

## Estudo preliminar do impacto microbiológico e ecotoxicológico do processo de lavagem do plástico de frasco de soro fisiológico para reciclagem utilizando o conceito de simbiose industrial

PAULO ROBERTO NUNES CORRÊA

Faculdade de Tecnologia de Sorocaba – SP – Brasil  
paulocorrea29@hotmail.com

RENATA LOLO HARO SILVA

Hospital Santo Antônio de Votorantim – SP – Brasil  
farmacia@hsav.com.br

LAÍS ROCHA CAMARGO

Faculdade de Tecnologia de Sorocaba – SP – Brasil  
lala\_myxy@hotmail.com

ANNA MARIA GOUVEIA MELERO BARROS

Universidade Federal de São Carlos – campus Sorocaba – SP - Brasil  
anna.radio@hotmail.com

SILVIA PIERRE IRAZUSTA

Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza – SP - Brasil  
Faculdade de Tecnologia de Sorocaba – SP – Brasil  
silvia.pierre@hotmail.com

ELISABETH PELOSI TEIXEIRA

Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza – SP - Brasil  
Faculdade de Tecnologia de Sorocaba – SP – Brasil  
elisabeth.pelosi@gmail.com

**Resumo** –Estudo preliminar da viabilidade técnica da reciclagem do plástico de frascos de soro de origem hospitalar, do ponto de vista do impacto microbiológico e ecotoxicológico sobre a saúde ocupacional e ambiental. O trabalho foi baseado no conceito de simbiose industrial, buscando avaliar a possibilidade de integração de três empresas: um hospital geral de porte médio, uma empresa processadora de plásticos (lavagem, moagem e secagem) e uma recicladora de plásticos (preparação dos extrusados plásticos). O estudo considerou o fluxo e a caracterização dos materiais plásticos, principalmente frascos de soro utilizados no hospital, inclusive o processo adequado de sua segregação em lixeiras específicas, separando os frascos recicláveis de outros contaminados com resíduos perigosos de medicamentos (RPMs), cujo destino é a incineração. Foram realizadas análises microbiológicas (contagem de heterotróficas, coliformes totais e fecais) e ecotoxicológicas (geno/mutagenicidade em *Allium cepa*) da água de entrada no processo de reciclagem de plástico e na água do tanque de lavagem e corte do plástico, sem os frascos de soro e com os frascos de soro. As análises microbiológicas indicam que o processo de lavagem e moagem dos frascos de soro não altera significativamente a qualidade da água do tanque de lavagem da recicladora

quando comparado com a qualidade da água deste mesmo tanque processando plásticos de origem não hospitalar. Os testes ecotoxicológicos indicam que não há genotoxicidade na água de lavagem dos plásticos de origem hospitalar, mas os teste de mutagenicidade precisam ser melhor analisados. Estes resultados são importantes para estabelecer um fluxo de materiais entre as empresas em simbiose industrial, verificando-se as necessárias licenças ambientais e o atendimento às normas regulamentadoras que visam à segurança e à saúde do trabalhador da recicladora.

**Palavras-chave:** Reciclagem Frascos de Soro, Microbiologia, Ecotoxicologia, Simbiose Industrial.

**Abstract** - *This research preliminarily evaluates the technical feasibility of recycling plastic of serum vials coming from hospitals through the microbiological and ecotoxicological impacts in the occupational and environmental health. This research was based on the concept of industrial symbiosis focusing on the possibility of integration of three different companies: a general hospital of medium size, a plastics processing company specialized in washing, grinding and drying plastics and also a plastic's recycler company. This study considered the material flow and the plastic characterization, mainly of saline bottles used in the hospital, including the adequate segregation process in garbage boxes, separating recyclable bottles from contaminated bottles with hazardous medication waste, which final destination is incineration. Microbiological (heterotrophic count, total and fecal coliforms) and ecotoxicological (geno/mutagenicity in *Allium cepa*) evaluations were done on the: (a) entry water of the recycling plastic process, (b) wash water and (c) the water from the cut tank plastic with (c1) and without the saline bottles (c2). The microbiological results have indicated that the process of washing and milling bottles has not significantly changed the water quality when compared to the quality of the water coming from the exactly same tank when processing plastics from a non-hospital origin. The ecotoxicity trial final results have indicated that there is no genotoxicity in the washing water of the hospital-originated plastics, although the mutagenicity tests should be better evaluated. These outcomes are important for establishing a material flows between companies in industrial symbiosis, in order to evaluate the required environmental permissions as well as to meet the regulatory legislation of safety and occupational health of employees from recycling companies.*

