticas públicas autárquicas a partir da apreensão de conceitos de desenvolvimento ambiental consorciado com o desenvolvimento social e econômico;

- Cultura da sociedade civil: melhoria dos processos de decisão, participação e representatividade por meio de formação e capacitação, pois a demanda de várias comunidades e grupos também é tradicional e não contempla uma visão holística do meio e da região;

- Articulação regional, com o estabelecimento claro de papel e atuação dentre as instâncias que atuam na região.

Já as diretrizes e recomendações do Plano da Bacia do Alto Tietê não foram consideradas nas ações realizadas pelas instituições pesquisadas por três razões identificadas: muitas das ações já estavam em andamento ou definidas anteriormente ao plano, o que implicou na ausência de tentativas de adequação de tais ações ao Plano da Bacia do Alto Tietê; a fragilidade na adesão dos municípios ao plano, deixando sob livre arbítrio dos municípios e de outros órgãos sua utilização como documento norteador ou subsidiário das ações planejadas; e o Plano da Bacia do Alto Tietê não se mostrou um instrumento eficaz para a gestão dos recursos hídricos na região do Grande ABC, face

às deficiências nas diretrizes e recomendações e dificuldades de implementação, indicando a necessidade de adequações e complementações. No caso do Grande ABC, a aplicabilidade do plano foi comprometida também pela não determinação de ações claras, no mesmo, no que confere à gestão das áreas de mananciais, onde estão explicitados os maiores conflitos da região.

Por um lado, cabe lembrar aqui que o plano não se propõe a instaurar metas ou ações enrijecidas, mas o estabelecimento de objetivos que podem ser alcançados mediante múltiplas alternativas de ação setorial.

Por outro lado, as esferas de governança externas à regional, em muitos casos, comprometem o fortalecimento dos processos de gestão regional ao executarem ações e parcerias à revelia dos órgãos regionais gestores, desconsiderando as políticas regionais já elaboradas e limitando a própria autonomia da região na tomada de decisões. Neste caso, é preciso distinguir, no tocante aos recursos hídricos, o que é de interesse regional metropolitano e o que ultrapassa esse interesse específico.

CONCLUSÃO

Apesar de todas as ponderações cabíveis, é fato que ao Grande ABC tem uma capacidade governativa e gerencial de elaborar e implantar políticas e ações públicas de gestão e planejamento ambiental, em especial as relacionadas aos recursos hídricos, fomentando o desenvolvimento e a integração regional a partir do uso de um instrumento comum como subsidiário estratégico para elaboração das propostas de ação, seja o Plano da Bacia do Alto Tietê ou outro instrumento qualquer que mais

lhe aprover. Porém a gestão integrada dos recursos hídricos no Grande ABC ainda exige o estabelecimento de diretrizes integracionistas e o comprometimento dos atores regionais.

Necessita também de investimentos voltados à redução da fragmentação e da fragilidade e ao fortalecimento da competência regional na gestão dos recursos hídrico por meio da reciprocidade entre cooperação e intercâmbio dos municípios e sociedade civil da região e o desenvolvimento sustentável da sub-bacia Billings-Tamanduateí e, conseqüentemente, da bacia Hidrográfica do Alto Tietê.

Desta forma, a criação dos sistemas e políticas nacional e estadual de recursos hídricos e sua integração com a política regional metropolitana e seus órgãos consultores e executores acarreta ainda outras discussões que precisam ser aprofundadas e que dialogam com diversas dimensões no âmbito da gestão integrada dos recursos hídricos, como a identificação dos fatores que limitam a integração dos diversos sistemas de gestão metropolitana intra e inter-regional e a autonomia das regiões na gestão de seus recursos; além de discussões sobre a legitimidade funcional e aplicabilidade dos instrumentos de gestão ambiental, no caso, do sistema de gerenciamento de recursos hídricos.

REFERÊNCIAS

1. CÂMARA DO ABC. **A região encontra soluções.** *Revista da Câmara do Grande ABC.* Santo André: Agência de Desenvolvimento Econômico do Grande ABC - Câmara do Grande ABC, 2001.
2. CÂMARA DO ABC. **Balanco dos acordos regionais.** *Revista da Câmara do Grande ABC.* Santo André: Agência de Desenvolvimento Econômico do Grande ABC - Câmara do Grande ABC, 2004.

3. DORSEY, A.H.J. **Water in Sustainable development**: *exploring our common future in the Fraser River Basin*. British Columbia - Wastewater Research Centre, 1991.
4. FUSP. **Plano da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê: Relatório Final**. Comitê da Bacia do Alto Tietê: São Paulo - Fundação de Apoio á Universidade de São Paulo, 2002.
5. KLINK, J.J.. **A cidade-região: regionalismo e reestruturação no Grande ABC Paulista**. Rio de Janeiro - DP&A, 2001.
6. NEDER, R.T. **Crise socioambiental: Estado e sociedade civil no Brasil (1982 -1998)**. São Paulo: Annablume – Fapesp, 2002.
7. SIGRH – Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo.
Disponível em: www.sigrh.sp.gov.br . Acessado em:out.2004
8. SILVA, R.T. Gestão urbana e gestão das águas: caminhos da integração. In: Estudos avançados. Universidade de São Paulo - **Instituto de Estudos Avançados**.v. 17, n. 47, 2003.

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA E AUTODEPURAÇÃO DOS RIOS DA BACIA DO RIO PIRACICABA

Celimar Azambuja Teixeira

Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR
Av. Sete de Setembro, 3165 – DACOC - CEP: 80230-
901 – Curitiba – PR – Brasil – Fone: 41- 33104806,
celimar@utfpr.edu.br

Rubem La Laina Porto

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Poli/
USP Av. Prof. Luciano Gualberto, 380 - PHD – CEP:
05508-900 – São Paulo – SP – Brasil – Fone: 11-
3091-5549. rporto@usp.br

RESUMO

Atualmente, uma das maiores causas da escassez dos recursos hídricos, principalmente nos grandes centros urbanos, se deve a degradação da qualidade da água, a qual é decorrente dos lançamentos inadequados de efluentes industriais e esgotos domésticos. Dentro desse contexto, o desenvolvimento e a aplicação de modelos que consideram aspectos de quantidade e qualidade de água são extremamente necessários para resolver este problema de maneira racional. Desta forma, o objetivo do presente trabalho consiste no desenvolvimento de uma ferramenta computacional capaz de gerenciar de forma integrada os aspectos de quantidade e qualidade de água em uma bacia hidrográfica, considerando os parâmetros de enquadramento dos corpos d'água, de acordo com a resolução CONAMA 357/2005. Esta ferramenta computacional consiste em um modelo matemático para o gerenciamento de recursos hídricos e pode ser aplicado em qualquer bacia hidrográfica, porém especificamente neste estudo o modelo foi aplicado na bacia do rio Piracicaba, sendo que esta apresenta inúmeros conflitos pelo uso da água. A estrutura do modelo AcquaNet é composta por modelos distintos de quantidade e qualidade de água, porém apresentando a capacidade de interagir entre si. Os aspectos de quantidade de água são tratados através da otimização das vazões em uma bacia hidrográfica. Já o modelo de qualidade de água é capaz de determinar as concentrações de diversos constituintes de qualidade de água, tais como DBO, OD, coliformes totais, fósforo total, algas, nitrogênio orgânico, amônia, nitrito e nitrato em diversos trechos dos rios que compõem uma bacia.

PALAVRAS-CHAVE:

AcquaNet, gerenciamento de quantidade e qualidade, bacia do Piracicaba

ABSTRACT

Currently, one of the major causes of water resources shortage, especially in large urban centers, is the degradation of water quality, caused by inadequate releases of industrial effluent and domestic sewage. Within this context, the development and application of models, that consider aspects of water quantity and quality, is extremely necessary to solve this problem in a rational way. Thus, the purpose of this study is to develop a computational tool able to manage in an integrated manner the issues related to water quantity and quality of in a river basin, considering water bodies classification parameters, according to CONAMA 357/2005 resolution. This computational tool is a mathematical model for managing water resources, and can be applied in any river basin. Specifically for this study, the model was applied in Piracicaba watershed, where numerous conflicts related to the use of water occur. Distinct models of water quantity and quality that interact mutually compose the structure of the model AcquaNet. The issues related to water quantity are processed by means of flow rates optimization in a watershed. On the other hand, the model of water quality is capable of determining concentrations of various constituents of water quality, such as BOD, DO, total coli form, total phosphorus, algae, organic nitrogen, ammonia, nitrite and nitrate in several stretches of rivers.

KEYWORDS:

AcquaNet, water quantity and quality modeling, Piracicaba watershed

INTRODUÇÃO

O grande desafio para os próximos anos, na área de recursos hídricos, é o atendimento das demandas na quantidade necessária e com a qualidade apropriada, como também a preservação das águas, que vêm sofrendo grandes prejuízos em virtude da poluição descontrolada.

O presente trabalho tem por objetivo apresentar a metodologia de um modelo para o gerenciamento de quantidade e qualidade da água, além de sua aplicação na bacia do rio Piracicaba.

Segundo Silva & Ribeiro (2006), um dos maiores desafios da gestão de recursos hídricos no âmbito da implementação e do entendimento dos instrumentos de gestão, está em integrá-los. De forma, que a outorga deve definir cotas de água e de lançamentos de efluentes que, por sua vez, deverão ter suas quantidades cobradas em função de uma série de critérios, entre os quais, os objetivos de qualidade que se deseja para o corpo hídrico – expresso pelo seu enquadramento. Todo esse arranjo deverá ser configurado em um consistente plano de recursos hídricos e o conjunto de informações organizado no banco de dados do sistema de informações sobre recursos hídricos.

Na Resolução Conama 357/2005 ficou estabelecido que os limites de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) para as águas doces de classes 2 e 3, poderão ser elevados, caso o estudo da capacidade de autodepuração do corpo receptor demonstre que as concentrações mínimas de oxigênio dissolvido (OD) previstas não serão desobedecidas, nas condições de vazão de referência, com exceção da zona de mistura. Além disso, a Resolução Conama 357/2005 leva em consideração a concentração dos poluentes e não a carga gerada.

Segundo Gonçalves et al. (2008), a gestão de recursos hídricos é tarefa difícil. Os gestores precisam racionalizar o uso de recursos financeiros destinados às obras de saneamento. Esta visão justifica-se pela carência de recursos, sendo inevitável utilizarem o curso d'água como complementação dos processos que ocorrem no tratamento de esgotos, ampliando as opções tecnológicas de tratamento em consonância com a qualidade do corpo receptor.

No desenvolvimento do modelo AcquaNet buscou-se criar uma ferramenta de apoio à gestão de recursos hídricos na qual se consideram os critérios de enquadramento dos corpos d'água, permitindo analisar as condições ambientais de um rio, associadas às classes de uso da CONAMA 357/2005. A metodologia leva em conta as retiradas de água e os lançamentos pontuais, além da autodepuração do rio.

Os modelos de qualidade de água relacionam o transporte de uma substância ao longo do tempo e do espaço, sendo que este transporte está sujeito aos processos físicos, químicos e biológicos. O transporte ocorre devido à advecção, difusão e dispersão das substâncias no corpo d'água. A advecção de uma substância é o transporte resultante do gradiente do escoamento. A difusão é a variação da concentração com base no gradiente da própria substância, ou seja, é o resultado do movimento molecular de um ponto de alta concentração para um de baixa concentração. A dispersão é o efeito da flutuação turbulenta sobre a concentração, quando o fluido é descrito pela velocidade média, num volume finito, considerando que existem partículas que escoam com velocidade diferente da média, existe uma ação dispersiva no escoamento e na concentração de uma substância (Tucci, 1998).

Em se tratando de modelagem de qualidade de água e considerando as diferenças no comportamento dos diferentes corpos d'água, torna-se necessário o desenvolvimento de modelos específicos para análise diferenciada de rios e lagos.

A velocidade e a profundidade do fluxo são as principais características que diferenciam o escoamento em rios, do escoamento em reservatórios e lagos.

De acordo com McCutcheon (1989), os modelos de qualidade de água podem ser agrupados em quatro diferentes classes; os modelos concentrados (dimensão zero) onde um segmento do escoamento é descrito por um elemento computacional simples, ignorando qualquer variação lateral, vertical e longitudinal que deva ocorrer. Os modelos unidimensionais consideram os gradientes na direção longitudinal e relacionam elementos computacionais que se estendem à jusante no escoamento. Os modelos bidimensionais descrevem variações em duas direções, em geral, nas direções lateral e longitudinal. Já os modelos tridimensionais descrevem os gradientes nas direções lateral, longitudinal e vertical dos parâmetros de qualidade da água.

