

## PROJETO

**GESTÃO DAS TECNOLOGIAS ENVOLVIDAS NO TRATAMENTO DE RESÍDUOS DE MISTURAS DOS SOLVENTES CICLO-HEXANO/METANOL E N-HEXANO/ACETATO DE ETILA, PELA AVALIAÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL DOS PROCESSOS DE RECUPERAÇÃO PRATICADOS NO SETOR TÉCNICO DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS QUÍMICOS DO INSTITUTO DE QUÍMICA DA USP**

**RESPONSÁVEL: DRA PATRICIA BUSKO DI VITTA**

**EQUIPE EXECUTORA: PATRICIA BUSKO DI VITTA, CLAUDIO DI VITTA, CLAUDIA REGINA MARTINS, MARCO AURÉLIO SULLER GARCIA, LIANE MÁRCIA ROSSI, JOSEF WILHELM BAADER**

**NOME DA UNIDADE USP: INSTITUTO DE QUÍMICA**

**RESUMO:** Neste projeto pretende-se comparar os impactos ambientais causados pelos processos adotados no tratamento de resíduos químicos constituídos de solventes orgânicos, em mistura ou não, via análise do ciclo de vida dos referidos solventes. Desta maneira, pela utilização de um ecoindicador, o Ecosolvent, será possível optar, entre os tratamentos hoje em operação no Instituto de Química (IQUSP) – destilação, degradação química, processos físicos combinados e incineração – por aquele que causar menor impacto ambiental, mitigando-se assim os efeitos causados pelas atividades experimentais realizadas nos laboratórios didáticos e de pesquisa do IQUSP. Os resultados desta avaliação poderão ser estendidos para outras unidades USP, de tal modo que possamos aumentar a sustentabilidade em nossa Universidade.

**IQUSP**

**2013**

## **Introdução**

A preocupação com o tratamento adequado de resíduos químicos em Universidades tem recebido grande importância nos últimos anos<sup>1</sup>. No Instituto de Química da Universidade de São Paulo (IQUSP), a gestão de resíduos químicos aprimorou-se, nitidamente, após a criação de um serviço de tratamento de resíduos químicos (Setor Técnico de Tratamento de Resíduos – STRES), sob os auspícios da FAPESP (Processo 2001/01221-3, Tratamento e Gerenciamento de Resíduos Químicos no IQUSP), em 2002. Antes disso, devido à inexistência de um sistema centralizado de coleta de resíduos, muitos materiais oriundos dos laboratórios de ensino e pesquisa tinham destinos incertos, tendo-se notícias de que alguns eram descartados em rede de esgoto ou no lixo doméstico, sem qualquer cuidado.

Uma das primeiras tarefas realizadas, após a criação do serviço de tratamento de resíduos químicos, foi o mapeamento de suas fontes geradoras. Este mapeamento mostrou que os principais resíduos químicos gerados no IQUSP eram constituídos, principalmente, de solventes orgânicos e de soluções aquosas contendo metais pesados (Tabela 1).<sup>1a</sup>

Tabela 1. Principais correntes de resíduos no IQUSP, em 2002.

<b>Principais Correntes de Resíduos</b>	<b>Quantidade (kg)</b>
Solventes clorados e não clorados	13000
Mistura de solventes provenientes de coluna cromatográfica (hexano/acetato de etila)	4000
Mistura de solventes utilizadas em HPLC (acetonitrila, metanol e isopropanol)	2400
Soluções aquosas contendo metais pesados (Pb <sup>2+</sup> , Hg <sup>2+</sup> , Cr <sup>3+</sup> , Co <sup>2+</sup> , Ag <sup>+</sup> , Cd <sup>2+</sup> , etc).	180
<b>Soluções aquosas ácidas</b>	*
Soluções aquosas básicas	*
Resíduos sólidos orgânicos	220
<b>Resíduos sólidos inorgânicos</b>	190
Resíduos sólidos orgânicos e inorgânicos contendo metais pesados	160

\*Não foi possível estimar, uma vez que estes resíduos não são produzidos em quantidades fixas;

Assim, conhecendo-se razoavelmente bem quantidades e características dos mais abundantes resíduos químicos gerados no IQUSP, a segregação, apresentada na Figura 1, foi adotada<sup>1a</sup>.