**Keywords:** *Recycling of saline bottles, Microbiology, Ecotoxicology, Industrial Symbiosis.*

## 1. Introdução

As principais legislações brasileiras que tratam do gerenciamento dos resíduos de serviços de saúde (RSS) são publicadas pela ANVISA (RDC 306:2004) e CONAMA (Res. 358:2005), e classificam os RSS em cinco grupos, a saber: **A** (potencialmente infectantes), **B** (químicos), **C** (radiativos), **D** (comuns) e **E**(perfurocortantes) (BRASIL, MS, 2004; BRASIL, MMA, 2005).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) determina que só poderão ser descartados em aterros sanitários aqueles resíduos que tiverem tido todas as possibilidades de reciclagem esgotadas (BRASIL, 2010).

Atualmente, os hospitais possuem uma enorme quantidade de materiais descartáveis passíveis de reciclagem e que, na maioria das vezes, não são reciclados. Muitos materiais, como frascos de soro, seringas, equipos, entre outros, mesmo que não contaminados são, em muitas situações, descartados como resíduos infectantes, mandados para tratamento e, posteriormente, descartados em aterros sanitários.

Esse trabalho tem como objetivo desenvolver uma avaliação técnica do ponto de vista microbiológico e ecotoxicológico da água de lavagem do tanque de reciclagem de plásticos de uma recicladora, utilizando como matéria prima do processo os frascos de soro segregados em um hospital de médio porte da cidade de Votorantim-SP. A proposta de modelo de integração dos processos foi baseada no conceito de simbiose industrial, integrando três empresas – um hospital, uma recicladora de plásticos (processo de lavagem e moagem) e uma recicladora de plásticos (derretimento, resfriamento e extrusão).

## **2. Referencial Teórico**

### **2.1 Simbiose e metabolismo Industrial**

O metabolismo industrial se baseia nos fluxos de matéria e energia, desde sua fonte inicial, através do sistema industrial, ao consumidor e ao seu descarte final. Esse conceito é uma analogia com o metabolismo biológico, no qual um organismo precisa consumir determinadas substâncias para realizar suas funções como movimento, crescimento e reprodução e, conseqüentemente, excretam resíduos. “O metabolismo pode ser estudado em qualquer nível de complexidade, desde processos moleculares que ocorrem em células individuais até o processo que ocorre no organismo completo” (GIANNETTI e ALMEIDA, 2006).

O metabolismo interno de um organismo depende de outros fatores além do próprio organismo, como o ambiente externo, outros organismos e das condições físico químicas do ambiente, que regulam direta ou indiretamente o metabolismo. Na produção industrial também há interferência externa, como por exemplo, o fator humano que pode interferir no fluxo de materiais e energia, seja diretamente por meio do trabalho ou indiretamente como consumidor (GIANNETTI e ALMEIDA, 2006).

Simbiose é definida como uma relação com vantagem mútua entre dois organismos vivos de espécies diferentes. Simbiose Industrial é uma analogia desse comportamento natural aplicado nas indústrias, na qual diferentes indústrias atuam de forma integrada envolvendo trocas físicas e de recursos humanos e técnicos. Com estas trocas, visa-se a melhoria do desempenho ambiental e o aumento da vantagem competitiva coletiva. As relações simbióticas podem ocorrer: dentro da mesma empresa, planta ou organização; entre empresas localizadas dentro de um parque industrial; entre empresas que não estão localizadas na mesma área; e entre empresas organizadas “virtualmente” em uma região mais ampla (MADEIRA, 2007).

O grande objetivo da aplicação desses conceitos dentro da indústria é justamente promover “fechamentos de ciclos” no decorrer da produção. O metabolismo industrial visa otimizar os sistemas industriais, que devem ser projetados para operar de forma similar ao sistema natural, sem consumir reservas não renováveis e sem produzir resíduos inúteis ou tóxicos.