As maiores dificuldades na utilização dos modelos bi e tridimensionais se referem à obtenção de dados, ao grande número de parâmetros e a instabilidade numérica.

Os modelos de qualidade de água utilizados na representação dos fenômenos de transporte de massa em rios são, em geral, unidimensionais e representam o escoamento através da velocidade média na seção transversal, desprezando as variações nas outras direções. No caso dos lagos e reservatórios, onde as variações de densidade e temperatura da água são

marcantes, com freqüência torna-se necessário à utilização de modelos bi ou tridimensionais.

Na modelagem de qualidade de água em rios normalmente não se considera a zona de mistura. Admite-se que quando um material entra no corpo d'água, ele imediatamente mistura com o escoamento.

De acordo com a Unesco (1984), existe uma tendência, principalmente nos EUA, ao desenvolvimento de pacotes computacionais que podem ser aplicados a sistemas generalizados de rios, lagos e reservatórios. Entretanto, por causa da generalidade dos modelos, muitos pesquisadores têm preferido à adaptação destes a um problema em particular, ou ainda a elaboração de modelos sob medida. Embora isso necessite de mais tempo, existe a vantagem em relação ao aprendizado, isto é particularmente valioso no processo de gerenciamento, pois há o desenvolvimento de uma sensibilidade na tomada de decisão.

Muitos modelos de qualidade de água de rios já foram desenvolvidos,

destacando-se o Qual2E, OTIS e HEC5.

O modelo Qual2E é capaz de simular 15 variáveis de qualidade de água. São elas: OD, DBO, temperatura, algas e clorofila, nitrogênio orgânico, amônia, nitrito, nitrato, fósforo orgânico, fósforo dissolvido, coliformes, três constituintes conservativos e mais um constituinte não conservativo arbitrário. O modelo permite a incorporação de descargas pontuais, tributários, captações e incrementos relacionados às fontes difusas (Brown e Barnwell, 1987).

O modelo OTIS (*One-Dimensional Transport with Inflow and Storage*), desenvolvido pelo USGS (*United State Geological Survey*) tem como relação principal a equação de advecção-dispersão com termos adicionais para quantificar o armazenamento transiente, afluxo lateral e o decaimento de primeira ordem. O armazenamento transiente refere-se à detenção temporária de substâncias em pequenas bolsas de água parada, quando comparadas com o movimento mais rápido que acontece perto do centro do canal principal (Runkel, 1998).

O modelo HEC5 pode ser utilizado para determinar a qualidade de água em sistemas de rios e reservatórios, foi desenvolvido pelo *US Army Corps of Engineers* em Davis, Califórnia (Unesco, 1984).

O AcquaNet, objeto desse estudo, é um modelo unidimensional capaz de determinar a concentração das seguintes substâncias; DBO, OD, coliformes totais, fósforo total, algas, nitrogênio orgânico, amônia, nitrito e nitrato em diversos trechos de rios, em função de sua vazão, dos lançamentos ocorridos e do processo de decaimento dos poluentes (Teixeira e Porto, 2004).

MATERIAIS E MÉTODOS

O AcquaNet é um modelo de rede de fluxo que engloba o gerenciamento de quantidade e qualidade de água. Tais aspectos podem trabalhar isoladamente ou de forma integrada, dependendo das necessidades do usuário (Teixeira e Porto, 2004).

O modelo de qualidade de água pode ser utilizado em rios, considerando lançamentos pontuais, tais como a entrada de efluentes industriais e a descarga de esgotos domésticos, podendo simular as concentrações de DBO, OD, Coliformes Totais, Fósforo Total, Algas, Nitrogênio Orgânico, Amônia, Nitrito e Nitrato.

No processo de modelagem, os rios estão sendo considerados como escoamentos unidimensionais e estão sujeitos, principalmente, aos fenômenos de conservação de massa e de reações cinéticas. Sendo que o rio pode ser dividido em trechos, como na figura 1.

Cada trecho deverá apresentar parâmetros constantes, tais como: área da seção, declividade, velocidade, vazão, altura média da lâmina d'água, entre outros. Cada segmento representa um

Sistema Conceitual - Trechos e Segmentos

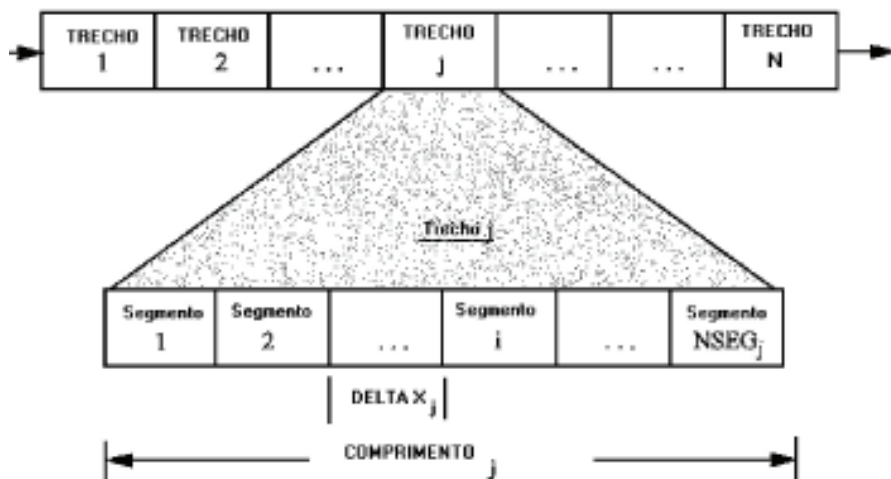


Figura 1: Subdivisão de um trecho do rio em segmentos – Fonte: Runkel (1998).

volume de controle sobre o qual as equações que governam o balanço de massa serão aplicadas. Para um dado trecho, haverá um determinado número de volumes de controle de comprimento DX.

A equação de balanço de massa relacionando a conservação de massa e a reação cinética é a seguinte:

$$V \frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial (A_c E \frac{\partial c}{\partial x})}{\partial x} dx - \frac{\partial (A_c U c)}{\partial x} dx + V \frac{dc}{dt} + S \quad (1)$$

Acumulação = Dispersão – Adveção+ Reações Cinéticas+ Fontes Externas

Onde: V: volume; A_c : Área da seção transversal do canal; E: coeficiente de dispersão; c: concentração do poluente; U: velocidade média; x: distância; S: fontes externas.

A equação 1 foi dividida pelo volume a fim de simplificar a estrutura dos termos. Cabe ressaltar que o termo $A_c E$ está dentro de uma derivada, sugerindo que este termo é uma variável ao longo do volume de controle. Foi assumido que este termo não muda em dx, portanto foi possível colocá-lo fora do diferencial e assim dividir toda a equação pelo volume. Além disso, o modelo não relaciona as fontes externas, portanto a equação resultante é a seguinte:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = E \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} dx - U \frac{\partial c}{\partial x} + \frac{dc}{dt} \quad (2)$$

O termo referente às reações cinéticas pode ser demonstrado em função da taxa de decaimento k e da concentração c do poluente no instante t , conforme:

$$\frac{dc}{dt} = -kc \quad (3)$$

O modelo de qualidade de água pode apresentar duas formas para solução do problema: estado constante ou permanente e variando no tempo.

A solução para o estado constante ou permanente considera que não existe variação da concentração em relação ao tempo, ou seja, num determinado dia ou mês. Sendo assim, pode-se assumir que:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = 0 \quad (4)$$

A equação de balanço de massa também pode ser chamada de equação de advecção-dispersão-reação e considerando que os diferenciais parciais podem ser substituídos por derivadas parciais, então:

$$0 = -U \frac{dc}{dx} + E \frac{d^2 c}{dx^2} - kc \quad (5)$$

Segundo Chapra (1997), o termo E da eq. (5) refere-se ao coeficiente de dispersão, tal parâmetro é muito significativo em escoamentos dispersivos, tais como os estuários. No caso dos rios, o fenômeno da advecção (parcela referente à velocidade) é o que tem maior importância. Baseando-se nesse princípio, a parcela da dispersão pode ser eliminada na equação de balanço de massa e, portanto para os rios assume-se que:

$$0 = -U \frac{dc}{dx} - kc \quad (6)$$

Para solucionar a equação 6, a mesma deverá ser aplicada para cada um desses volumes de controle, como demonstra a figura 1. Outra forma de resolver o problema é através da sua integração, obtendo-se uma solução analítica para a questão.

Assumindo que a velocidade (U) deve ser constante no trecho do rio e que corresponde a um DX (distância) por um Dt (intervalo de tempo), então:

$$U = \frac{dx}{dt} \quad (7)$$

Considerando a forma geral para um determinado decaimento, a simplificação da velocidade e integrando sua equação, tem-se que:

$$U \frac{dc}{dx} = -kc \quad \text{e} \quad \frac{dx}{dt} \frac{dc}{dx} = -kc \quad (8)$$

portanto:

$$\frac{dc}{dt} = -kc \quad \text{e} \quad dc = -kc dt \quad (9)$$

Integrando essa equação tem-se que:

$$\int dc = - \int kc dt \quad (10)$$

$$c = c_0 e^{-kt} \quad (11)$$

Assumindo que o t (tempo) é a distância dividida pela velocidade, então:

$$c = c_0 e^{-k \frac{x}{U}} \quad (12)$$

Isso significa dizer que a massa de um constituinte de qualidade da água percorre um determinado trecho com uma velocidade constante U.

Primeiramente, o rio deverá ser analisado quanto as suas características hidrogeométricas e quanto aos pontos de entrada de efluentes e retiradas de água. Isto quer dizer que toda vez que houver alterações nas características hidrodinâmicas do rio, como por exemplo: alterações de velocidade, de área, de vazão ou do coeficiente de dispersão um novo trecho deverá ser criado e também quando houver algum ponto de entrada ou de retirada de água no rio.

A obtenção da solução de cada um dos diversos poluentes considerados no modelo de qualidade de água, se dá a partir do termo dc/dt descritos nas equações (13) a (21).

REAÇÕES CINÉTICAS

Os constituintes considerados no modelo são: DBO_u (DBO última), OD, nitrogênio orgânico, amônia, nitrito, nitrato, fósforo total, algas e coliformes totais.

As reações cinéticas dos constituintes qualidade de água podem ser representadas matematicamente pelas expressões a seguir. Cada uma dessas equações é resultado de um complexo processo químico e biológico que o constituinte presente no corpo d'água está sujeito.

$$\text{Algas (A): } \frac{dA}{dt} = k_g A - k_{ra} A - \frac{\sigma_1}{H} A \quad (13)$$

Nitrogênio Orgânico (N_o):

$$\frac{dN_o}{dt} = a_{na} k_{ra} A - k_{oa} N_o - \sigma_4 N_o \quad (14)$$

$$\text{Amônia (N}_a\text{): } \frac{dN_a}{dt} = k_{oa} N_o - k_{ai} N_a + \frac{\sigma_3}{H} - F a_{na} k_g A \quad (15)$$

$$\text{Nitrito (N}_i\text{): } \frac{dN_i}{dt} = k_{ai} N_a - k_{in} N_i \quad (16)$$

$$\text{Nitrato (N}_n\text{): } \frac{dN_n}{dt} = k_{in} N_i - (1-F) a_{na} k_g A \quad (17)$$

$$\text{Fósforo Total (P): } \frac{dP}{dt} = k_p P \quad (18)$$

$$\text{DBO (L): } \frac{dL}{dt} = -k_d L - k_s L \quad (19)$$

$$\text{OD(o): } \frac{do}{dt} = k_d (o_s - o) - k_d L - \frac{SOD}{H} + (P k_g - R k_{ra}) A - r_{oa} k_{ai} N_a - r_{oi} k_{in} N_i \quad (20)$$

$$\text{Coliformes Totais (Coli): } \frac{dColi}{dt} = -k'_b Coli \quad (21)$$

Sendo que a taxa das perdas totais dos coliformes é dada por:

$$k'_b = (0.8 + 0.02S) 1.07^{T-20} + \frac{\alpha J_o}{k_e H} (1 - e^{-k_e H}) + F_p \frac{v_s}{H} \quad (22)$$

Quanto ao OD (oxigênio dissolvido), pode-se dizer que a sua respectiva equação relaciona a demanda de oxigênio referente a DBO Carbonácea e a NDBO (DBO Nitrogenosa referente ao nitrogênio oxidável, que é a concentração do nitrogênio orgânico somada a da amônia), além dos efeitos de crescimento e respiração das algas relacionados a fotossíntese, em função dos parâmetros de luz e do nutriente limitante.

O modelo corrige internamente as taxas de decaimento (os ks) para a temperatura de 20°C.