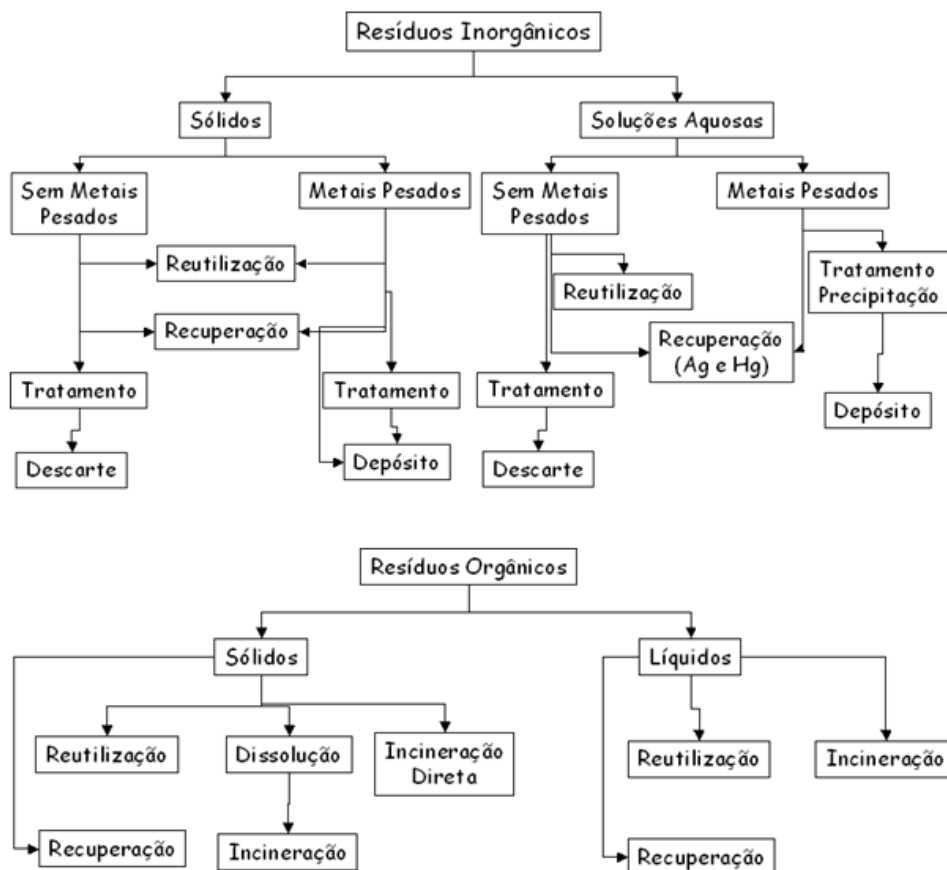


Figura 1. Segregação de resíduos por classes, adotada no IQUSP.

Enquanto as linhas de tratamento de materiais inorgânicos baseiam-se na concentração de soluções de metais pesados, visando apenas diminuir a massa de material a ser destinado em aterro industrial, o processo de recuperação de solventes orgânicos (acetato de etila (P. E. 77,0°C), acetona (P. E. 56,0°C), acetonitrila (P. E. 81,6°C), benzeno (P. E. 80,0°C), ciclo-hexano (P. E. 80,7°C), clorofórmio (P. E. 61,0°C), diclorometano (DCM; P. E. 40,0°C), etanol (P. E. 78,0°C), éter etílico (P. E. 34,5°C), hexanos (faixa de ebulição de 60 a 70°C), n-hexano (P. E. 69°C), isopropanol (P. E. 82,0°C), metanol (P. E. 64,0°C), tetracloreto de carbono (P. E. 76,0°C) e tolueno (P. E. 110,6°C)) é muito mais elaborado. Alguns destes solventes, quando recolhidos quase puros, podem ser destilados, sem tratamento prévio, ou tratados previamente por lavagem com água, seguida de secagem para posterior destilação.<sup>2a, b</sup>

Misturas constituídas de resíduos de hexanos, acetato de etila, tolueno ou clorados, na presença de álcoois ou acetona, são lavadas com HCl aquoso e água, para remoção dos solventes hidrossolúveis.<sup>2a, b</sup> Após secagem e destilação, os solventes insolúveis em água podem ser reutilizados.