### **2.2 Plásticos**

Com a atual tendência de cada vez mais priorizar o consumo de materiais descartáveis dentro da indústria, o plástico teve um enorme crescimento em seu consumo geral. Com isso, fica evidente a necessidade de se procurar alternativas para a disposição final desses materiais. Quando a disposição final é feita em aterro, os plásticos dificultam sua compactação e prejudicam a decomposição dos materiais biologicamente degradáveis, pois criam camadas impermeáveis que afetam as trocas de líquidos e gases

gerados no processo de biodegradação da matéria orgânica. Quando a disposição destes materiais é realizada em lixões, os problemas são ainda maiores, pois nestes locais ocorre a queima dos materiais, o que pode vir a trazer sérios prejuízos às pessoas e ao meio ambiente (OLIVEIRA, 2007). A melhor alternativa a se fazer com os plásticos é a reciclagem, que fará com que retorne à cadeia produtiva, minimizando os impactos ambientais causados pela sua disposição em aterros.

Atualmente, os hospitais possuem uma enorme quantidade de materiais descartáveis passíveis de reciclagem e que, muitas vezes, não são reciclados. Muitos materiais, como frascos de soro fisiológico, seringas, equipos, entre outros, mesmo que não contaminados são, em muitas situações, descartados como resíduos infectantes, mandados para tratamento e, posteriormente, descartados em aterros sanitários.

### **3. Metodologia**

#### **3.1 Caracterizaçãodos materiais plásticos de uso hospitalar**

Foi realizado um levantamento junto ao setor de farmácia e almoxarifado do Hospital quanto à lista de materiais plásticos adquiridos rotineiramente. Os diferentes materiais identificados foram estudados em relação à quantidade adquirida mensalmente e a quantidade consumida. Cada tipo de material foi analisado quanto ao(s) tipo(s) de plástico(s) que entra(m) em sua composição e seu potencial de reciclagem, levando-se em conta a tecnologia disponível, mercado consumidor, riscos associados e legislação pertinente.

#### **3.2 Aplicaçãodo conceito de simbiose industrial para o ciclo de vida do plástico do frasco de soro fisiológico**

Após o levantamento preliminar de informações, foi aplicado o conceito de simbiose industrial ao hospital, buscando associar-lhe empresas recicladoras de plástico, visando o fechamento do ciclo de vida do plástico dos frascos de sorofisiológico limpos gerados no hospital.

Foi estabelecido um fluxo de coleta de frascos de sorofisiológico não contaminados com RPM em alguns setores hospitalares onde essa geração era significativa. Lixeiras foram implantadas para a segregação de frascos de soro limpos e outras para os frascos contaminados.

Foram ministrados treinamentos internos sobre gerenciamento de RSS para que os colaboradores pudessem realizar o procedimento de segregação, acondicionamento e coleta de forma correta e segura, visando especialmente a separação dos frascos de soro contaminados quimicamente com resíduos considerados perigosos (RPM – resíduo perigoso de medicamento, segundo a Portaria CVS 21:2008), visto que estes não podem ser encaminhados à reciclagem, sendo segregados à parte e enviados para tratamento por incineração (SÃO PAULO, SS, 2008).

Os frascos de sorofisiológico limpos coletados foram armazenados em contêiner identificado e serviram, posteriormente, como matéria-prima para o teste piloto de processamento na recicladora em simbiose com o hospital.

#### **3.3 Análise microbiológica**

Foram realizadas análises microbiológicas da água de entrada no processo de reciclagem de plástico na recicladora e na água do tanque de lavagem e corte do plástico,

sem o acréscimo dos frascos de soro, para conhecimento da situação atual da qualidade microbiológica deste tanque. Foi realizada posteriormente a análise da qualidade da água do tanque usando apenas frascos de soro no processo. Para isso, foi feito o descarte da água original do tanque de lavagem, a higienização do tanque, colocação de nova água e o processamento das amostras de frascos de soro segregadas pelo hospital. Estas análises visam identificar os possíveis impactos microbiológicos à saúde ocupacional e ao meio ambiente, que a adição dos frascos de soro ao processo de reciclagem pode gerar no efluente da recicladora.