Todos os parâmetros das eqs. (13) a (21) estão identificados a seguir:

k_d: taxa de decomposição da DBO ou desoxigenação [d⁻¹];

k_g: taxa de reaeração, diversos autores propõem fórmulas para sua determinação, o Modelo de qualidade de água traz as fórmulas de Churchill et al., O'Connor e Dobbins, Owens et al. e Langbien e Durum [d⁻¹];

k_s: taxa de sedimentação da DBO [d⁻¹];

SOD: demanda de oxigênio no sedimento [g m⁻² d⁻¹];

o: concentração do oxigênio dissolvido presente no corpo d'água [mg L⁻¹];

o_s: concentração de saturação do oxigênio dissolvido, obtido em função da temperatura [mg L⁻¹];

k_g: taxa de crescimento das algas [d⁻¹];

k_{ra}: taxa de perda de biomassa de algas devido o processo de respiração [d⁻¹];

s₁: demanda de oxigênio no sedimento pela algas [g m⁻² d⁻¹];

s₂: demanda de oxigênio no sedimento pelo fósforo [g m⁻² d⁻¹];

s₃: demanda de oxigênio no sedimento pela amônia [g m⁻² d⁻¹];

s₄: taxa de sedimentação do nitrogênio orgânico [d⁻¹];

s₅: taxa de sedimentação do fósforo orgânico [d⁻¹];

H: profundidade média do rio no trecho considerado, obtida pela equação de Manning [m];

k_p: taxa de decaimento do fósforo [d⁻¹];

F: fator de limitação do nutriente (nitrogênio);

a_{na}: razão estequiométrica do nitrogênio com relação as algas (clorofila) [gN mg-Chla⁻¹];

a_{pa}: razão estequiométrica do fósforo em relação as algas (clorofila) [gP mg-Chla⁻¹];

r_{oa}: razão estequiométrica do oxigênio em relação a amônia [gO gN⁻¹];

r_{oi}: razão estequiométrica do oxigênio em relação ao nitrito [gO gN⁻¹];

r_{on}: razão estequiométrica do oxigênio em relação a nitrogênio total [gO gN⁻¹];

r_{oa}: razão estequiométrica do oxigênio em relação as algas definida pela clorofila A [gO mgChla⁻¹];

P: razão de fotossíntese;

R: razão de respiração.

k_{oa}: taxa de transformação de nitrogênio orgânico em amônia;

k_{ai}: taxa de transformação de amônia em nitrito;

k_{in}: taxa de transformação de nitrito em nitrato;

Os parâmetros k_{oa} , k_{ai} e k_{in} são multiplicados internamente no modelo pelo fator de nitrificação (f_{nitr}), obtido através da seguinte equação:

$$f_{nitr} = 1 - e^{-k_{nitr} \cdot o} \quad (23)$$

Onde k_{nitr} = coeficiente de primeira ordem referente à inibição da nitrificação (» 0,6), é considerado igual a 1 para concentrações de OD maiores que 3 mg/l.

Integrando as equações dos diversos poluentes (equações 13 a 21), chega-se a formulação analítica, a qual foi utilizada no modelo de qualidade de água e que é demonstrada a seguir.

As fórmulas para a determinação de DBO e OD correspondem ao modelo clássico de Streeter-Phelps.

- Fórmula para determinar a concentração da DBO_u (L):

$$L = L_0 e^{-\frac{(k_d + k_s)X}{U}} \quad (24)$$

Onde k_d = taxa de decomposição da DBO ou desoxigenação e k_s = taxa de sedimentação da DBO.

A fórmula correspondente à determinação do oxigênio dissolvido relaciona vários fatores, entre eles: o déficit de OD inicial, a relação da DBO-Carbonácea, a relação do SOD (Demanda de Oxigênio pelo Sedimento), a relação da DBO distribuída e presente no sedimento e a relação da DBO nitrogenosa.

- Fórmula total para determinar a concentração do Déficit de OD (o):

$$o = OS - D \quad (25)$$

$$= D_0 e^{-\frac{k_r X}{U}} + \frac{k_d L_0}{k_a - k_r} \left(e^{-\frac{k_r X}{U}} - e^{-\frac{k_a X}{U}} \right) + \frac{-P + R + \left(\frac{SOD}{H} \right) (1 - e^{-\frac{k_a X}{U}})}{k_a} \quad (26)$$

$$\frac{k_d S_L}{k_r k_a} \left(1 - e^{-\frac{k_a X}{U}} \right) - \frac{k_d SOD}{k_r (k_a - k_r)} \left(e^{-\frac{k_r X}{U}} - e^{-\frac{k_a X}{U}} \right) + \frac{k_n L_{No}}{k_a - k_n} \left(e^{-\frac{k_n X}{U}} - e^{-\frac{k_a X}{U}} \right)$$

Sendo que a taxa de saturação de oxigênio é dada em função da temperatura, conforme equação 27.

$$\ln OS = -139.34411 + \frac{1.575701 \cdot 10^5}{T_a} - \frac{6.642308 \cdot 10^7}{T_a^2} + \frac{1.243800 \cdot 10^{10}}{T_a^3} - \frac{8.621949 \cdot 10^{11}}{T_a^4} \quad (27)$$

$$T_a = T(^{\circ}C) + 273.15 \quad (28)$$

Onde: k_a = taxa de reaeração, **SOD** = demanda de oxigênio no sedimento, **o** = concentração do oxigênio dissolvido presente no corpo d'água [mg L⁻¹], **o_s** = concentração de saturação do oxigênio dissolvido, **kn** = taxa de nitrificação, **L_{No}** = DBO nitrogenosa, **P e R** = Razão da fotossíntese e respiração respectivamente.

Muitos pesquisadores desenvolveram fórmulas para determinar a taxa de reaeração nos corpos d'água, as mais usuais são apresentadas na tabela 1.

A determinação das concentrações oriundas do ciclo do nitrogênio tem como base o modelo de nitrificação apresentado por Chapra (1997).

- Fórmula para determinar a concentração do Nitrogênio Orgânico (No):

$$No = N_{o_0} e^{-\frac{k_{oa} X}{U}} \quad (29)$$

- Fórmula para determinar a concentração da Amônia (Na):

$$Na = N_{a_0} e^{-\frac{k_{ai} X}{U}} + \frac{k_{oa} N_{o_0}}{k_{ai} - k_{oa}} \left(e^{-\frac{k_{oa} X}{U}} - e^{-\frac{k_{ai} X}{U}} \right) \quad (30)$$

- Fórmula para determinar a concentração do Nitrito (Ni):

$$Ni = N_{i_0} e^{-\frac{k_{in} X}{U}} + \frac{k_{ai} N_{a_0}}{k_{in} - k_{ai}} \left(e^{-\frac{k_{ai} X}{U}} - e^{-\frac{k_{in} X}{U}} \right) - \frac{k_{ai} k_{oa} N_{o_0}}{k_{ai} - k_{oa}} \left(\frac{e^{-\frac{k_{oa} X}{U}} - e^{-\frac{k_{in} X}{U}}}{k_{in} - k_{oa}} - \frac{e^{-\frac{k_{ai} X}{U}} - e^{-\frac{k_{in} X}{U}}}{k_{in} - k_{ai}} \right) \quad (31)$$

Pesquisador	Fórmula (d ¹)	Aplicação	H (m)	U (m/s)
O'Connor-Dobbins	$k_a = 3.93 \frac{U^{0.5}}{H^{1.5}}$	Rios profundos a moderados com velocidade baixa a moderada	0.30 – 9.14	0.15 – 0.49
Churchill	$k_a = 5.026 \frac{U}{H^{1.67}}$	Rios profundos a moderados com altas velocidades	0.61 – 3.35	0.55 – 1.52
Owens e Gibbs	$k_a = 5.32 \frac{U^{0.67}}{H^{1.85}}$	Rios com baixa profundidade	0.12 – 0.73	0.03 – 0.55

Tabela 1: Fórmulas para determinação da reaeração – Fonte: Chapra (1997).

-Fórmula para determinar a concentração do Nitrato (Nn):

$$Nn = No_o + Na_0 + Ni_0 - No_o e^{-\frac{k_{oa}X}{U}} - Na_0 e^{-\frac{k_{ai}X}{U}} - Ni_0 e^{-\frac{k_{in}X}{U}} - \frac{k_{oa}No_o}{k_{ai} - k_{oa}} \left(e^{-\frac{k_{oa}X}{U}} - e^{-\frac{k_{ai}X}{U}} \right) - \frac{k_{ai}Na_0}{k_{in} - k_{ai}} \left(e^{-\frac{k_{ai}X}{U}} - e^{-\frac{k_{in}X}{U}} \right) - \frac{k_{ai}k_{oa}No_o}{k_{ai} - k_{oa}} \left(\frac{e^{-\frac{k_{oa}X}{U}} - e^{-\frac{k_{in}X}{U}}}{k_{in} - k_{oa}} - \frac{e^{-\frac{k_{ai}X}{U}} - e^{-\frac{k_{in}X}{U}}}{k_{in} - k_{ai}} \right) \quad (32)$$

Sendo que: k_{oa} = taxa de transformação de nitrogênio orgânico em amônia, k_{ai} = taxa de transformação de amônia em nitrito e k_{in} = taxa de transformação de nitrito em nitrato.

- Fórmula para determinar a concentração das Algas (a):

Para a determinação da concentração das algas, primeiramente torna-se necessário definir a taxa de decaimento Knet.

$$a = a_0 e^{-\frac{k_{net}X}{U}} \quad (33)$$

O Knet pode ser determinado a partir da seguinte equação:

$$k_{net} = kg(T, N, I) * k_{ra} * \frac{V_a}{H} \quad (34)$$

Onde: $k_g(T, N, I)$ = taxa de crescimento das algas em função da temperatura, presença de nutrientes e condições de luz, k_{ra} = taxa de perda de biomassa de algas devido o processo de respiração; V_a = velocidade de sedimentação e H = profundidade média do rio no trecho considerado.

- Fórmula para determinar a concentração dos Coliformes (COLI):

$$COLI = COLI_0 e^{-\frac{k_{COLI}X}{U}} \quad (35)$$

Sendo k_{COLI} : taxa de decaimento dos coliformes [d⁻¹].

-Fórmula para determinar a concentração do Fósforo (P):

$$P = P_0 e^{-\frac{k_p X}{U}} \quad (36)$$

Onde k_p : taxa de decaimento do fósforo [d⁻¹].

O AcquaNet consiste na integração dos modelos de quantidade e qualidade de água . Os dados de entrada do modelo de quantidade são as séries históricas de vazão nos diversos trechos do rio e os dados de saída são valores otimizados de vazões de acordo com o cenário definido pelo usuário, em função dos diversos usos da água na bacia. Estas vazões otimizadas pelo modelo de quantidade de água constituem-se como dados de entrada para o modelo qualidade e que por sua vez fornece como dados de saída às

concentrações mensais dos poluentes simulados nos mais diversos pontos da bacia.

A questão do gerenciamento de recursos hídricos envolve grandes sistemas que acabam resultando em grandes redes de fluxo no modelo AcquaNet, com muitos reservatórios, nós de passagem, links e demandas. A quantidade de dados envolvida na simulação é enorme, visto que os dados se configuram na forma de séries temporais.

O AcquaNet analisa as condições do rio considerando os parâmetros de qualidade da água em função do enquadramento dos corpos d'água, definidos pela Resolução Conama 357/2005. Desta forma, o usuário informa ao modelo a classe do rio e o modelo informa se as concentrações estão enquadradas ou não de acordo com a referida resolução.

Na hipótese de não enquadramento, o usuário poderá atribuir diversos níveis de tratamento aos efluentes lançados, para verificar qual o tratamento mais adequado para que o rio obedeça ao enquadramento.

Vale enfatizar que, por se tratar de modelagem matemática algumas hipóteses e simplificações foram admitidas quando do processo de formulação do modelo. O AcquaNet tem por objetivo auxiliar na gestão de recursos hídricos e portanto o nível de conhecimento e a sensibilidade do usuário em trabalhar com os dados são de fundamental importância para a qualidade dos resultados. Visto que o processo de modelagem de qualidade das águas requer um intenso e constante monitoramento dos corpos d'água, alocando recursos, equipamentos e pessoal qualificado.

RESULTADOS

Para a validação e calibração do modelo AcquaNet para uma situação real, utilizou-se a bacia do Rio Piracicaba como área de estudo.

Esta bacia foi escolhida por apresentar diversos dados, tanto de quantidade como de qualidade de água. Além disso, ela representa uma bacia complexa no cenário nacional de recursos hídricos, apresentando disputas pelos usos da água e comprometimento de sua qualidade.