Também tem sido possível recuperar o n-hexano e DCM quando misturados. Por exemplo, destilando-se cerca de 16L de mistura de n-hexano/DCM (3:1), obtêm-se cerca de 8 L de n-hexano puro, 4 L de uma mistura a 90-99% de n-hexano e 4 L de diclorometano com, no mínimo, 90% de pureza. Este DCM, ainda que contaminado com n-hexano, pode ser utilizado para extrações, enquanto que a mistura que contém até 10% de DCM pode ser redestilada, obtendo-se n-hexano puro. Porém, a separação dos componentes de misturas de hexanos/acetato de etila é complicada, tanto pelo fato de hexanos serem comercializados como misturas de isômeros (n-hexano, metilpentanos, dimetilbutanos etc.), como por n-hexano formar azeótropo de mínimo com o acetato de etila, o que impossibilita a separação dos mesmos. Assim, para se recuperar pelo menos os hexanos, efetua-se a hidrólise alcalina do acetato de etila (com hidróxido de sódio em água, a frio<sup>2b</sup> (Figura 2)) ou a sua biodegradação.<sup>3</sup> Ainda que este solvente seja mais caro do que os hexanos, pode-se assim, ao menos, recuperar o que não é obtido a partir de fontes renováveis.

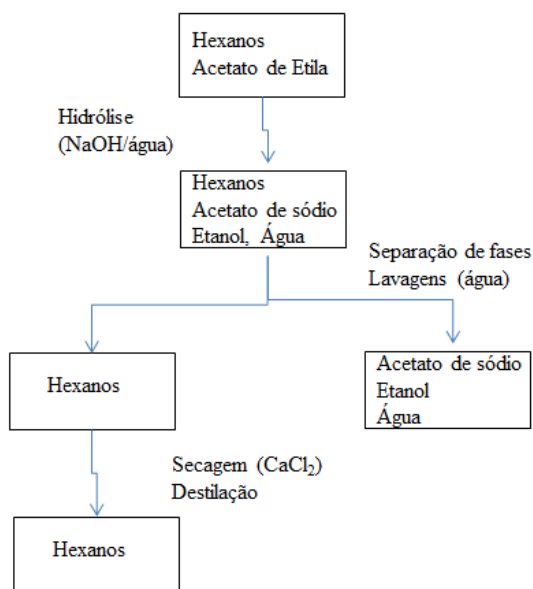


Figura 2. Processo de recuperação dos hexanos

Outra mistura difícil de ser separada é aquela constituída de ciclo-hexano e metanol, gerada como resíduo em síntese de catalisadores suportados em nano-partículas. Tais solventes

formam mistura azeotrópica (P.E. 54,2 °C) e, ainda, são parcialmente miscíveis. Esta miscibilidade é aumentada pela presença de um surfactante (IGEPAL CA 520) presente no resíduo. O processo de separação destes solventes consiste numa série de etapas que envolvem resfriamento (8 °C), separações de fase e destilações (Figura 3). Desta maneira, é possível recuperar os dois solventes puros. É válido ressaltar, ainda, que o surfactante também pode ser recuperado por cromatografia em coluna de sílica, utilizando-se metanol como eluente.<sup>4</sup>