As amostras de água foram analisadas no Laboratório de Microbiologia da Faculdade de Tecnologia de Sorocaba “José Crespo Gonzales”, realizando-se a contagem de heterotróficos pela técnica do *pour plate* em meio PCA (Difco) em cinco diluições ( $10^{-1}$  a  $10^{-5}$ ), testes de Presença/Ausência para detecção de coliformes (caldo lactosado acrescido de púrpura de bromocresol), pesquisa de coliformes totais (caldo verde brilhante com tubo de Durhan) e confirmação de presença de coliformes fecais (meio EC com tubos de Durhan). Todas as análises foram realizadas em duplicada e calculadas as médias das contagens, quando cabível. A metodologia seguida foi baseada no manual de métodos de análise microbiológica da água, do ITAL/Campinas (SILVA, CANTÚCIO NETO, JUNQUEIRA, SILVEIRA, 2000).

Foram selecionadas as placas, em todos os experimentos, com contagem entre 30 e 300 colônias e estas foram contadas com o auxílio de uma lupa em um contador de colônias. Foi calculado o número de unidades formadoras de colônias (UFC) por mL da amostra multiplicando o número de colônias pelo inverso da diluição inoculada. Foi usada notação exponencial e apenas uma casa decimal depois da vírgula na apresentação dos resultados.

### 3.4 Análise ecotoxicológica

Foram realizados ensaios de detecção de aberração cromossômica (CA) e de presença de micronúcleos (MN) em células de *Allium cepa* de acordo com uma versão modificada do Caritá e protocolo de Marin-Morales (CARITÁ e MARIN-MORALES, 2008). Cem sementes de cebola foram germinadas em temperatura ambiente ( $20 \pm 5$  °C) em placas de Petri cobertas com papel de filtro. Foi vertido sobre as sementes germinadas a amostra que se pretende analisar, utilizando-se uma placa para cada diluição (25, 50 e 100%) a ser examinada. As diluições foram preparadas em tampão fosfato salino. Água destilada foi utilizada como um controle negativo e 1,68 ppm de trifluralina (herbicida) foi utilizado como um controle positivo.

Quando as raízes atingiram 2 cm de comprimento (cerca de 5 dias após o início do ensaio), foram recolhidas e fixadas em álcool-ácido acético (3:1) durante 24 h. Depois disso, as raízes foram lavadas com água destilada, em três banhos de 5 min cada. O material foi hidrolisado em HCl 1 N a 60 °C durante 11 min, seguido por três lavagens de 5 min em água destilada. O excesso de água foi removido depositando-se as sementes em papel de filtro e o material foi transferido para uma área escura em recipientes com reagente de Schiff como descrito por Feulgen e Rossenbeck (LYONet al., 2002), durante aproximadamente 1 h. Para preparar as lâminas, as regiões meristemáticas e F1 foram cobertas com lamínulas e cuidadosamente comprimidas em uma gota de solução a 2% de ácido acético carmim.

Para a análise de aberração cromossômica (CA), aberrações em diferentes fases da divisão celular (metáfase, anáfase e telófase) foram consideradas, tais como fragmentos cromossômicos, pontes cromossômicas, perdas cromossômicas, entre outras. Análise de presença de MN foi avaliada na região F1 pela contagem do número de células

com MN, em um universo de 500 células por lâmina, realizando-se a leitura de 5 lâminas para cada concentração da amostra.

