



**SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

GIA 23
14 a 17 Outubro de 2007
Rio de Janeiro - RJ

GRUPO XI

GRUPO DE ESTUDO DE IMPACTOS AMBIENTAIS - GIA.

PROGRAMA DE AVALIAÇÃO E CONTROLE DE ESPÉCIES AQUÁTICAS INVASORAS NA BACIA DO RIO IGUAÇU, PARANÁ.

Carlos Eduardo Belz* Otto Samuel Mäder Netto* Ariel Scheffer da Silva* Luiz Carlos Freitas
Patricia D. Borges* Jair Duarte***

***INSTITUTO DE TÉCNOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO - LACTEC.
COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA - COPEL

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo promover conhecimento sobre espécies aquáticas invasoras e medidas de controle em usinas hidrelétricas, implementando uma infra-estrutura de pesquisas sobre a ocorrência destas espécies no Rio Iguaçu. Estudos populacionais estão sendo desenvolvidos para algumas espécies: um hidrozoário de água doce (*Cordylophora caspia*) que se adere a tubulações filtros e trocadores de calor, dois moluscos bivalves invasores (*Corbicula fluminea* e *Limnoperna fortunei*) que se encontram em baixas densidades; uma macrófita aquática (*Egeria densa*) e duas espécies de esponjas do gênero *Corvospongilla* que vêm causando problemas respiratórios e de reação alérgica aos funcionários da manutenção.

PALAVRAS-CHAVE

Espécies Invasoras, Mexilhão Dourado, *Cordylophora caspia*, Controles Químicos, Bioincrustação.

1.0 - INTRODUÇÃO

A introdução de espécies invasoras é considerada hoje, a segunda maior causa de declínio da biodiversidade, ficando atrás apenas da destruição de habitats naturais (1e 9). Porém, os organismos aquáticos invasores são problemáticos não somente para os ecossistemas, mas também para as atividades humanas e em sistemas industriais e produtivos.

No Brasil algumas espécies invasoras já vêm causando sérios problemas em algumas bacias hidrográficas. O mexilhão dourado (*Limnoperna fortunei*), introduzido na América do Sul em 1991, é um molusco bivalve que já se dispersou por várias bacias hidrográficas brasileiras, causando grandes impactos ambientais e sociais e acarretando gastos para o setor elétrico devido à sua capacidade de aderir a estruturas e equipamentos das usinas hidrelétricas. Além do mexilhão dourado, espécies de esponjas, briozoários arborescentes, hidrozoários, macrófitas aquáticas e outros moluscos também podem ser introduzidos em um novo ambiente e se tornarem espécies invasoras com grande potencial para causarem prejuízos ao setor elétrico.

Problemas com bioincrustações em Usinas Hidrelétricas brasileiras são recentes apesar de em grande maioria

apresentarem sistemas de resfriamentos abertos. Com o aumento da globalização o problema da introdução de espécies invasoras através da água de lastro de navios cargueiros estão causando diversos prejuízos a Usinas, Indústrias, Companhias de abastecimento de água e ao meio ambiente. Em 2001 o mexilhão dourado foi reportado pela primeira vez no reservatório da Usina de Itaipu, causando grandes problemas à empresa. Hoje o molusco invasor já está presente em diversas bacias hidrográficas nos estados do Paraná, São Paulo, Rio Grande do Sul, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso (2).

Os sistemas de resfriamento das Usinas Hidrelétricas são de fundamental importância para dissipar o aumento térmico causado durante o funcionamento dos geradores e demais equipamentos, através de trocas térmicas seja com o ar água ou algum outro sistema. A incrustação nestes sistemas gera perda na eficiência de troca térmica, podendo causar inúmeros problemas, desde aumento de mão-de-obra até mesmo parada de máquinas (unidades inteiras) para manutenção.

Diversas metodologias estão sendo testadas no combate à bioincrustação de sistemas de resfriamento. Testes com Hipoclorito, Ozônio e tintas antiincrustantes vem sendo realizados por diversas Usinas Hidrelétricas, mas os resultados ainda são preliminares.