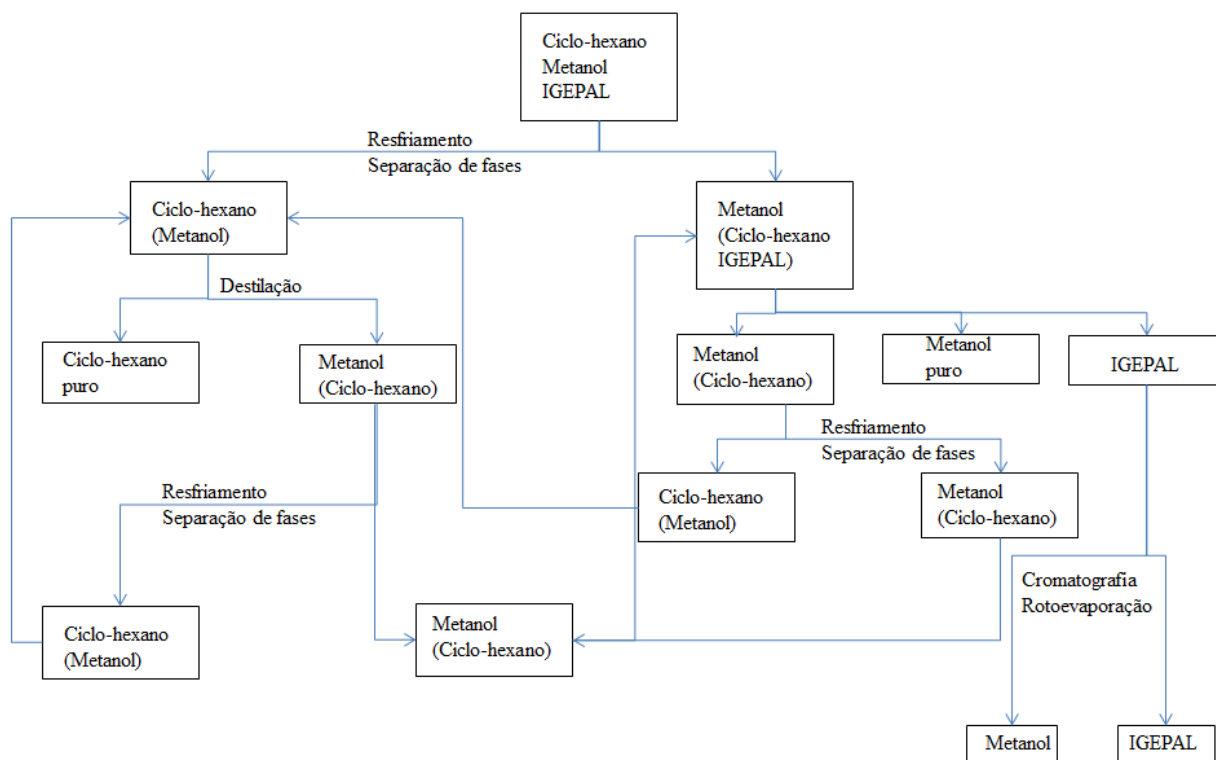


Figura 3. Processo de recuperação de ciclo-hexano, metanol e IGEPAL CA 520

Todos estes processos permitem, ao IQUSP, recuperar cerca de 5 t de solvente/ano e, conseqüentemente, reduzir os custos de destinação de resíduos.

Pelo descrito acima, nota-se que diversos processos físicos, tais como o resfriamento, congelamento e a destilação são aplicados ao lado de processos químicos como lavagens com ácidos e secagens. Todos estes processos apresentam, inexoravelmente, prejuízos ao meio ambiente, seja pelo consumo de energia elétrica ou pela geração de novos efluentes residuais, cujo destino requer uma proposta secundária de tratamento.

Paralelamente aos processos de reciclagem dos solventes acima mencionados, o IQUSP conta com um sistema de destinação de rejeitos de solventes. No caso de misturas complexas de

solventes ou de misturas de diversos componentes orgânicos oriundos, principalmente, dos laboratórios de pesquisa, cuja separação é inviável, procede-se à incineração completa em incinerador industrial, licenciado pela CETESB para a incineração de produtos químicos perigosos (Classe 1). Anualmente, incineram-se cerca de 10 t de resíduos orgânicos líquidos e sólidos. A incineração, apesar de ser um processo que, praticamente, aniquila o passivo, é um processo que também apresenta aspectos negativos ao meio ambiente, devido à geração de efluentes gasosos, cinzas e efluentes líquidos e à necessidade de transporte motorizado especializado ao incinerador. Ademais, são necessárias embalagens especiais e caras para o transporte, além de ser imprescindível haver, no local gerador, um entreposto para o acondicionamento de resíduos, o que representa um risco, devido à inflamabilidade dos materiais estocados. Porém, nunca se ponderou se a incineração, apesar de tudo isto, apresenta menores prejuízos ambientais do que os tratamentos adotados nos serviços de tratamento de resíduos do IQ. Portanto, seria adequado avaliar os “impactos ambientais” causados pelos dois processos.

O “impacto ambiental” é qualquer deterioração do meio ambiente que decorra da atividade humana. Um dos países pioneiros na política analítica ambiental foi o Estados Unidos da América, por meio da Lei Federal denominada "National Environment Policy Act" (NEPA), aprovada em 1969.<sup>5</sup> Lá, depois de criada a lei, passou-se a exigir que todos os empreendimentos com potencial impactante sobre o meio ambiente procedessem à: i) identificação dos impactos ambientais; ii) caracterização dos efeitos negativos e iii) definição de ações e meios para mitigação dos impactos ambientalmente negativos.

Diante dos reflexos da aplicação do NEPA, organismos internacionais como Organização das Nações Unidas, Banco Interamericano para o Desenvolvimento e Banco Internacional para Desenvolvimento e Reconstrução passaram a exigir, em seus programas de cooperação econômica, a observância dos estudos de avaliação de “impacto ambiental”.