## 4. Resultados e Discussão

### 4.1 Análise do fluxo de materiais no ambiente de saúde

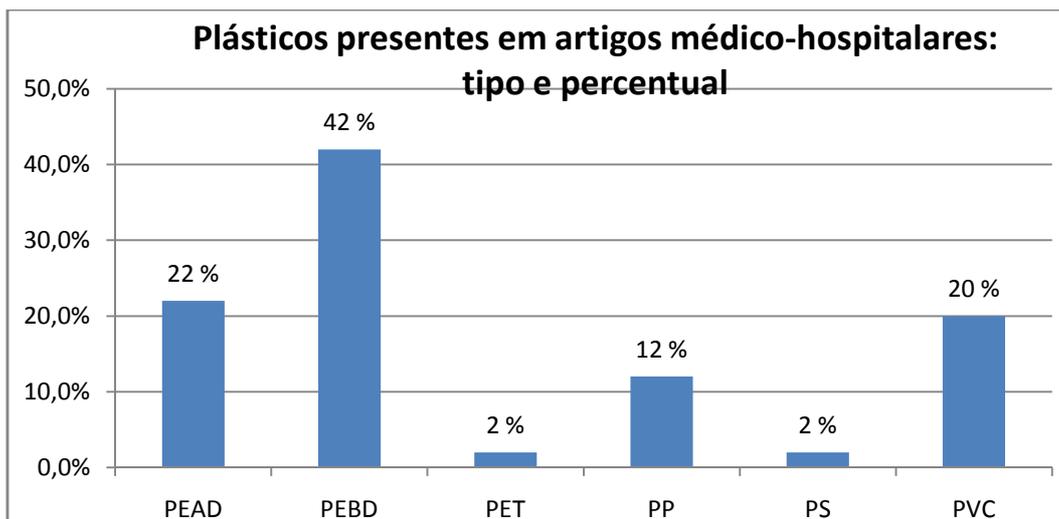
Foi realizado o estudo do fluxo de materiais, especialmente os de material plástico, dentro da instituição de saúde, com acompanhamento desde a sua compra (entrada) até o seu descarte (saída) para o tratamento por incineração ou reciclagem. Foi observado o alto consumo de materiais plásticos que são utilizados para a realização dos procedimentos dentro do Hospital, seja na assistência à saúde, serviço administrativo, serviço de nutrição e dietética, entre outros. Os dados dos setores de farmácia e almoxarifado demonstraram consumo médio mensal de 7.900 unidades de frascos de soro fisiológico, conforme levantamento realizado nos meses de dezembro/2012 à fevereiro/2013, e apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1** – Levantamento do número de unidades de frascos de soro fisiológico utilizados no hospital no período de dezembro de 2012 a fevereiro de 2013

<b>Mês/Ano</b>	<b>Frascos de Soro (unidades)</b>
Dezembro/2012	7912
Janeiro/2013	7868
Fevereiro/2013	8007
<b>Média</b>	<b>7929</b>

### 4.2 Caracterização dos materiais plásticos de uso hospitalar

Foram realizadas análises dos rótulos dos produtos plásticos identificados nos setores de farmácia e almoxarifado do HSAV e a classificação dos tipos de plásticos utilizados nos produtos hospitalares. A maior dificuldade dessa análise foi o fato de alguns fabricantes não seguirem a norma técnica da ABNT NBR 13230, que define a simbologia para a identificação dos materiais plásticos. Quando os materiais não possuíam a simbologia em sua embalagem, foi realizada a pesquisa nos sites dos fabricantes. Foram identificados 50 artigos médico-hospitalares fabricados em plásticos e comumente utilizados pelo Hospital. O tipo de plástico presente no maior número de itens foi o Polietileno de Baixa Densidade – PEBD, presente em 42% do total de artigos, seguido do Polietileno de Alta Densidade – PEAD, com 22%. A Figura 1 demonstra a porcentagem dos vários tipos de plásticos presentes nos artigos utilizados pelo Hospital.



**Figura 1** – Percentual e tipos de plásticos identificados em artigos médico-hospitalares em uso no Hospital no período de dezembro/2012 a fevereiro/2013.

A análise da composição dos frascos de soro fisiológico (salina) utilizados no Hospital demonstrou que são, predominantemente, fabricados em PP e PEBD, e são os principais produtos desses tipos de plásticos e um dos mais consumidos. A possibilidade de reciclagem desses materiais implicaria em uma redução de custos com tratamento para a instituição de saúde, bem como a diminuição do impacto causado ao meio ambiente, levando-se em consideração que esses resíduos são enviados para tratamento e, em seguida, depositados em aterros sanitários.

### 4.3 Aplicação do conceito de Simbiose Industrial

Para que o conceito de simbiose industrial para o plástico dos frascos de soro fosse aplicado de maneira adequada, foi necessária, primeiramente, a implantação de um processo de segregação adequada deste resíduo dentro do Hospital. Para isso foram elaborados e ministrados treinamentos para a adequada separação dos frascos de soro recicláveis (frascos contendo apenas resíduos de soro fisiológico) dos frascos de soro contaminados quimicamente com resíduos perigosos de medicamentos (RPM).

Os treinamentos foram ministrados a partir da identificação dos insumos farmacêuticos geradores deste tipo de resíduo e a implantação, pela farmácia, de um sistema de identificação, através de etiquetas de cor laranja, dos medicamentos que, após sua utilização, deveriam ser descartados em lixeiras especiais, também de cor laranja. Os insumos farmacêuticos identificados como geradores de RPM estão listados no Quadro 1, através de seus princípio ativos, conforme a Portaria CVS-21:2008, do Centro de Vigilância Sanitária do Estado de São Paul (SÃO PAULO, 2008).