2.0 - ETAPAS DO PROJETO

2.1 Inventário das espécies aquáticas invasoras da bacia do Rio Iguaçu

A realização de um levantamento de espécies aquáticas invasoras na bacia do Rio Iguaçu tem grande importância, pois permite identificar o grau de infestação de diferentes espécies, sua distribuição pelos corpos d'água, bem como os principais problemas para o meio ambiente e para os sistemas industriais e produtivos.

No início do projeto foram realizadas diversas expedições pelo Rio Iguaçu para identificar espécies aquáticas invasoras que são ou possam se tornar problemáticas para sistemas industriais. Durante estes levantamentos foram identificadas espécies de plantas aquáticas, hidróides, moluscos e esponjas como espécies de risco para o setor elétrico.

Na região do baixo Iguaçu foi encontrada em altíssima densidade uma macrófita aquática identificada como *Egeria densa*, esta planta é muito utilizada na aquariofilia e provavelmente foi desta forma que foi introduzida no Rio Iguaçu. Esta macrófita vem causando grandes prejuízos em algumas Usinas Hidrelétricas brasileiras a ponto de se tornar uma ameaça para a utilização da água (5). Quando grandes massas destas plantas se desprendem, com o auxílio da correnteza chegam nas grades de proteção de unidades geradoras, podendo até mesmo causar entupimentos se não forem removidas.

Dois moluscos encontrados no rio Iguaçu vêm causando problemas em diversas partes do mundo. A *Corbicula fluminea* distribuída em todo Rio Iguaçu encontra nos reservatórios de usinas hidrelétricas locais ideais para seu desenvolvimento. Este molusco apesar de já ter se disseminado por boa parte das bacias hidrográficas brasileiras e ter causado inúmeros problemas ambientais, não foi amplamente discutido por causar pequenos impactos econômicos. Outro molusco encontrado nesta bacia é o mexilhão dourado (*Limnoperna fortunei*). Este molusco apresenta alta fecundidade, grande adaptabilidade ambiental, comportamento gregário e plasticidade genética, características que tornam esta espécie um potencial invasor que vem causando diversos problemas aos sistemas industriais em diversos locais do mundo (3).

Outro organismo que vem causando problemas em usinas da Copel é o hidróide *Cordylophora caspia*. Ocorreram registros da espécie na região sudeste de São Paulo (8) e na Bacia do rio Paraná (4). É originária do mar Cáspio e possivelmente se dispersou por vários países através de água de lastro de navios e por introduções passivas com espécies aquáticas cultivadas. Embora seja uma espécie de água salobra, esta se adapta e se desenvolve bem em ambientes dulcícolas onde não existem predadores e competidores naturais. Este organismo vem causando problemas de aumento da manutenção do sistema de resfriamento através de entupimentos de filtros e perda de eficiência na troca térmica dos trocadores de calor.

Também foram encontradas duas espécies de esponjas do gênero *Corvospongilla*. Estes animais até o momento não demonstraram ser prejudiciais aos sistemas das usinas hidrelétricas, apesar de sua presença em locais de trabalho, durante a manutenção, implique na utilização de equipamentos adequados de proteção individual (EPI), principalmente aqueles capazes de prevenir o contato com a pele e a inalação.

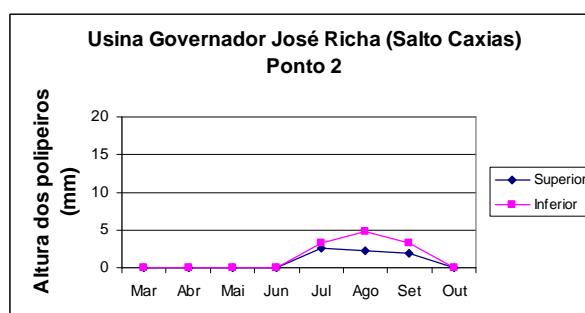
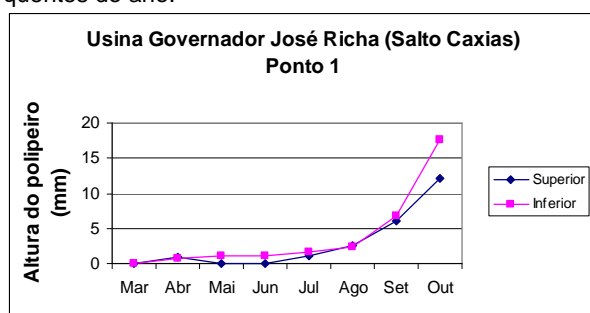
As campanhas de campo continuam sendo realizadas com o objetivo de identificar mais espécies invasoras que possam causar danos ao setor elétrico.