No Brasil, no âmbito federal, o primeiro dispositivo legal associado à “Avaliação de Impactos Ambientais” deu-se pela Lei Federal 6.938, de 31.08.1981. Esta Lei estabeleceu a Política Nacional do Meio Ambiente e firma o SISNAMA - Sistema Nacional de Meio Ambiente, como órgão executor. Atualmente, a política nacional do meio ambiente é de responsabilidade do CONAMA, criado pela Lei 6938-81, que legisla emitindo resoluções, moções, recomendações, proposições e decisões, sendo o IBAMA o órgão executivo, na esfera federal e a CETESB, na estadual, em São Paulo, encarregados da fiscalização. São de competência do CONAMA a realização de estudos das alternativas e das possíveis

consequências ambientais de projetos públicos ou privados e o estabelecimento de normas, critérios e padrões relativos ao controle e à manutenção da qualidade do meio ambiente, com vistas ao uso racional dos recursos ambientais. Assim, a Resolução CONAMA 001/86, de 23.01.86,<sup>6</sup> estabelece as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implantação da “Avaliação de Impacto Ambiental” como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente.<sup>7</sup> Nesta resolução, define-se “impacto ambiental” por qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causadas por qualquer forma de matéria ou energia resultantes das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetem: i) a saúde, a segurança e o bem-estar da população; ii) as atividades sociais e econômicas; iii) a biota; iv) as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e v) a qualidade dos recursos ambientais.

Na esfera industrial, a “Análise de Ciclo de Vida” (ACV) é um método utilizado para avaliar o impacto ambiental de bens e serviços,<sup>8</sup> como seriam os casos dos produtos e processos de tratamento de solventes aplicados pelo STRES, no IQUSP. A ACV de um produto, processo ou atividade, é uma avaliação sistemática que quantifica os fluxos de energia e de materiais no ciclo de vida do produto. A Environmental Protection Agency, dos EUA, define a ACV como uma ferramenta para avaliar, de forma holística, um produto ou uma atividade durante todo seu ciclo de vida. O ciclo é a história do produto: extração das matérias primas, produção, distribuição, consumo, uso e até sua transformação em lixo ou resíduo. Por exemplo, quando se avalia o impacto ambiental de um carro deve-se considerar a poluição causada pelo funcionamento do veículo e também, danos causados por seu processo de fabricação. A norma que fornece os princípios e estruturas e alguns requisitos metodológicos para a condução de estudos de ACV é a NBR ISO 14040.<sup>9</sup>

Dos vários métodos de análise de ciclo de vida disponíveis na bibliografia destacam-se: o CML 2, o Eco-indicator 99, o Ecopontos 97, a Escassez Ecológica, o Potencial de Aquecimento Global, a Demanda Cumulativa de Energia e CO<sub>2</sub> Total, entre outros.

Em referência ao Eco-indicator 99, desenvolvido pela Pré-Consultants,<sup>10</sup> uma companhia holandesa, são avaliadas três categorias de danos relacionadas com a fabricação de um produto: i) sobre a saúde humana; ii) sobre a qualidade do ecossistema e iii) sobre os recursos, do modo geral.

O Ecopontos 97 foi elaborado pelo Ministério do Meio Ambiente da Suíça<sup>11</sup> para se avaliarem, por pontos, as emissões gasosas e líquidas associadas a matérias primas e processos,

incluindo-se também transporte e acessórios intermediários, tipo de energia, etc. Por exemplo, para o polietileno, existe um indicador para a produção de 1 kg, outro para a injeção de polietileno e outro para a incineração. Desta forma, após uma somatória de elementos, o indicador numérico relativo ao produto reflete o seu impacto ambiental desde sua produção, até sua destinação final. Assim, comparando-se produtos químicos, pode-se notar que ácido nítrico é mais impactante do que o sulfúrico, pois o primeiro exibe com indicador igual a 55, enquanto o segundo tem indicador igual a 22, para a mesma massa de 1 kg.