Os setores geradores de frascos de soro, identificados através do levantamento dos aspectos ambientais realizado para a elaboração do PGRSS – Plano de Gerenciamento dos Resíduos de Serviços de Saúde (ALMEIDA e TEIXEIRA, 2013) receberam duas lixeiras adicionais, uma de cor vermelha para a segregação dos frascos de soro limpos (Figura 2a) e outra de cor laranja, para a segregação dos frascos de soro contaminados com RPM (Figura 2b). Os frascos de soro limpos tinham seus respectivos equipos retirados e descartados no caixa rígida para perfurocortantes (Grupo E). Os frascos de soro contaminados com RPM eram descartados junto com o equipo, na lixeira laranja (ALMEIDA e TEIXEIRA, 2013).

**Quadro 1** – Princípios ativos farmacêuticos com potencial de gerarem resíduos perigosos de medicamentos (RPM) identificados na Farmácia Hospitalar no período de dez/2012 a fev/2013.

Princípios ativos farmacêuticos	
Acetato de leuprorrelina	Lidocaína 1% com vasoconstritor
Adrenalina	Lidocaína 2% com vasoconstritor
Bupivacaína com vaso	Marcaína com vasoconstritor
Cloranfenicol	Metilergometrina
Colchicina	Metotrexato
Epinefrina	Mitomicina
Ergometrina	Nitroglicerina
Finasterida	Norepinefrina
Hemitartarato de epinefrina	Ocitocina



**Figura 2** – Lixeiras para segregação dos frascos de soro. A) Lixeira vermelha para a segregação de plásticos de frascos de soro para reciclagem. B) Lixeira branca com faixa laranja e símbolo de resíduo perigoso para a segregação de frascos de soro contaminados com RPM.

Os colaboradores da enfermagem e da higiene/limpeza do hospital receberam orientações específicas sobre a segregação, coleta e transporte interno dos frascos de soro fisiológico com o objetivo de realizar estas etapas de maneira correta e segura, de forma a atender às normas de biossegurança. Os estudos realizados na recicladora estão em andamento, mas buscam também orientar a empresa quanto ao atendimento das NRs do Ministério do Trabalho e Emprego que visam a segurança e a saúde ocupacional.

#### 4.4 Análise microbiológica

Foram realizadas análises microbiológicas da água de entrada no processo de reciclagem de plástico na recicladora e na água do tanque de lavagem e corte do plástico, inicialmente sem o acréscimo dos frascos de soro fisiológico, para conhecimento da situação atual da qualidade microbiológica deste tanque, conforme mostrado na Figura 3 e comparação posterior com o impacto causado pelo acréscimo dos frascos de soro

fisiológico. A Tabela 2 mostra os resultados consolidados da análise microbiológica destas amostras. Todas as análises foram feitas em duplicata.

Foi realizada posteriormente a análise da qualidade da água do tanque usando apenas frascos de soro fisiológico no processo. Para isso, foi feito o descarte da água original do tanque de lavagem, a higienização do tanque, colocação de nova água e o processamento das amostras de frascos de soro segregadas pelo Hospital. Estas análises visam identificar os possíveis impactos microbiológicos à saúde ocupacional e ao meio ambiente que a adição dos frascos de soro fisiológico ao processo de reciclagem pode gerar no efluente da recicladora. Foi incluída nesta análise uma amostra do efluente tratado, visto que a recicladora não pode descartar a água de lavagem de seu processo de reciclagem ao meio ambiente sem um tratamento prévio.



**Figura 3** – Aparência das amostras de água submetidas à análise microbiológica. 1- Água do poço artesiano que serve à recicladora; 2 - Água do tanque de lavagem da recicladora (original); 3 - Água do efluente da recicladora já tratado; 4- Água do tanque de lavagem higienizado (poço artesiano); 5 - Água do tanque de lavagem da recicladora (frascos de soro).

**Tabela 2** – Análises microbiológicas das águas (a) de entrada na recicladora (poço artesiano), (b) do tanque de lavagem dos plásticos (original), (c) do tanque de lavagem após esvaziamento e higienização, (d) do tanque de lavagem após processamento dos frascos de soro fisiológico e (d) do efluente da empresa após tratamento.