2.2 Estudo crescimento populacional

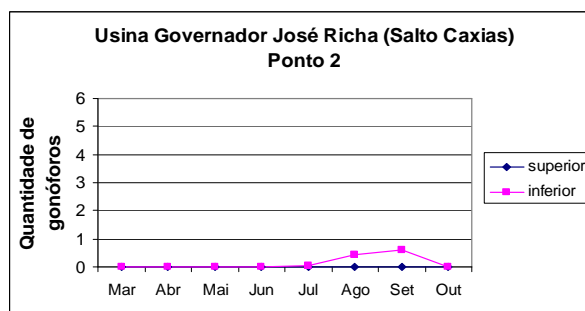
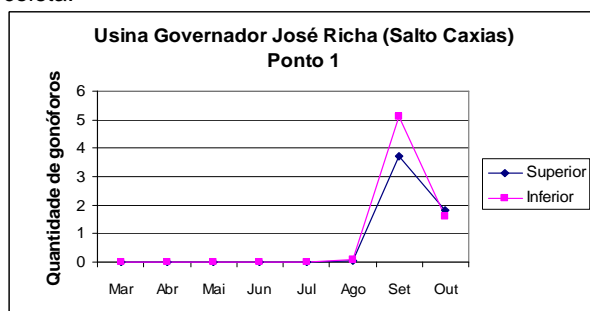
Experimentos com corpos de prova estão sendo realizados para avaliar a bioincrustação dos organismos identificados no projeto. Para a realização destes experimentos foram instaladas placas de recrutamento em dois pontos estratégicos do reservatório da Usina Governador José Richa (Salto Caxias), um ponto no reservatório da usina Governador Ney Aminthas de Barros Braga (Segredo) e dois pontos na área do Parque Nacional do Iguaçu, um acima das cataratas e outro próximo ao encontro com o Rio Paraná. Estes dois últimos pontos apesar de não estarem instalados em reservatório de usinas são muito importantes para o projeto, pois estão localizados em um local propenso a invasões vindas da bacia do Rio Paraná.

Estes corpos de prova foram coletados mensalmente nos pontos de Salto Caxias e do ParNa Iguaçu e trimestrais no ponto do reservatório de segredo. Estas placas foram trazidas para o laboratório do Lactec em Curitiba e analisadas com o auxílio de um microscópio estereocópio. Até o momento, o organismo presente em maior quantidade nas placas é o hidróide *Cordylophora caspia* e sua população vem sendo analisada quanto à porcentagem de cobertura, quantidade de pólipos e gonóforos por polípeiros, quantidade de hidrantes e tamanho do polípeiro nos lados superior e inferior das placas.

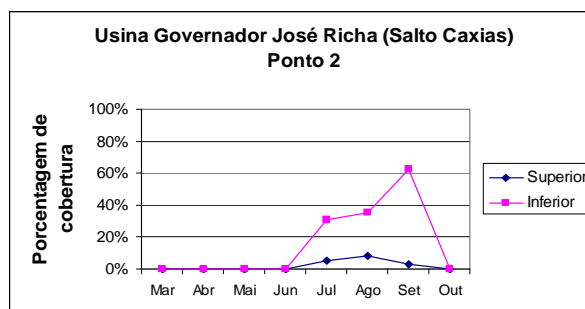
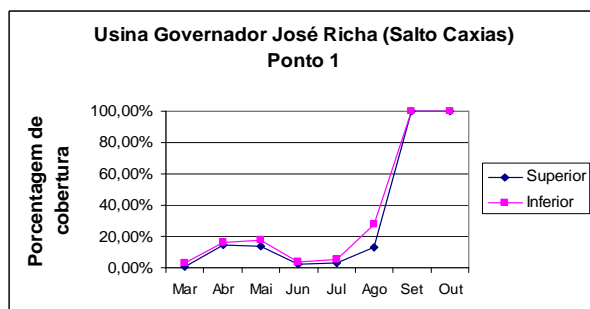
Nos pontos do reservatório da Usina de Segredo e do ParNa Iguaçu os substratos artificiais não foram colonizados por nenhum organismo invasor até o momento. Já nos dois pontos do reservatório da Usina de Salto Caxias ocorreu colonização, com destaque para o ponto 1, que fica próximo a tomada d'água da usina, apresentando a maior colonização de hidrozoários se comparado aos demais e foi o único ponto colonizado até o momento pelo molusco *Limnoperna fortunei*. As Figuras de 1 a 6 mostram o desenvolvimento do processo de colonização dos corpos de prova no decorrer do estudo, indicando uma possível relação com os meses mais quentes do ano.