Como o modelo trabalha num cenário de rede de fluxo, procurou-se montar a rede levando em consideração os pontos de lançamento e retiradas de água que ocorrem em toda a bacia. Também foram consideradas as indústrias e cidades que tem algum tipo de influência, retirada de água ou lançamento de efluente nos rios. Tais dados referem-se ao estudo realizado pela Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SMA – SP, 1994).

VALIDAÇÃO E CALIBRAÇÃO DO MODELO

Nas simulações realizadas, considerou-se o período de dados de seis anos, compreendendo entre os anos de 1979 a 1984. Este período foi escolhido por apresentar dados mensais de qualidade de água e também por coincidir com a existência de dados de vazões mensais neste período.

Para os dados de entrada das vazões afluentes foram considerados os postos fluviométricos de responsabilidade do DAEE (Departamento de Água e Energia Elétrica) e quanto aos dados de qualidade de água foram utilizados os postos de monitoramento da Cetesb existentes na bacia do Rio Piracicaba.

Através da formulação de Manning, o modelo calcula a velocidade média e a profundidade, em função da vazão média mensal determinada pelo modelo de quantidade de água.

O AcquaNet avalia as condições do rio e seleciona automaticamente a fórmula mais adequada para definir a taxa de reaeração, conforme tabela 1. O usuário do modelo ainda tem a opção de atribuir um valor que julgar mais conveniente. Além disso, os coeficientes de qualidade de água são definidos nos vários trechos do rio, correspondentes aos links da rede de fluxo criados pelo usuário para simular a bacia hidrográfica, conforme figura 2.

O modelo apresenta os resultados na forma de tabelas e gráficos. Os dados das tabelas poderão ser exportados para aplicativos como o Excel, permitindo outros tipos de análises.

Para comparar os dados observados com os simulados, buscaram-se pontos específicos na bacia e que foram representados no modelo, conforme tabela 2. Estes mesmos pontos estão destacados, por círculos maiores na rede de fluxo apresentada na figura 3.

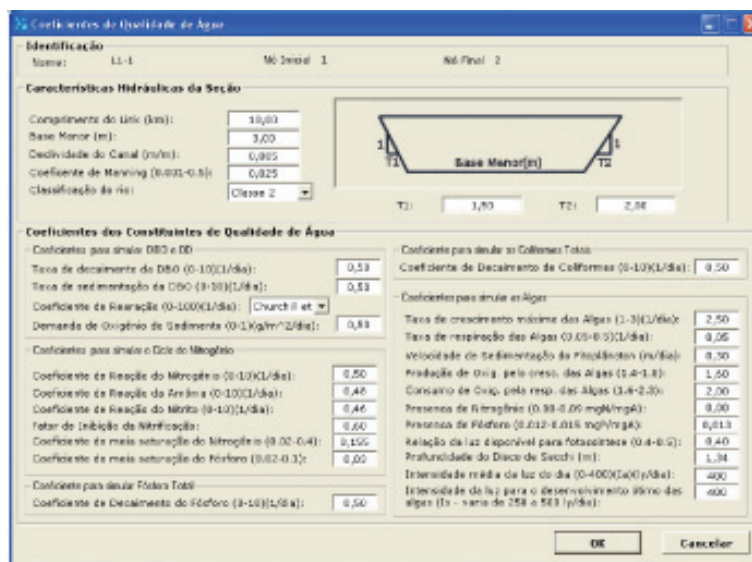


Figura 2: Tela de entrada de dados nos links (trechos de rio).

Ponto na rede do AcquaNet	Posto Cetesb correspondente	Rio	Localidade
PV1	AT-2605	Atibaia	Paulínea
PV2	JA-2800	Jaguari	Jusante da confluência do rio Jaguari com o rio Camanducaia
PV3	PI-2800	Piracicaba	Jusante da confluência do rio Piracicaba com o rio Camanducaia

Tabela 2: Descrição dos pontos de verificação e Cetesb.

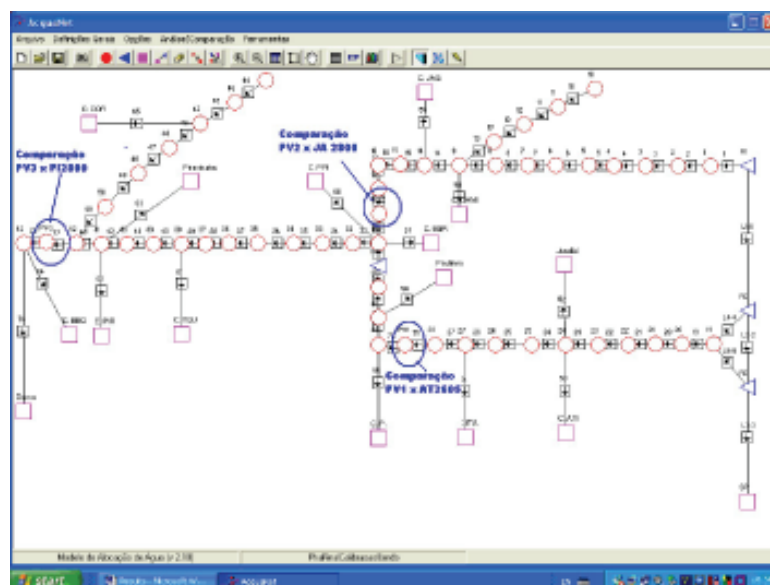


Figura 3: Rede de fluxo destacando os pontos de verificação através de círculos azuis.

Nas simulações de qualidade de água foram analisadas apenas as concentrações de DBO e OD. As concentrações dos demais constituintes de qualidade de água não foram consideradas por não existirem dados suficientes para suas simulações no modelo. Quanto aos resultados de quantidade de água, pode-se dizer que as demandas foram supridas satisfatoriamente. Os valores dos coeficientes de DBO e OD que foram utilizados nas simulações foram os

Rio	T média (°C)	K _d (d ⁻¹)	K _s (d ⁻¹)	SOD (g/m ² /dia)
Atibaia (próximo ao posto AT-2605)	20	0,50	0,50	5,30
Jaguari (próximo ao posto JA-2800)	20	0,50	0,50	5,30
Piracicaba (próximo ao posto PI-2800)	20	1,00	0,50	5,30

Tabela 3: Temperatura e Coeficientes Cinéticos
Fonte: Teixeira e Porto (2004).

Rio	Largura média do rio (m)	Declividade do canal (m/m)	n de Manning
Atibaia (próximo ao posto AT-2605)	15	0,0002	0,030
Jaguari (próximo ao posto JÁ-2800)	10	0,0002	0,030
Piracicaba (próximo ao posto PI-2800)	30	0,0002	0,030

Tabela 4: Características Hidrodinâmicas
Fonte: Teixeira e Porto (2004).

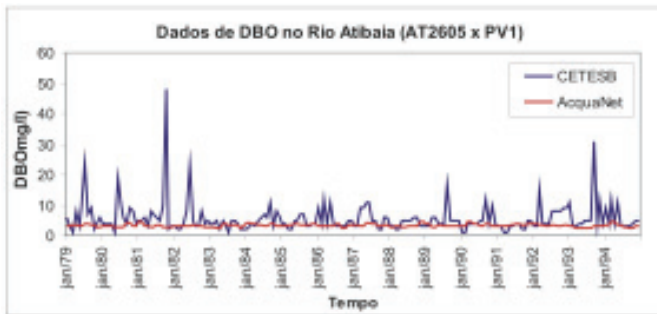


Figura 4: Comparação dos dados de DBO do Rio Atibaia.

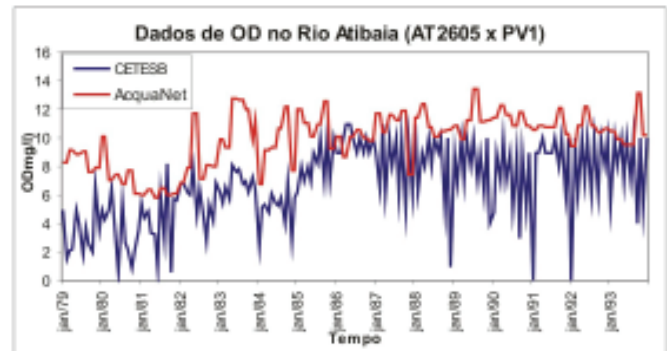


Figura 5: Comparação dos dados de OD do Rio Atibaia.

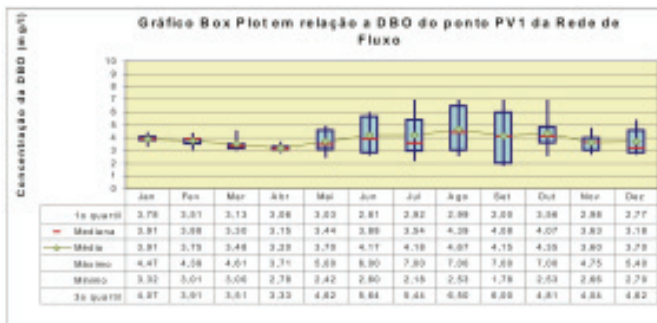


Figura 6: Gráfico Box Plot para os resultados de DBO fornecidos pelo AcquaNet

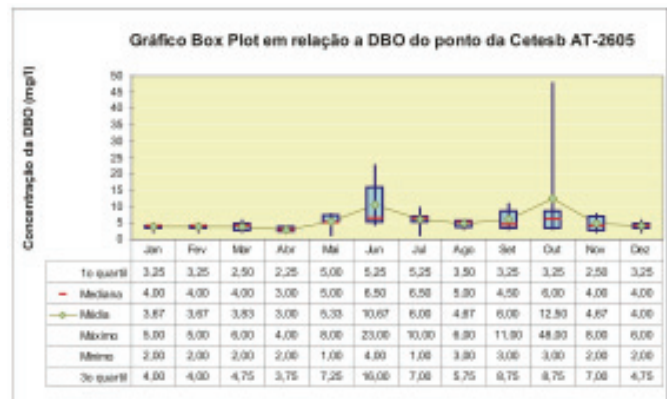


Figura 7: Gráfico Box Plot para os dados de DBO do posto da CETESB AT-2605

Estatística	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1. quartil	4,28	4,95	5,50	5,78	6,40	5,25	7,39	6,02	6,16	6,65	5,37	4,91
Mediana	5,34	5,00	5,60	5,85	6,96	6,08	7,45	6,74	6,83	6,72	6,56	5,50
Média	5,25	5,29	5,80	6,13	6,69	6,08	7,05	6,86	6,50	6,70	6,02	5,49
Máximo	6,74	6,76	6,41	7,22	7,17	7,29	7,82	7,94	7,66	7,58	6,74	6,53
Mínimo	3,85	4,89	5,36	5,42	5,79	4,87	4,59	6,00	4,67	5,64	4,57	4,56
3. quartil	6,06	5,15	6,18	6,50	7,03	6,93	7,60	7,65	7,02	6,86	6,65	5,97

Tabela 5: Dados Estatísticos referentes ao OD do ponto PV1 fornecido pelo AcquaNet

Estatística	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1. quartil	5,10	4,58	5,08	5,03	3,93	1,83	5,68	3,28	3,10	1,68	3,15	5,65
Mediana	5,80	5,25	5,75	5,85	6,45	5,00	6,30	4,70	5,20	4,65	4,95	6,10
Média	5,33	5,68	5,83	5,38	5,87	4,18	6,55	4,60	5,10	4,00	4,70	5,87
Máximo	6,80	8,00	7,00	6,50	8,10	7,60	8,20	6,80	8,20	7,00	7,20	7,00
Mínimo	2,40	4,30	4,90	3,30	3,00	0,60	5,20	2,70	2,20	0,60	2,10	3,50
3. quartil	6,20	6,53	6,50	6,00	7,70	5,85	7,45	5,60	6,85	5,98	6,08	6,78

Tabela 6: Dados Estatísticos referentes ao OD do posto da CETESB AT-2605

Estatística	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1. quartil	0,97	0,98	0,93	0,96	0,85	1,01	1,07	1,09	0,80	0,86	0,69	0,80
Mediana	1,07	1,00	1,03	0,98	0,87	1,06	1,17	1,15	0,95	0,92	0,75	0,85
Média	1,05	0,91	0,98	0,96	0,86	1,07	1,16	1,17	1,01	0,90	0,79	0,83
Máximo	1,18	1,14	1,12	1,19	1,13	1,25	1,29	1,52	1,49	1,15	1,02	1,06
Mínimo	0,84	0,30	0,74	0,52	0,48	0,83	1,04	0,85	0,61	0,56	0,58	0,49
3. quartil	1,17	1,05	1,07	1,10	0,94	1,20	1,23	1,24	1,20	1,00	0,91	0,92

Tabela 7: Dados Estatísticos referentes à DBO do ponto PV2 fornecido pelo AcquaNet

Estatística	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1. quartil	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,25	1,00	1,00	1,25	2,00
Mediana	1,50	1,50	1,50	1,00	1,00	1,00	1,00	2,50	1,50	1,00	2,00	2,00
Média	1,67	1,67	1,83	1,17	1,17	1,50	1,50	13,50	1,83	1,83	2,00	2,17
Máximo	3,00	3,00	4,00	2,00	2,00	3,00	3,00	69,00	4,00	4,00	3,00	4,00
Mínimo	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
3. quartil	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,75	1,75	4,50	2,00	2,50	2,75	2,00

Tabela 8: Dados Estatísticos referentes à DBO do posto da CETESB JA-2800

valores médios apresentados na literatura atual e que responderam de forma satisfatória no processo de calibração do modelo, de acordo com a tabela 3. Já as características hidrodinâmicas dos rios estão descritas na tabela 4.