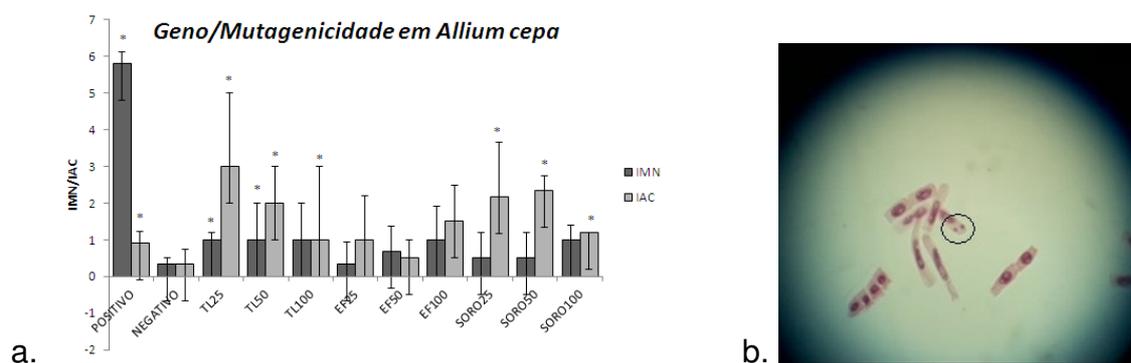
Água	Diluição	Contagem de Heterotróficos UFC/mL	Presença/Ausência de Coliformes (caldo lactosado)	Coliformes Totais (caldo verde brilhante)	Coliformes Fecais (caldo EC)
(a) entrada (poço artesiano)	$10^{-1}$	150	Ausentes	Ausentes	Ausentes
(b) tanque de lavagem (original – sem frascos)	$10^{-5}$	$1,2 \times 10^7$	Presentes	Presentes	Presentes

de soro)					
(c) tanque de lavagem higienizado	$10^{-1}$	NC	Ausentes	Ausentes	Ausentes
(d) tanque de lavagem (frascos de soro fisiol.)	$10^{-3}$	$1,2 \times 10^4$	Presentes	Presentes	Presentes
(e) efluente tratado	$10^{-5}$	$6,6 \times 10^7$	Presentes	Presentes	Presentes

#### 4.5. Análise Ecotoxicológica

A análise ecotoxicológica (Figura 4) mostrou que tanto a atividade genotóxica, quanto a mutagênica das amostras tomadas nas três situações relatadas foram elevadas, sendo que apenas o efluente de lavagem do tanque não apresentou valores significativos em relação ao controle, provavelmente decorrente da grande variabilidade encontrada (ver desvio-padrão). A atividade genotóxica observada é um dado preliminar, a partir deste estudo piloto, que carece de confirmação a partir de novas amostragens e ensaios desenhados em escala laboratorial, uma vez que se confirmada, a genotoxicidade observada não deixa de ser um importante indicador de poluição ambiental.

Na realização de bioensaios com plantas sensíveis à detecção da genotoxicidade a agentes diversos, estes podem servir como um primeiro alerta para detectar a presença de perigo ambiental na água, ar ou solo (GOPALAN, 1999; MA, 1999). Além disso, se estas alterações no DNA não forem devidamente reparadas pelo sistema celular, podem levar a mutações, cujos efeitos podem ser desde a inviabilidade celular até o desenvolvimento de processos carcinogênicos (FERNANDES, 2005). Esta última afirmação justifica, sobretudo, a preocupação com os resultados obtidos com a água do poço artesiano (TL), onde se observou mutagenicidade, cuja explicação pode estar em múltiplos fatores, incluindo infiltrações de origem clandestina.



**Figura 4.** Ensaio de geno/mutagenicidade em *Allium cepa*. Em a) apresentação da análise estatística; \*  $p < 0,05$ . Em b) campo microscópico com ampliação de 400 x mostrando a presença de células F1 da raiz com presença de dois micronúcleos (destacado no círculo).

## 5. Conclusão

A avaliação preliminar da possibilidade de reciclagem de frascos de soro fisiológico gerados como resíduos em hospitais mostrou viabilidade da aplicação do conceito de simbiose industrial, ou seja, a integração de duas ou mais empresas, em que se objetiva o fechamento do ciclo de vida de um determinado material, no nosso caso do plástico dos frascos de soro fisiológico. No entanto, para que esta viabilidade se concretize, algumas premissas precisam ser atendidas.