Figuras 1 e 2 – Altura dos polípeiros na parte superior e inferior dos corpos de prova durante os meses de coleta.



Figuras 3 e 4 – Quantidade de gonóforos na parte superior e inferior dos corpos de prova durante os meses de coleta.



Figuras 5 e 6 – Porcentagem de cobertura na parte superior e inferior dos corpos de prova durante os meses de coleta.

2.3 Testes químicos no sistema de resfriamento

Esta etapa do projeto foi conduzida na Usina Governador José Richa, localizada próxima à foz do Rio Iguaçu, onde o hidrozoário *Cordilophora caspia* foi encontrado nos filtros, trocadores de calor e tubulações das unidades geradoras, comprometendo a vazão e a troca térmica no sistema de resfriamento.

Poucos testes de controle da bioincrustação foram realizados com o organismo invasor *Cordilophora caspia*, sendo que a maior parte destes foram realizados em laboratório e avaliando apenas medidas de controle com injeção de cloro e aumento de temperatura (6 e 7).

O projeto tem como um dos objetivos testar metodologias de controle de bioincrustação simulando condições reais de sistemas industriais. Para isso, uma etapa preliminar foi desenvolvida para selecionar as metodologias mais promissoras. Foram realizados ensaios em laboratório com Cloro, Ozônio e Hidróxido de Sódio, sendo que este último mostrou-se o mais eficiente para as condições locais.

O Hidróxido de Sódio foi utilizado preliminarmente em um dos trocadores de calor, tipo placa, do mancal guia inferior do gerador. Este trocador, desde a sua última manutenção, estava em funcionamento há seis meses. A elevação de temperatura detectada, já sinalizava uma deficiência na troca térmica, exigindo uma parada para manutenção. Foi circulada uma solução de NaOH 5% em circuito fechado. Esta solução fez com que o meio sofresse uma elevação de pH de 7,11 para 12,84. O resultado foi à destruição completa das partes orgânicas do hidrozoário, deixando os tecidos protegidos por cutículas gelatinosos e quebradiços. O ensaio demonstrou eficiência na remoção da bioincrustação, diminuindo consideravelmente a porcentagem de cobertura, indicando que o trocador de calor poderia continuar operando sem a necessidade de sua desmontagem para limpeza interna.

Em uma segunda etapa, dois trocadores de calor do mancal guia de duas unidades geradoras foram limpos mecanicamente e colocados em operação sendo que um deles começou a receber uma solução de NaOH injetada continuamente no sistema com o objetivo de manter o pH da água em 9. Após 87 dias de experimento o trocador onde não havia injeção do produto mostrou uma perda de eficiência na troca térmica e foi parado. Os dois trocadores de calor foram abertos e observou-se que o trocador de calor que funcionou sem a aplicação de NaOH, apresentou grande incrustação de hidrozoários e lama. Já no trocador de calor submetido à circulação do produto ocorreram níveis muito baixos de incrustação (figuras 7 e 8).



Figura 7 – Trocador de calor sem tratamento aberto após 87 dias de experimento.



Figura 8 – Trocador de calor com injeção de NaOH aberto após 87 dias de experimento.