Para o Rio Atibaia, as comparações de DBO e OD entre os dados simulados (AcquaNet) e observados (fornecidos pela CETESB) são mostradas nas figuras 4 e 5, respectivamente.

Para uma melhor comparação entre os valores simulados e os dados observados utilizou-se de dados estatísticos das concentrações de DBO, conforme figuras 6 e 7. Para os valores de OD, os mesmos são apresentados nas tabelas 5 e 6.

As comparações dos dados simulados e observados, para o Rio Jaguari, são mostradas nas figuras 8 e 9. Os dados estatísticos das concentrações de DBO e OD podem ser usados para comparar melhor os valores simulados com os dados observados do nó PV2 com os valores do posto de monitoramento da Cetesb JA-2800, conforme tabelas 7, 8, 9 e 10.



Figura 8: Comparação dos valores de DBO do Rio Jaguari.

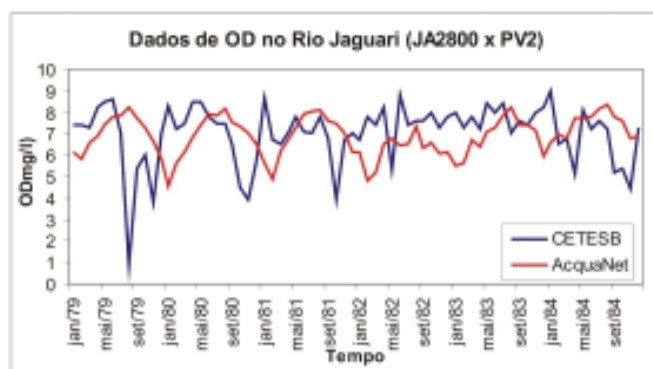


Figura 9: Comparação dos dados de OD do Rio Jaguari.

Comparações de dados simulados e observados do rio Piracicaba conforme figuras 10 e 11.

Nas tabelas 11, 12, 13 e 14, são apresentados parâmetros estatísticos para o Rio Piracicaba, das concentrações de DBO e OD.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Com a aplicação do AcquaNet na bacia do Rio Piracicaba, pode-se testar e calibrar o modelo para uma situação real e conforme mostraram os resultados, o modelo respondeu de forma satisfatória.

Tanto para o rio Atibaia como para o Jaguari, os valores máximos da concentração de DBO apresentados pela Cetesb são provavelmente picos de lançamentos que ocorreram em determinados meses. Estes valores o AcquaNet não consegue representar, porque no modelo entrou-se com valores médios de lançamentos e que foram considerados os mesmos para todos os meses da simulação, por esse motivo os resultados apresentados pelo modelo apresentaram um comportamento mais uniforme.

Já para o rio Piracicaba, os valores mantiveram também um comportamento mais homogêneo, de acordo com as figuras 10 e 11.

Estatística	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1. quartil	5,54	5,07	6,14	6,57	7,13	7,39	7,85	8,09	7,42	7,28	6,69	5,98
Mediana	5,89	5,63	6,39	6,82	7,35	7,80	7,87	8,17	7,58	7,39	6,90	6,13
Média	5,77	5,61	6,26	6,85	7,27	7,51	7,71	8,05	7,40	7,28	6,79	6,24
Máximo	6,57	6,94	6,77	7,70	7,69	7,90	8,13	8,32	7,76	7,59	7,17	6,90
Mínimo	4,59	4,79	5,21	6,38	6,75	6,43	6,52	7,36	6,32	6,56	6,08	5,85
3. quartil	6,16	5,77	6,65	6,87	7,41	7,87	7,99	8,21	7,72	7,46	7,03	6,41

Tabela 9: Dados Estatísticos referentes ao OD do ponto PV2 fornecido pelo AcquaNet

Estatística	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1. quartil	7,55	6,83	6,93	7,13	7,88	7,35	7,10	7,05	5,68	4,73	4,03	7,00
Mediana	8,15	7,25	7,35	7,70	8,25	7,90	7,45	7,35	6,65	5,70	5,55	7,15
Média	8,02	7,15	7,22	7,38	7,77	7,92	7,48	6,33	6,52	5,87	5,68	7,17
Máximo	9,00	7,80	7,80	8,50	8,50	8,80	8,40	7,80	7,60	8,00	8,00	8,20
Mínimo	6,70	6,50	6,50	5,10	5,30	7,10	7,00	0,90	5,20	3,90	3,80	5,70
3. quartil	8,60	7,38	7,48	8,20	8,48	8,45	7,60	7,58	7,40	7,05	7,15	7,68

Tabela 10: Dados Estatísticos referentes ao OD do posto da CETESB JA-2800

Estatística	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1. quartil	3,03	3,03	3,04	4,00	3,51	3,50	4,06	5,05	3,11	3,50	2,64	4,93
Mediana	3,16	3,11	3,34	4,06	4,19	3,98	4,32	5,41	3,17	3,84	4,64	5,58
Média	4,19	4,41	3,93	6,14	4,63	4,84	5,82	8,83	6,96	5,58	4,70	5,53
Máximo	7,20	7,28	6,36	16,07	7,52	7,98	9,44	18,00	14,93	13,58	8,44	8,05
Mínimo	2,83	2,99	2,91	3,72	3,33	3,39	3,91	3,28	2,98	3,11	1,45	2,93
3. quartil	5,13	6,00	4,36	4,74	5,00	5,76	7,79	13,30	11,61	5,23	6,46	6,15

Tabela 11: Dados Estatísticos referentes à DBO do ponto PV3 fornecido pelo AcquaNet

Estatística	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1. quartil	1,50	2,00	2,00	2,00	3,00	2,25	2,25	3,25	2,25	3,00	3,50	4,50
Mediana	3,00	2,00	2,00	2,00	3,00	3,00	3,50	4,50	3,00	3,50	5,00	6,00
Média	2,83	2,33	2,17	2,50	3,33	2,67	3,50	4,67	2,83	3,50	5,00	5,67
Máximo	5,00	3,00	3,00	4,00	6,00	4,00	6,00	8,00	4,00	6,00	8,00	8,00
Mínimo	1,00	2,00	1,00	2,00	1,00	1,00	2,00	3,00	2,00	1,00	3,00	3,00
3. quartil	3,75	2,75	2,75	2,75	3,75	3,00	4,00	5,00	3,00	4,00	5,75	6,75

Tabela 12: Dados Estatísticos referentes à DBO do posto da CETESB PI-2800

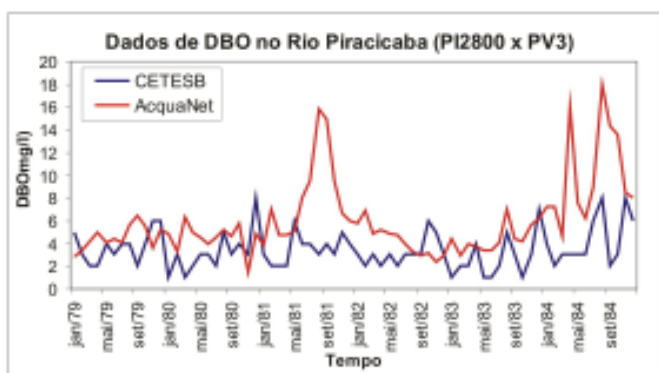


Figura 10: Comparação da DBO do Rio Piracicaba.

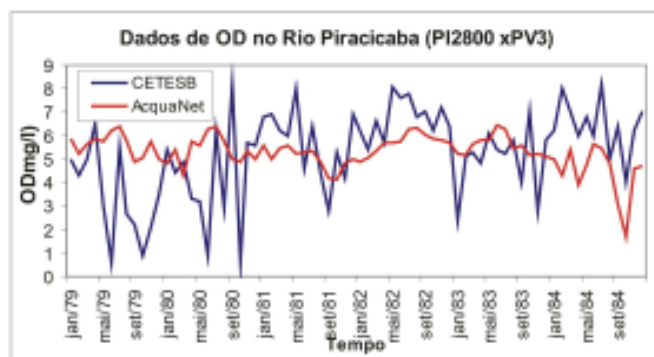


Figura 11: Comparação de OD do Rio Piracicaba

Estatística	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1. quartil	4,89	5,02	5,36	5,59	5,30	5,66	5,65	5,03	4,36	4,30	4,94	4,97
Mediana	5,09	5,09	5,41	5,70	5,62	5,98	6,26	5,61	4,94	4,96	5,28	5,00
Média	5,21	5,02	5,29	5,42	5,46	5,94	6,01	5,52	4,79	4,45	5,26	5,08
Máximo	5,84	5,38	5,66	5,85	5,80	6,46	6,38	6,33	6,02	5,88	5,83	5,69
Mínimo	4,84	4,32	4,29	3,88	4,76	5,30	5,34	4,81	3,08	1,67	4,60	4,72
3. quartil	5,47	5,22	5,57	5,80	5,74	6,25	6,34	5,81	5,42	5,12	5,64	5,10

Tabela 13: Dados Estatísticos referentes ao OD do ponto PV3 fornecido pelo AcquaNet

Estatística	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1. quartil	5,10	4,58	5,08	5,03	3,93	1,83	5,68	3,28	3,10	1,68	3,15	5,65
Mediana	5,80	5,25	5,75	5,85	6,45	5,00	6,30	4,70	5,20	4,65	4,95	6,10
Média	5,33	5,68	5,83	5,38	5,87	4,18	6,55	4,60	5,10	4,00	4,70	5,87
Máximo	6,80	8,00	7,00	6,50	8,10	7,60	8,20	6,80	8,20	7,00	7,20	7,00
Mínimo	2,40	4,30	4,90	3,30	3,00	0,60	5,20	2,70	2,20	0,60	2,10	3,50
3. quartil	6,20	6,53	6,50	6,00	7,70	5,85	7,45	5,60	6,85	5,98	6,08	6,78

Tabela 14: Dados Estatísticos referentes ao OD do posto da CETESB PI-2800

CONCLUSÕES

A utilização de modelos de qualidade de água e a sua calibração consistem numa etapa trabalhosa, requerendo do usuário do modelo sensibilidade quanto aos processos de autodepuração dos rios e dos processos de qualidade das águas.

Considerando que o objetivo do modelo AcquaNet é auxiliar no planejamento de recursos hídricos. Pode-se dizer que para a bacia do Rio Piracicaba, o processo de calibração mostrou que os resultados fornecidos para os pontos de verificação – PV1, PV2 e PV3 da rede de fluxo, responderam de forma satisfatória quando comparados com os dados observados nos postos de monitoramento da CETESB.

Portanto, o AcquaNet se mostrou eficiente e pode auxiliar na gestão de recursos hídricos, podendo ainda relacionar níveis de tratamento para os esgotos e efluentes lançados no rio, com o objetivo do enquadramento do corpo d'água de acordo com a legislação ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BROWN, L. C. & BARNWELL Jr. T. O., "Computer Program Documentation for the enhanced stream water quality model Qual2E and Qual2E-UNCAS", Report EPA 600/3-87/007, US Environmental Protection Agency, Athens – Georgia – USA, 1987;
- CETESB, "Relatório sobre o controle de qualidade da água para consumo humano", Série Relatórios, 1997;
- CHAPRA, S. C., "Surface Water Quality Modelling" – University of Colorado at Boulder, 1997;
- CONAMA, "RESOLUÇÃO CONAMA 357 de 17 de Março de 2005", Ministério do Meio Ambiente, Brasília.
- EIGER, S., "Modelagem do transporte de poluentes no meio ambiente" – Simpósio de Pesquisa da Escola Politécnica da USP, São Paulo – EPUSP, 1997;
- EPA (United State Environment Protection Agency) "Qual2E Windows Interface User's Guide", 1995;
- GONÇALVES, J.C.S, MALDONADO, L.H., PINHEIRO, H. D, PENNER, G.C. e GIORGETTI, M.F., Desenvolvimento de Modelo para simulação em regime não permanente da qualidade da água em rios, utilizando o software VenSim Ple, Anais do XIII Silubesa, Belém – PA, 2008;
- McCutcheon, S.C., *Transport and surface exchange in rivers*, Boca Raton, CRC Press, 1989;

- RUNKEL, R. L., "One-Dimensional Transport with Inflow and Storage (OTIS): A Solute Transport Model for Streams and Rivers", USGS – Denver, Colorado – 1998.