A análise microbiológica mostrou que não há impacto maior ao processo de reciclagem quando se introduz o plástico de origem hospitalar ao processo de reciclagem de plásticos. Em geral, toda carga de plásticos introduzida para moagem vem contaminada com alta carga de bactérias heterotróficas e coliformes totais e fecais. A carga detectada destas bactérias no ensaio experimental, embora presente, é de magnitude muitas vezes menor do que aquela presente no processamento de plástico de origem não hospitalar.

A análise ecotoxicológica mostrou que tanto a atividade genotóxica, quanto a mutagênica das amostras tomadas nas três situações relatadas foram elevadas, sendo que apenas o efluente de lavagem do tanque não apresentou valores significativos em relação ao controle, provavelmente decorrente da grande variabilidade encontrada.

Novos ensaios serão conduzidos para verificar desde a qualidade da água do poço artesiano que serve à empresa recicladora, bem como a avaliação de parâmetros ocupacionais que possam viabilizar o processo de reciclagem de frascos de soro, insumo grandemente utilizado por qualquer hospital, gerado em grande quantidade e que pode ser reciclado numa combinação simbiótica adequada entre empresas seriamente comprometidas com as questões ambientais e de sustentabilidade.

## Referências

ALMEIDA, T. P. e TEIXEIRA, E. P. **Plano de Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde**. Hospital Santo Antônio de Votorantim. Trabalho de Graduação. Curso de Tecnologia em Sistemas Biomédicos. Faculdade de Tecnologia de Sorocaba “José Crespo Gonzales”. 2013.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. **Resolução da Diretoria Colegiada nº 306, de 07 de Dezembro de 2004**. Dispõe sobre o Regulamento Técnico para o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde. Diário Oficial da União de 10 de dezembro de 2004, Seção I, p. 49, Col. 1.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 358, de 29 de Abril de 2005**. Dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde e dá outras providências. Diário Oficial da União de 04 de maio de 2005, Seção I, p. 63-65.

BRASIL. **Política Nacional de Resíduos Sólidos. Lei No 12.305, de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei Nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 e dá outras providências. Diário Oficial da União, 03 de agosto de 2010.

FERNANDES, T. C. C., 2005. Investigação dos efeitos tóxicos, mutagênicos e genotóxicos do herbicida trifluralina, utilizando *Allium cepa* e *Oreochromis niloticus* como sistemas-testes. Dissertação de Mestrado, Rio Claro: UNESP (Universidade Estadual de

São Paulo), SPGIANNETTI, B. F.; ALMEIDA, C. M. V. B. **Ecologia Industrial**: conceitos, ferramentas e aplicações. 2.ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2006.

GOPALAN, H.N. Ecosystem health and human well being: the mission of the international programme on plant bioassays. *Mutat. Res.*, v 426: 99-102, 1999.

MA, T. H. The international program on plant bioassays and the report of the follow-up study after the hands-on workshop in China. *Mutat. Res.*, v 426, p. 103-106, 1999

MADEIRA, V. **Ecologia industrial**: existem empresas que não têm possibilidade de simbiose?. International Workshop Cleaner Production – IV Semana Paulista de P+L, 1, 2007. Sao Paulo. Disponível em: <[http://www.advancesincleanerproduction.net/first/textos%20%20arquivos/CongressoUNI P/Oralpresentations/OP6A/OP6A1/Valeria%20Madeira%20-%20Presentation.pdf](http://www.advancesincleanerproduction.net/first/textos%20%20arquivos/CongressoUNI%20P/Oralpresentations/OP6A/OP6A1/Valeria%20Madeira%20-%20Presentation.pdf)>. Acesso em: 05 mar. 2011.

OLIVEIRA, P. T. S.; Peixoto, G. E. C. **Levantamento da situação atual da reciclagem de materiais plásticos no município de Campo Grande – MS**. IV Encontro Nacional e II Encontro Latino – Americano sobre Edificações e Comunidades sustentáveis – ELECS, 2007.

SÃO PAULO. Centro de Vigilância Sanitária. **Portaria CVS nº 21, de 10 de setembro de 2008**. Aprova a Norma Técnica sobre Gerenciamento de Resíduos Perigosos de Medicamentos em Serviços de Saúde. DOE Poder Executivo, 11/09/2008.