Após a realização deste experimento, iniciou-se um novo teste com a mesma metodologia, mantendo o pH da água no interior do trocador em 9, porém, aplicada a apenas um trocador de calor para verificar o tempo máximo que o sistema poderia operar com a injeção de NaOH e sem apresentar redução em sua eficiência de troca térmica. O experimento durou 10 meses e 19 dias e o sistema de resfriamento não apresentou perda de eficiência de troca térmica. Este teste apresentou resultados muito promissores, com demonstração da melhoria da eficiência do sistema de resfriamento como um todo. Antes da detecção do hidrozoário invasor *Cordilophora caspia* no reservatório da usina, os guias de manutenção, baseados na experiência operacional da usina determinavam que a cada 6 meses era necessário efetuar uma limpeza mecânica nestes trocadores.

Está sendo montado na Usina Governador José Richa um laboratório simulando as vazões de filtros e trocadores de calor do sistema de resfriamento, para que sejam realizados outros testes com produtos químicos, pinturas e corrosão de materiais. Neste sistema serão realizados testes em escala industrial para que os resultados obtidos possam ser aplicados nos sistemas obtendo um grau elevado de precisão dos efeitos dos produtos nos materiais e organismos presentes no sistema de resfriamento.

2.4 Educação ambiental

O primeiro grande passo desta etapa foi à disseminação do projeto junto aos empregados das usinas da Copel. Diversas apresentações em forma de treinamento foram efetuadas no sentido de apresentar o problema de espécies invasoras aos empregados das usinas e interessados. Foram ministradas noções sobre o ciclo de vida de algumas espécies, seus hábitos, locais propícios para sua fixação, formas de combate conhecidas e informações de ações realizadas por outras empresas do setor elétrico para conviver com o problema. Foram também realizados treinamentos específicos para as equipes de manutenção envolvidas com inspeções visuais em equipamentos e aquelas que auxiliaram na coleta de amostras de água dos reservatórios e tubulações internas. O objetivo principal foi capacitá-los na identificação do mexilhão dourado e outras espécies que possam causar problemas para os sistemas das usinas. Foram apresentadas palestras nas Usinas Governador José Richa, Governador Ney Braga e Governador Bento Munhoz, envolvendo um total de 180 participantes entre funcionários das usinas e representantes de outras instituições como Batalhão da Polícia Florestal, Instituto Ambiental do Paraná e Prefeituras próximas. Foram realizadas palestras em escolas e Universidades regionais totalizando aproximadamente 600 participantes.

Neste ultimo ano do projeto estão sendo elaborados materiais de educação ambiental para serem divulgados nas comunidades, prefeituras e empresas do setor elétrico. Um CD com uma apresentação auto-explicativa está sendo elaborado para ajudar a divulgar o problema das espécies invasoras e a influência do ser humano em sua dispersão. Desta forma esperamos orientar a população sobre este importante problema mundial e diminuir ao máximo a entrada de organismos invasores em novos rios e bacias hidrográficas.

3.0 - CONCLUSÃO

A identificação e estudo de espécies invasoras é importante no controle dos impactos causados em sistemas industriais e ao meio ambiente. Quanto antes as medidas de controle contra a dispersão forem tomadas, grandes somas em dinheiro serão economizadas no combate ao problema.

O estudo do ciclo de vida destes organismos é de suma importância para a elaboração de planos efetivos de controle da bioincrustação, pois sabendo exatamente os meses com maior pico de reprodução, pode-se intensificar os tratamentos nos sistemas de resfriamento nestes períodos. Deste modo, além de diminuir o custo dos tratamentos, menores impactos serão causados ao meio ambiente.

A implementação de um sistema de dosagem de Hidróxido de Sódio, de baixo custo de aquisição e instalação mantém a eficiência do sistema de resfriamento da unidade geradora. Os ganhos podem ser o aumento da vida útil das partes internas dos trocadores de calor e a redução dos custos de manutenção destes sistemas, resultando no aumento de disponibilidade de geração de energia elétrica.