- SILVA, S.C. & RIBEIRO, M. M. R., "Enquadramento dos corpos d'água na bacia do Rio Pirapama – PE", Revista da Assoc. Brasileira de Engenharia Sanitária, Vol.11 – N.4 – Out/Dez 2006, pp.371-379.

- SMA-SP (Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo). "Estabelecimento de metas ambientais e reenquadramento dos corpos d'água: Bacia do Rio Piracicaba", 1994 (ISSN 0103-4103).

- TEIXEIRA, C. A & PORTO, R. L., "Gerenciamento Integrado de Quantidade e Qualidade de Água", Tese (Engenharia Hidráulica e Sanitária), Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2004;

- THOMANN, R. V. & MUELLER, J. A., "Principles of Surface Water Quality Modeling and Control", 1987.

- TUCCI, C.E.M., Modelos Hidrológicos – Coleção ABRH, Porto Alegre, 1998;

- UNESCO Water Science Division, *The application of Mathematical Models of Water Quality and Pollutant Transport: An International Intercomparison*, Paris, 1984.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPESP pela bolsa de estudo concedida durante a realização desta pesquisa.

ESTUDO DO APROVEITAMENTO DA ENERGIA DO BIOGÁS PROVENIENTE DA INCINERAÇÃO DO CHORUME PARA A GERAÇÃO DE ELETRICIDADE

Josmar Davilson Pagliuso

PQ

Carlos Roberto Regattieri

PG

carloreg@sc.usp.br

RESUMO

Trabalho realizado junto ao NETeF – Núcleo de Engenharia Térmica e Fluidos da EESC/USP e ao aterro Sanitário de São Carlos, objetivando a verificação da viabilidade energética e ambiental do tratamento do chorume através da sua incineração com o biogás produzido pelo aterro, eliminando o metano. Determinou-se experimentalmente a composição e vazão do biogás. As propriedades físico-químicas e a vazão do chorume também foram quantificadas. A vazão de gás foi calculada com informações obtidas da literatura e medida experimentalmente com uma sonda. Realizado um balanço energético para verificar a disponibilidade de energia e um balanço químico, determinando o potencial de emissão de poluentes do ar. Os resultados indicaram que há mais energia presente no gás que a energia requerida para incinerar o chorume. O balanço químico mostrou potencial poluidor abaixo das emissões permitidas pela legislação. Demonstrou através da literatura o potencial de geração de energia elétrica utilizando o biogás como combustível.

ABSTRACT

A research is being conducted in the sanitary landfill of Sao Carlos, Brazil, a city with 200,000 inhabitants to verify the feasibility of the thermal treatment of the leachate using the landfill gas as the energy source. The composition and flow rate of both the gas and chorume were determined experimentally. To measure the gas flow rate at the wells a probe was developed and its measurements were compared with information obtained in the literature. Energy and chemical balances were made to verify the availability of energy and the process potential for emission of air pollutants. So far, the results show that there are enough energy to make the leachate incineration feasible, but more research is on the way, since the gas flow rate may have a large variation from well to well and not all of them were probed so far. The chemical balance showed that the air pollution potential for the thermal process is small and even with no gas treatment most of the emissions would be lower than required by the environmental legislation.

INTRODUÇÃO

Vivemos numa sociedade que estimula o consumo e a produção em grande escala. A filosofia do descartável e do excesso de embalagens predomina em diversos setores do mercado o que significa diretamente mais rejeitos. O Brasil produz aproximadamente 240 mil toneladas de lixo por dia, com um crescimento anual em torno de 5%, o que significa que o volume dobra a cada cinco anos. Grande parte do lixo ainda não é coletado, permanecendo junto às residências. A produção de lixo "per capita" hoje é aproximadamente 1kg/hab/dia [1] e há poucos aterros controlados no Brasil. Este valor tende a crescer, tornando a problemática do lixo de difícil manejo e legitimando a necessidade de buscar alternativas eficazes e custo-efetivas. Problemas sérios causados pela precária disposição final do lixo são a disseminação de doenças, a contaminação do solo e das águas subterrâneas por percolato (chorume), a poluição do ar pelo gás metano (efeito estufa) e por compostos de odor como as mercaptanas e a falta de espaço para o armazenamento do resíduo. O resíduo urbano é rico em matéria orgânica, que em contato com o ar começa a sofrer um processo de oxidação, iniciando a degradação progressiva do material. Esse processo é agilizado pela presença de bactérias anaeróbicas nas camadas internas do depósito que ajudam na deterioração do material. A decomposição dos resíduos resulta na produção de gases como metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂), nitrogênio (N₂) e outros gases traços que produzem um forte e desagradável odor. Destes gases, o CH₄ e o CO₂ são os mais preocupantes, pois são gases estufa, isto é, gases capazes de absorver energia eletromagnética na mesma faixa do infra-

vermelho em que a Terra emite energia para o espaço ("janela de emissão") para manter seu equilíbrio térmico. Ao contrário do que ocorre nas emissões de veículos e de fontes estacionárias que queimam combustíveis fósseis e onde predomina o efeito do CO₂, nos gases dos aterros o CH₄ tem uma contribuição muito mais significativa. Isto se dá tanto em razão de, molécula por molécula, este gás ter um efeito estufa cerca de vinte vezes maior do que o do CO₂ como em razão de sua maior fração no biogás. A combustão do biogás em "flares", as vezes feita nos aterros, não é suficiente para eliminar o problema, pois é uma queima sem controle e portanto pouco eficiente. Além disso há vazamentos pela superfície do aterro e possivelmente nas lagoas de chorume. Note-se que CH₄, CO₂, N₂O e outros gases absorvedores no infra-vermelho - dos quais o mais importante é o próprio vapor de água - existem na atmosfera do planeta há milhões de anos e de fato produzem uma temperatura média (15°C) muito mais amena do que seria possível na sua ausência. Um cálculo simples mostra que se a Terra fosse um corpo negro desprovido desta camada gasosa, sua temperatura média seria cerca de vinte graus mais baixa do que realmente é. Ocorre porém que nos últimos duzentos anos a concentração de CO₂ e CH₄ e outros gases vem sendo alterada de maneira significativa pelas emissões humanas. O IPCC [2] mostra em seu relatório de 2001 uma elevação da temperatura média em 0,6°C no últimos cem anos. Para colocar este número em perspectiva, pode-se compará-lo com a diferença entre a temperatura do período interglacial atual e a de um período glacial pleno quando o gelo permanente cobre a maior parte da Europa e da América do Norte, que é de cerca de 6 °C. A utilização da energia contida nos gases originados nos

processos de tratamento de resíduos tais como lixo, esgoto e outros é factível [3] e deve, na medida do possível, ser implementada para reduzir à contribuição destes gases para a mudança climática. Aterros sanitários produzem ainda um efluente líquido, o chorume, que é definido pela ABNT como: "líquido produzido pela decomposição de substâncias contidas nos resíduos sólidos, que tem como características a cor escura, o mau cheiro e a elevada DBO; se constitui numa mistura de substâncias inorgânicas, compostos em solução e em estado coloidal, metais e diversas espécies de microorganismos". Este efluente pode contaminar o solo, as águas subterrâneas e os seres vivos que com ele tiverem contato. Este trabalho realizado junto ao NETeF – Núcleo de Engenharia Térmica e de Fluidos da EESC/USP em São Carlos e ao aterro sanitário da cidade, tem como objetivo avaliar a possibilidade e estabelecer os meios para o tratamento do chorume através de sua incineração limpa, utilizando como fonte energética o metano do biogás produzido pelo aterro sanitário. Busca-se desta forma a eliminação simultânea de duas fortes fontes de poluentes. Com relação ao aproveitamento de biogás de aterro , foi implantado recentemente, através do mercado de créditos de carbono do chamado Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), previsto pelo protocolo de Kyoto. O primeiro deles refere-se ao aproveitamento do gás gerado em um aterro localizado na cidade de Tremembé, no Estado de São Paulo, onde a empresa SASA – Sistemas Ambientais, que gerencia o local, utiliza o gás desde 2001, para evaporação do chorume do aterro. Um novo projeto prevê a geração de 50 a 80 mil kWh/mês de energia elétrica para suprimento do próprio aterro, que consome em

média 30 mil kWh/mês, sendo o excedente vendido à distribuidora de eletricidade.

METODOLOGIA

Para estabelecer a aplicabilidade do processo proposto é necessário fazer um balanço de energia onde estão envolvidas a vazão e a composição química do gás (energia disponível) e a vazão, calor específico, calor latente de vaporização e eventualmente poder calorífico residual do chorume (consumo de energia). O processo deve atingir de forma estável temperaturas em torno de 900 °C, consideradas seguras para evitar a formação de poluentes no interior da câmara de combustão [4]. Para determinar quais poluentes do ar seriam potencialmente gerados e que tratamento seria aplicado aos gases da incineração para a sua remoção, é preciso conhecer a composição química do chorume. Nas temperaturas típicas de combustão, o enxofre, por exemplo, forma SO₂ e SO₃, o Cl pode formar HCl e organos clorados, metais pesados podem ser emitidos na forma gasosa ou incorporados ao material particulado (MP) e N pode dar origem ao NO_x (NO e NO₂) nascente. Fez-se ainda um estudo preliminar da aplicabilidade da micro filtração como forma de reduzir o teor de água do chorume e assim a sua demanda por energia.

COLETA DE AMOSTRAS

Foram coletadas para análise química e física amostras de chorume bruto provenientes do aterro sanitário da cidade. Estas amostras foram retiradas na entrada das lagoas de armazenagem que o aterro utiliza. As amostras foram recolhidas em frascos de vidro, com tampa plástica de rosca, lavados

previamente com uma solução de 50% de ácido concentrado e 50% de água. A temperatura média das amostras, quando do recolhimento foi de 24 °C. Assim que chegadas ao laboratório, as amostras tiveram seu pH aferido (~8) e foram guardadas em geladeira a 4°C, ao abrigo da luz até o momento dos testes. As amostras do biogás foram extraídas utilizando uma mangueira introduzida no interior do tubo dos queimadores de gás do aterro, para evitar sua diluição com ar atmosférico e fazendo a sucção através de uma ampola de vidro cheia de água, equipada com uma torneira em cada uma das suas extremidades de maneira a possibilitar a saída da água e a entrada do gás. A mangueira foi previamente purgada por exposição ao gás.

PROPRIEDADES DO CHORUME

VAZÃO

Para determinação da vazão de chorume produzida pelo aterro, utilizou-se um recipiente de coleta de 20 litros e um cronômetro para medida do tempo de enchimento do recipiente. Isto foi feito na entrada das lagoas/reservatórios de chorume.

PODER CALORÍFICO DO CHORUME

Na determinação do poder calorífico do chorume foi utilizado um calorímetro C 5000 – IKA Labortechnik (IKA – labortechnik C 5000 control). As amostras foram de 0,5 g de chorume bruto, microfiltrado ou misturado com etanol.

ANÁLISE DE METAIS PESADOS

A determinação de metais pesados foi realizada através de Espectrometria de Absorção Atômica com o método de adição de padrão. Para tanto, os

padrões foram preparados em meio ácido, aproximadamente 0,1ml de ácido clorídrico, com concentração de metal de 1000 µg/ml e o volume final de 100ml. Na análise de metais pesados utilizou-se um aparelho de absorção atômica marca HITACHI, modelo Z 8100.

PROPRIEDADES DO BIOGÁS

COMPOSIÇÃO QUÍMICA

Na determinação da composição do biogás utilizou-se um cromatógrafo Grow-Mac com detector de condutividade térmica e coluna Poropak Q (2m x 1/2 - 80 a 100 mesh).

VAZÃO

A vazão de biogás foi estimada baseando-se na massa diária de resíduo disposta no aterro e em CHRISTENSEN et al - 1996. Uma determinação experimental da foi realizada com o uso de uma sonda que foi desenvolvida, construída e calibrada no NETeF. A sonda utiliza elementos de um sistema de anemometria de fio quente DISA 55M System, mas é modificada para fornecer médias espaciais e temporais em lugar da resolução temporal/espacial típica fornecida por este tipo de equipamento.

O detalhamento da sonda e da bancada é demonstrado nas figuras (1) e (2).

PODER CALORÍFICO DO BIOGÁS

Assumindo que dentro do processo de incineração o poder do gás metano é de 35,9 MJ/Nm³. Foi adotada uma eficiência de conversão em motor de combustão interna acoplada a um gerador elétrico de 33% e uma capacidade de geração de eletricidade anual de 88% devido às perdas e paradas para manutenção dos equipamentos [5]

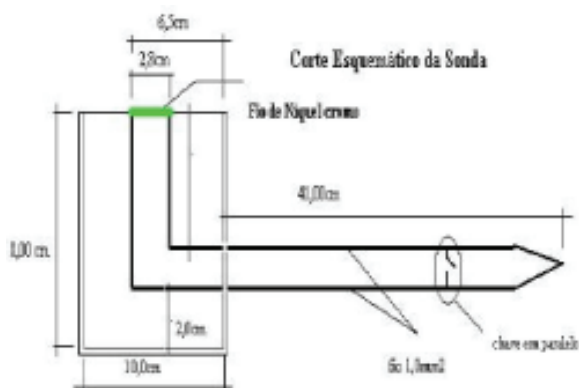


Figura 1 – Corte esquemático da sonda

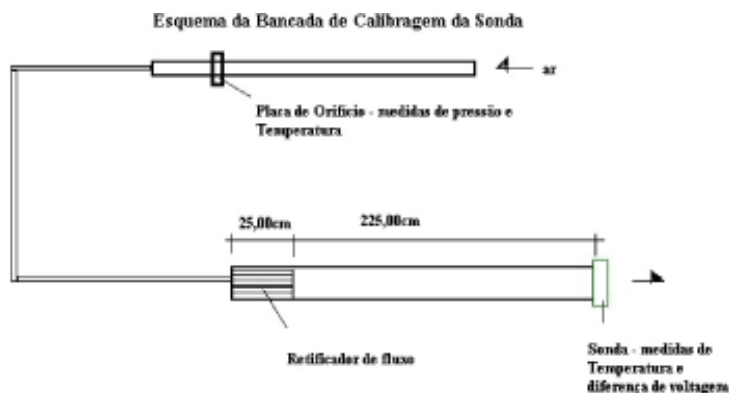


Figura 2 – Esquema da bancada de calibragem da sonda

Queimadores	Vazão (m ³ /h)
Q1	31,5
Q2	32,5
Q3	34,2

Tabela 1 – Valores encontrados na leitura dos queimadores

Elementos	Unidade
Ni	6,47 ppm*
Al	8,67 ppm*
Cr	1,23 ppm*
Cu	0,80 ppm*
Cd	0,10 ppm*
Pb	1,50 ppm*
Fe	26,00 ppm*
Zn	1,20 ppm*
Nitrogênio	1726 mg/kg
Cloro	1332 mg/kg
Flúor	6,00 mg/kg
Enxofre	176 mg/kg
Cinzas	100 mg/kg

Tabela 2 – Principais elementos químicos e cinzas encontrados nas amostras de chorume

Composto	Queimadores de Gás	Lagoas de Chorume
CH ₄	51 %	5,0 %
CO ₂	9 %	1,3 %
N ₂	40 %	93,7 %

Tabela 3 – Teores de metano, dióxido de carbono e nitrogênio do biogás produzido pelo aterro sanitário

RESULTADOS

VAZÃO DO CHORUME

A vazão média de chorume no vazadouro foi de 2 m³/h ou 48 m³/dia. A fórmula utilizada é demonstrada na Equação (1)

$$V = \left(\frac{\text{volume do recipiente}}{\text{tempo de enchimento}} \right) \times 3,6 (\text{m}^3 / \text{hora}) \quad (1)$$

VAZÃO DO BIOGÁS

As medidas foram realizadas em três queimadores de gás localizado no aterro sanitário, cujos valores encontrados estão demonstrados na Tabela (1).

Os valores da Tensão medidos nos queimadores de biogás, utilizando-se da sonda, foram 7,23, 7,42, e 7,54 Volt, que foram utilizados para a determinação dos valores apresentados na Tabela (1). O valor da vazão de 31,5 m³/h, foi encontrado no nível mais inferior, sendo que o valor da vazão de 34,2 m³/h foi encontrado no nível superior. O queimador de biogás é um ponto de coleta (convergência) do biogás, representando uma área de produção do biogás. Existem 20 queimadores de biogás em todo o aterro sanitário.

Utilizando um valor médio para a vazão de 32,7 m³/h, teremos uma produção de 654 m³/h de biogás.

PROPRIEDADE DO CHORUME

O chorume possui um poder calorífico semelhante ao da água. A Tabela (2) demonstra o resultado da análise realizada nas amostras do chorume.

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO BIOGÁS

A composição encontrada deve conferir ao biogás um Poder Calorífico (PC) em torno de 35 MJ/kg. Como comparação, o PC do etanol é de 26,8 MJ/kg. Os valores encontrados estão demonstrados na Tabela (3).

ENERGIA DISPONÍVEL

O estado de referência de 25°C e 0,1 MPa para reagentes, o que representa bem o estado do biogás e de seu ar de combustão. Admitindo que os reagentes gasosos se comportem como gases perfeitos entre o estado de referência e o estado considerado, a entalpia de reagentes e produtos passa a ser uma função exclusiva da temperatura e pode

ser determinada em qualquer condição de interesse utilizando-se as correlações disponíveis na literatura para o calor específico dos gases à pressão constante.

CONSERVAÇÃO DE ENERGIA

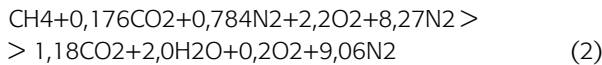
Forma adotadas as seguintes condições para a conservação da energia:

3.6.1 - Excesso de ar: $\bar{\epsilon} = 1,10$, ou seja 10 % de excesso de ar. Nesta condição tem-se ar suficiente para combustão virtualmente completa e evita-se a perda de energia pelo excesso de gases aquecidos;

3.6.2 - $T = 900^\circ \text{C}$. Esta é uma temperatura elevada o bastante para destruir compostos orgânicos perigosos e baixa o suficiente para evitar a formação expressiva de NO_x .

EQUAÇÃO DA COMBUSTÃO

A Equação (2) para a combustão completa de um mol de metano, considerando a composição do biogás e o coeficiente de excesso de ar $\bar{\epsilon} = 1,10$ é:



EQUAÇÃO DA CONSERVAÇÃO DA ENERGIA

A conservação da Energia é demonstrada na Equação (3):[6]

$$Q_D = \sum P n_s (h_f + \Delta h_s) - \sum R n_e (h_f + \Delta h_e) \quad (3)$$

CÁLCULO DA ENERGIA DISPONÍVEL

A determinação da vazão e da composição do biogás do aterro permitiu fazer-se um cálculo do potencial energético para a incineração do chorume. Utilizando a equação da energia (4):

$$Q_D = \sum_p n_s (h_f + \Delta h_s) - \sum_r n_e (h_f + \Delta h_e) \quad (4)$$

REAGENTES

Como a condição assumida para os reagentes é a padrão ($T=25^\circ\text{C}$), a correção da entalpia é nula para todos eles. Da mesma forma, a entalpia de formação é nula para as formas mais estáveis do oxigênio (O_2) e nitrogênio (N_2).

Demonstrados na equação (5) e Tabela (4).

$$h_R = \sum R n_i (h_i + \Delta h_i) = 1,00 (h_f \text{CH}_4 + 0,0) + 0,176 (h_f \text{CO}_2 + 0,0) + 9,06 (0,0 + 0,0) + 2,20 (0,0 + 0,0) \quad (5)$$

Composto	n (kmol/kmol CH_4)	h_f (kJ/kmol)	Δh (kJ/kmol)	$n(h_f + \Delta h)$ (kJ/kmol)
CH_4	1,000	-74873	0,0	-74873
CO_2	0,176	-393522	0,0	-69260
N_2	9,060	0	0,0	0,0
O_2	2,200	0	0,0	0,0
Total				-144133

Tabela 4 – Entalpias de formação e correções para os reagentes a 25°C e 0,1 Mpa

PRODUTOS

A correção da entalpia dos produtos de combustão é feita segundo a Equação A correção da entalpia dos produtos de combustão é feita segundo a Equação (6):

$$\Delta h = \int_{T_1}^{T_2} c_p dt \quad (6)$$

As correlações para o cálculo do calor específico dos produtos de combustão são fornecidas pelas equações (7) a (10), onde $\theta = T(\text{Kelvin})/100$. [2]

$$\text{CO}_2 : \bar{c}_{p_{\text{CO}_2}} = -3,7357 + 30,529\theta^{0,5} - 4,1034\theta + 0,024198\theta^2 \quad (7)$$

$$\text{H}_2\text{O}: \bar{c}_{p_{\text{H}_2\text{O}}} = 143,05 - 183,54\theta^{0,25} + 82,751\theta^{0,5} - 3,6989\theta \quad (8)$$

$$\text{O}_2 : \bar{c}_{p_{\text{O}_2}} = 37,432 + 0,020102\theta^{1,5} - 178,57\theta^{-1,5} + 236,88\theta^{-2} \quad (9)$$

$$\text{N}_2 : \bar{c}_{p_{\text{N}_2}} = 39,060 - 512,79\theta^{-1,5} + 1072,7\theta^{-2} - 820,40\theta^{-3} \quad (10)$$

A Equação (11) mostra o cálculo da entalpia dos produtos de combustão e a Tabela (5) traz o valor de cada um de seus termos.

$$h_P = \sum_p n_i (h_i + \Delta h_i) = 1,176 (h_{f\text{CO}_2} + \Delta h_{\text{CO}_2}) + 2,00 (h_{f\text{H}_2\text{O}} + \Delta h_{\text{H}_2\text{O}}) + 0,20(0,0 + \Delta h_{\text{O}_2}) + 9,06(0,0 + \Delta h_{\text{N}_2}) \quad (11)$$

Compound	n (kmol/kmol CH_4)	h_f (kJ/kmol)	Δh (kJ/kmol)	$n(h_f + \Delta h)$ (kJ/kmol)
CO_2	1,18	-393522	42900	-413733
H_2O	2,00	-241826	33360	-416932
O_2	0,20	0	28787	5757
N_2	9,06	0	27240	246794
Total				-578114

Tabela 5 – Entalpias de formação e correções para os produtos a 900°C e 0,1 Mpa

Portanto, a energia disponível é:

$$Q_D = -144133 - (-578114)$$

$$Q_D = 433981 \text{ kJ/kmol CH}_4$$

A energia requerida por kg de chorume incinerado é

$$Q_R = c_{pa} (100 - T_R) + h_w + c_{pv} (T_p - T_R) \quad (12)$$

$$c_{pv} = \frac{(143,05 - 183\theta^{0,25} + 82,751\theta^{0,5} - 3,6989\theta)}{18(T_p - T_R)} \quad (13)$$

$$c_{pv} = 2,14 \text{ kJ/kg K} \quad c_p = 4,18 \text{ kJ/kg K}$$

$$h_w = 2257 \text{ kJ/kg} \quad Q_R = 4443,4 \text{ kJ/kg de chorume}$$

Assim a razão em massa (R_m) de chorume incinerada por kmol de CH₄ é:
 $R_m = -Q_D / Q_R = 97,6 \text{ kg de chorume / kmol CH}_4$

A razão em volume de chorume: $\rho_{ch} = 1000 \text{ kg / m}^3$

$$R_{vch} = \frac{R_m}{\rho_{ch}} \quad (14)$$

$$R_{vch} = 0,097 \text{ m}^3 \text{ de chorume / kmol CH}_4$$

A razão entre o volume de chorume incinerado e o volume de metano necessário para isto é calculada levando em consideração o volume de um kmol de gás ideal e resulta:

$$v_{mol} = 22,6 \text{ m}^3/\text{kmol} \rightarrow R_v = \frac{R_{vch}}{v_{mol}} \quad (15)$$

$$R_v = 4,31 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ chorume / Nm}^3 \text{ de CH}_4$$

Produção de CH₄ - Admitiu-se para a produção de gás um valor conservador de:

$$R_{CH_4} = 13 \text{ Nm}^3 \text{ de CH}_4 / \text{t de resíduo}$$

A massa diária de resíduo levada ao aterro é: $m_{Res} = 130 \text{ t/dia}$

Resulta portanto uma vazão por hora de:

$$V_{ZCH_4} = \frac{m_{Res}}{24} \cdot R_{CH_4} \quad (16)$$

$$V_{ZCH_4} = 70,41 \text{ m}^3/\text{h} \quad (17)$$

A vazão incinerável de chorume (V_{chl}) obtém-se pelo produto da produção de biogás (V_{ZCH_4}) pela razão entre o volume de chorume incinerado e o volume do metano (R_v) - $V_{chl} = 0,30 \text{ m}^3 \text{ chorume / h}$

Este volume é considerável a vazão medida do chorume de 2 m³/h, ou 48 m³ por dia, medida em um dos drenos que abastecem a lagoa de chorume. Existe ainda outro dreno submerso a este, que não foi possível ser avaliado.