4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Baskin Y. 2002. A plague of rats and rubber-vines. The growing threat of species invasions. The Scientific Committee of Problems on the Environment (SCOPE). Island Press, Washington, 377 pp.
- (2) Belz, C. E. 2006. Análise de risco de bioinvasão por *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857): um modelo para a bacia do Rio Iguaçu, Paraná, Brasil. Tese de doutorado. Departamento de Zoologia da UFPR.
- (3) Darrigran, G.; Penchaszadeh, P. & Damborenea, M. C. 2000. An invasion tale: *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Mytilidae) in the Neotropics. Proc. 10th International Aquatic Nuisance Species and Zebra-Mussels Conference, Toronto, Canadá: 219-224.
- (4) Haddad, M.A. & Nakatani, K. 1996. Primeiro registro de *Cordylophora caspia* (Pallas, 1771) (Cnidaria, Hydroida) emguas continentais brasileiras. In: Resumos XXI Congresso Brasileiro de Zoologia, SBZ, 5 - 9 de fevereiro de 1996, Porto Alegre, RS. p. 10.
- (5) Marcondes, D.A.S.; Velinin, E.D.; Martins, D.; Tanaka, R.H.; Carvalho, F.T.; Cavenaghi, A.L.; Bronhara, A.A. Eficiência de fluridone no controle de plantas aquáticas submersas no reservatório de Jupia. SPE Viçosa, 2003, Planta Daninha, V. 21.
- (6) Folino-Rorem, N. C. & Indelicato, J. 2005 Controlling biofouling caused by the colonial hydroid *Cordylophora*

caspia. Water Research 39, p. 2731 - 2737.

(7) Rajagopal S.; Van-der-Velde G; van-der-Gaag M.; Jenner H.A.,. 2002. Laboratory evaluation of chlorine to the fouling hydroid *Cordylophora caspia*. Biofouling, 18(1):57-64.

(8) Silveira F. L & Boscolo, H.K., (1996). Primeira ocorrência de *Cordylophora caspia* (Pallas, 1771) (Hydrozoa, Clavidae) para o estado de São Paulo.

(9) Vitousek P.M., H.A. Mooney, J. Lubchenco y J.M. Melillo. 1997. Human domination of Earth's ecosystems. Science 277: 494-499.

5.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Carlos Eduardo Belz

Nascido em Curitiba/PR, em 13 de junho de 1972.

Graduação em Medicina Veterinária pela UFPR, Mestrado em Ciências Veterinárias pela UFPR, Doutorado em Zoologia pela UFPR.

Empresas: GIA/UFPR (1999 a 2002), Professor da Univ. Espírita do PR desde 2001 e LACTEC desde 2003.

Pesquisador da Divisão de Meio Ambiente do Departamento de Recursos Ambientais

Otto Samuel Mäder Netto

Nascido em Curitiba/PR, em 19 de setembro de 1980.

Graduação (2004) em Engenharia Química: PUC-Paraná.

Empresas: LACTEC desde 2003.

Pesquisador da Divisão de Meio Ambiente do Departamento de Recursos Ambientais.

Ariel Scheffer da Silva

Nascido em Tomazina/PR, em 24 de março de 1961.

Graduação em Ciências Biológicas pela UFPR, Mestrado em Aqüicultura pela Simon Fraser University (Vancouver, Canadá), Doutorado em Zoologia pela UFPR.

Empresas: Técnico de nível médio na Polar Brasil LTDA, PR (1992- 1993), Professor auxiliar do Curso de Ciências Biológicas da Simon Fraser University (Vancouver, Canadá)(1994-1996), Técnico de nível superior na Ilha Rasa Produtos Marinhos LTDA, PR (1998-1999), Diretor Técnico do Instituto Ecoplan, PR (2000-2003) e LACTEC desde 2003.

Pesquisador da Divisão de Meio Ambiente do Departamento de Recursos Ambientais

Jair Duarte

Nascido em Curitiba/PR, RJ, em 28 de julho de 1974.

Graduação (2001) Engenharia Licenciado em Engenharia Química: UFPR.

Empresas: Copel (1992 a 1995), OAS Construtora (1996 a 1997), Cimentos Itambé (1999 a 2001) e LACTEC desde 2002.

Pesquisador da Divisão de Meio Ambiente do Departamento de Recursos Ambientais.

Patricia D. Borges

Nascida em Curitiba/PR em 25 de novembro de 1985.

Graduanda de Ciências Biológicas na UFPR

Estagiária do Lactec desde 2006.