POTENCIAL DE EMISSÕES

Na incineração são produzidos gases efluentes que contêm substâncias poluentes originárias do processo, tais como monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO₂), dióxido de nitrogênio (NO₂), cloreto de hidrogênio (HCl) e fluoreto de hidrogênio (HF). Da equação da combustão, temos o valor da descarga molar de PC por mol de CH₄: **PC = 12,44 mol PC/ mol de CH₄**

Substância	Legislação	Valor encontrado (CNTP)
HCl	80,0 mg/Nm ³	493,62 mg HCl/m ³
HF	5,0 mg/Nm ³	2,33 mg HF/m ³
SO ₂	280,0 mg/Nm ³	123,2 mg SO ₂ /m ³
NO	560,0 mg/Nm ³	1294,5 mg NO/m ³
Cd		0,035 mg/m ³
Total Classe 1	0,28 mg/Nm ³	0,035 mg/m ³
Ni		2,26 mg/m ³
Total Classe 2	1,4 mg/Nm ³	2,26 mg/m ³
Pb		0,45 mg/m ³
Cr		0,43 mg/m ³
F		2,10 mg/m ³
Cu		0,28 mg/m ³
Total Classe 3	7,0 mg/Nm ³	3,26 mg/m ³

Tabela 6 – Comparação dos valores encontrados com a legislação

LIMITE DE EMISSÕES LEGAIS

Os valores encontrados no cálculo de emissões e os valores legais estão demonstrados na Tabela (6):[7]

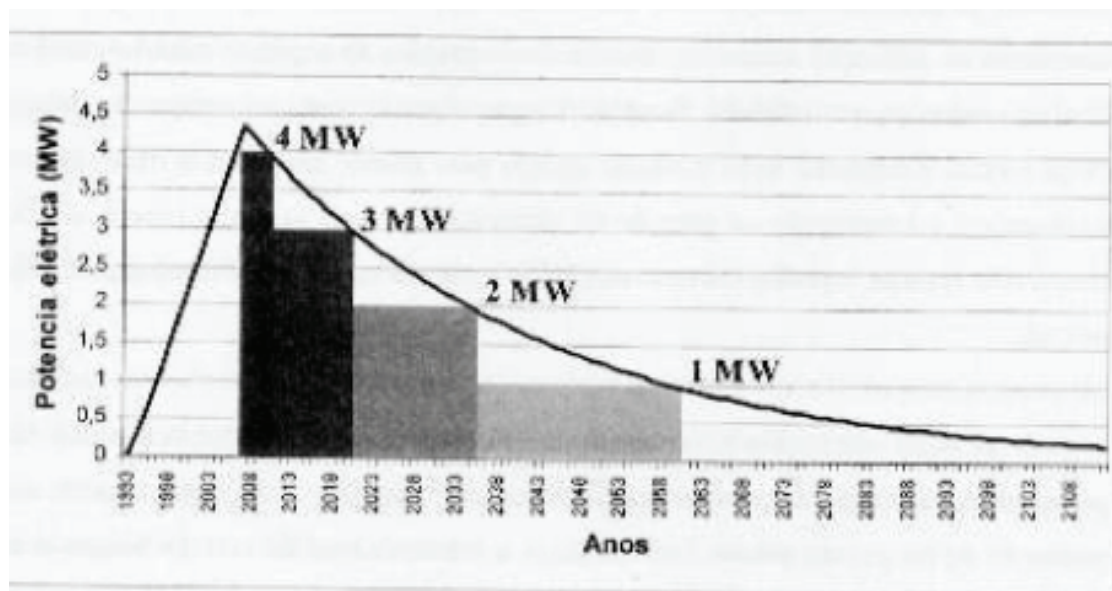
Observa-se pelos valores da Tabela (6), que algumas substâncias originadas na incineração necessitam de tratamento. Hoje existem vários métodos de tratamento de gases efluentes que podem ser utilizados para estas emissões.

GERAÇÃO DE ENERGIA

A partir de valores de produção de metano pode ser gerada uma curva de potência elétrica fornecida pelo biogás do aterro, também utilizando-se os dados da seção 2.3.2., demonstrada na figura (5). Os dados referentes a produção de biogás para este cálculo foi utilizado o do aterro Delta de Campinas – São Paulo.[8]

O estudo realizado [8] demonstrou que a energia elétrica fornecida pelo aterro Delta (Campinas – São Paulo) seria suficiente por exemplo para abastecer 8.200 residências com um

Figura 3 – Simulação das etapas de aproveitamento do biogás do aterro para a geração de energia elétrica com motores a plena carga.



consumo médio de 350 kWh/mês durante os quatro primeiros anos de funcionamento da planta.

REFERÊNCIAS

- [1] PACEY, J.G. (1986). The Factors influencing landfill gas production. In: ENERGY FROM LANDFILL GAS CONFERENCE, 1986., Solihull. *Proceedings...* England: Elsevier. p.51-59.
- [2] INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). *Climate Change 2001: A Scientific Basis (Chapter 6)*. Disponível no site : http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/. Acesso em 15 jan de 2002
- [3] PAGLIUSO, J.D.; PASSIG, F.H.; VILLELA, L.C.H. (2002). Odour treatment and energy recovery in anaerobic sewage treatment plants. In: TALLER Y SIMPOSIUM LATINO AMERICANO SOBRE DIGESTION ANAEROBIA, 7, 2002, Mérida. *Proceedings...* México: IWA. p.96-110.
- [4] SINDICIC, D.R. (2002). *Efeitos da adição de O₂ puro sobre as emissões poluentes produzidas na incineração industrial de resíduos perigosos*. 110p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica – Orientador – PAGLIUSO, J.D.) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.
- [5] USEPA (1998). *Greenhouse gases emission of management of municipal solid waste*. Disponível em: <<http://www.epa.gov>>. Acesso em: 14 Ago.2002.
- [6] SONNTAG, R.E.; BORGNACKE, C.; WYLEN, G.J.V. (1998). *Fundamentos da termodinâmica*. São Paulo: Edgard Blücher.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1990). **NRB 11175**: Incineração de resíduos sólidos perigosos – padrões de desempenho. Rio de Janeiro.
- [8] ENSINAS, A. V. (2003). *Estudo da Geração de biogás no aterro sanitário Delta dem Campinas – SP129p*. Tese (Mestrado em Engenharia Mecânica – Orientador – BIZZO, W. A.) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 2003.
- [9] CHRISTENSEN, T.H.; COSSU, R.; STEGMANN, R. (1996). *Landfilling of waste: biogas*. London: E & FN Spon.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq

Normas para publicação

1. A *Revista Brasileira de Ciências Ambientais* é uma publicação do ICTR e do NISAM, tem por objetivo a divulgação de trabalhos na área.
2. O Conselho Editorial com o Conselho Editorial Científico decidirão quais os artigos selecionados a serem publicados, considerando a qualidade, o potencial de inovação, a originalidade e a pertinência do tema em face da linha editorial da revista.
3. Os artigos submetidos para apreciação da revista devem pertencer à área das ciências ambientais.
4. Os originais deverão ser encaminhados seguindo os seguintes padrões:
 - a) Apresentados em arquivos eletrônicos.
 - b) Utilizar o processador Word, sem formatação, determinando apenas a abertura dos parágrafos.
 - c) Os trabalhos deverão ter no máximo 20 (vinte) laudas, incluindo todos os componentes do texto e das ilustrações.
 - d) Utilizar laudas de 20 (vinte) linhas com 60 (sessenta) caracteres e intervalos de espaçamentos inclusos.
 - e) Dos trabalhos apresentados devem constar: o título, o(s) nome(s) do(s) autor(es), sua(s) qualificação(ões) e instituição(s).
5. São obrigatórios o resumo, o *resumem* e o *abstract*, respectivamente nas línguas portuguesa, espanhola e inglesa, com no mínimo 500 (quinhentos) e no máximo 700 (setecentos) caracteres cada um, intervalos de espaçamentos inclusos.
6. As notas e referências bibliográficas devem vir apresentadas agrupadas no final do texto, e deverão ser referenciadas, assim como também as citações, de acordo com as normas da ABNT-NBR-6023.
7. As ilustrações deverão ser entregues em folhas separadas com as devidas indicações de créditos e legendas e referenciadas no texto.
8. Os desenhos devem ser entregues em arte-final. Se apresentados em formatação/disquete, utilizar programas compatíveis (CAD, Corel Draw, Photoshop, PM6.5). As imagens podem ser em branco-e-preto ou em cores.
9. Após o recebimento, os originais serão criteriosamente analisados pelo Conselho Editorial e pelo Conselho Editorial Científico e os trabalhos não aceitos serão devolvidos.

Normas de publicación

1. La *Revista Brasileira de Ciências Ambientais* es una publicación del ICTR y del NISAM, que tiene por objeto la divulgación de trabajos de la área.
2. El Consejo Editorial, con el Consejo Editorial Científico; decidirán caules artículos serán aceptados para publicación, considerando la cualidad, el potencial de innovación, la originalidad y la pertinencia del tema de acuerdo con la línea editorial.
3. Los artículos sometidos para evaluación de la revista deben pertenecer a la área de las ciencias ambientales.
4. Los originales deberán ser enviados atendiendo las siguientes normas:
 - a) Presentados en archivo electrónico.
 - b) Utilizando el procesador Word sin formatear, definiendo solamente el inicio de los párrafos.
 - c) Los trabajos deberán tener un máximo de 20 (veinte) páginas incluyendo el texto y las ilustraciones.
 - d) Utizar página tendrá hasta 20 (veinte) líneas com hasta 60 (sesenta) caracteres incluso los espaciamentos.
 - e) Los trabajos deberán constar de: título, nombre(s) y apellido(s) del(de los) autor(es), su(s) título(s) profesional(es) y instituciones.
5. Es obligatorio presentar el resumen en los idiomas portugués, español y inglés, conteniendo un mínimo de 500 (quinientos) y un máximo de 700 (setecientos) caracteres cada uno, incluyendo los espaciamentos.
6. Las notas y referencias bibliográficas serán presentadas en el final del texto referenciadas y agrupadas, así como las citaciones textuales, de acuerdo con a las Normas de la ABNT – NBR-6023.
7. Las ilustraciones deberán ser enviadas en hojas separadas indicando las leyendas y los créditos y deberán ser referenciadas en el texto.
8. Los dibujos deberán ser presentados en arte-final. Se presentados en disquetes formateados en programas compatibles (CAD, Corel Draw, Photoshop, PM6.5), en blanco y negro o en colores.
9. Después de la entrega de los originales, ellos serán analizados criteriosamente por lo Consejo Editorial e por lo Consejo Editorial Científico y los trabajos que no hayan sido aprobados serán devueltos a sus autores.

Publication norms

1. The *Revista Brasileira de Ciências Ambientais* is a review of the ICTR and the NISAM that has by object to divulgate the works of the area.
2. The Editorial Council, with the Editorial Scientific Council, will decide about which articles will be accepted for the publication, considering the quality, innovation, originality and the theme pertinence to the editorial line.
3. The contributions presented to the publication must appertain to the environmental sciences.
4. The originals must be sended with the following patterns:
 - a) Presented by electronic files.
 - b) To use the Word program, without format, only defining the paragraphs beginning.
 - c) The works must have a maximum of 20 (twenty) pages including the text and the illustrations.
 - d) Each page will have until 20 (twenty) lines composed by until 60 (sixty) signs with the spacements included.
 - e) The works must present: the tittle, the name(s) of the author(s), their(s) professional qualification(s) and institution(s).
5. It's obligatory the presentation of the abstracts in portuguese, english and spanish languages, containing a minimum of 500 (five hundred) and a maximum of 700 (seven hundred) signs each, with the spacements included.
6. The notes and bibliographic references will be presented at the end of the text, referred and grouped, also for the citations, according the norms of the ABNT-NBR-6023.
7. The illustrations must be sended in separated papers containing the credit indications and the inscriptions must be referred in the text.
8. The draws must be sended in theirs originals or by floppy disks using compatibles programs (CAD, Corel Draw, Photoshop, PM6.5). The images may be in black and white or in color.
9. After their presentation the originals will have the critical analysis by the Editorial Council and Editorial Scientific Council. The works not approved will be devolved to theirs authors.



ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental

Av. Beira-Mar, 216, 13º andar
Castelo | Rio de Janeiro | RJ | Brasil | CEP 20021-060
Tel: (21) 2277-3900 Fax: (21) 2262-6838

www.abes-dn.org.br