Pelo anteriormente exposto, percebe-se que o IQUSP destina e dispõe seus resíduos químicos de forma adequada. Porém, ignora-se, do ponto de vista da gestão, se os processos ora adotados para a recuperação de solventes implicam em maior ou menor impacto ambiental do que a simples incineração dos mesmos. Em função disso, lança-se, aqui, a proposta de comparar os impactos ambientais da incineração com os dos tratamentos realizados na recuperação de hexanos, advindos de resíduos de hexanos/acetato de etila, e de ciclo-hexano/metanol. Estas misturas foram escolhidas em função de serem geradas em grande quantidade (até 200 L/ano) e por apresentarem processos de recuperação longos e trabalhosos.



## **Justificativa**

O presente projeto pretende avaliar os impactos ambientais causados por processos de tratamento de resíduos, em especial aqueles envolvendo recuperação dos solventes hexano, ciclo-hexano e metanol, frente à possibilidade de se incinerarem estes resíduos. Desta maneira, em função dos resultados da avaliação, espera-se influenciar outros laboratórios de tratamento de resíduos da USP para que adotem o processo menos impactante. A avaliação dos impactos ambientais promoverá, assim, o uso racional de recursos e a sustentabilidade dentro de nossa Universidade.

Os dados desta avaliação servirão, ainda, como ferramenta de apoio a dois grupos de pesquisa do IQUSP: o de Nanomaterias e catálise (dirigido pela Profa. Dra. Liane Marcia Rossi, grande gerador de resíduos de ciclo-hexano/metanol e ao qual pertence um aluno que investiga, entre outros temas, processos de recuperação de misturas de solventes gerados como resíduos na síntese de catalisadores) e o de Compostos Orgânicos de Enxofre (do Prof. Dr. Claudio Di Vitta, que hoje orienta a aluna de mestrado Claudia Regina Martins, cuja dissertação também versa sobre a avaliação de impactos ambientais de processos de recuperação de solventes).

Para a execução deste projeto, serão necessárias as aquisições de:

- Vidrarias para tratamento dos resíduos: Vidrarias usuais e aparelhagens de destilação (balões de destilação, colunas, condensadores, tubos secantes, funis de separação, béqueres, termômetros, etc.);
- Ferragens (mufas, garras e argolas), mangueiras, plataforma elevatória e manta aquecedora com controlador de potência;
- Reagentes para secagem dos solventes e hidrólise de acetato de etila (hidróxido de sódio e cloreto de cálcio);
- Serviços analíticos para caracterização dos resíduos e certificação dos solventes recuperados. Para a execução destas análises pretende-se recuperar um cromatógrafo a gás que hoje se encontra fora de uso, por falta de manutenção. Além disso, serão necessárias análises diversas, como microanálise, 1HRMN, densidade, entre outras.
- Itens de segurança, tais como equipamentos de proteção individual (óculos, máscaras, luvas, vestimentas) e coletiva (capelas, coifas e anteparos).

## **Objetivos**

Este projeto visa gerir as tecnologias utilizadas nos processos de tratamento de resíduos de solventes adotados no IQUSP, quais sejam: recuperação ou incineração de misturas de hexanos/acetato de etila e de ciclo-hexano/metanol, comparando os indicadores ambientais relacionados à ACV, a fim de se saber quais tratamentos são menos impactantes ao meio ambiente. Os dados do estudo de ACV, em conjunto a outras informações (dados de custos e desempenho), servirão de ferramentas para que se selecionem os processos menos impactantes para o meio ambiente. Além disso, se forem confirmadas as vantagens da recuperação de resíduos de solventes, pretende-se incentivar ainda mais a reciclagem de solventes e de outros resíduos, reduzindo-se, assim, ainda mais a emissão de efluentes e poluentes no IQUSP.

## **Materiais e Métodos**

Uma forma de se compararem os fatores de impacto ambiental nos processos executados no STRES é pela utilização de *softwares* que levem em conta os impactos de diversos processos, tais como destilação, lavagens, separações de fases, extrações e incineração. Vários programas de computador e bases de dados têm sido desenvolvidos para apoiar a condução dos estudos ambientais de ACV. Os mais citados são: SimaPro,<sup>12</sup> KCL-ECO,<sup>13</sup> LCAiT 4,<sup>14</sup> GaBi,<sup>15</sup> e ECOSOLVENT.<sup>16</sup> Outros *softwares* podem ser encontrados em outros sítios.<sup>17</sup> O ECOSOLVENT é um *software* de fonte aberta e foi disponibilizado para descarga pelos autores C. Capello, S. Hellweg e K. Hungerbühler. Com tal ferramenta, podem-se comparar os processos de tratamento, visando à obtenção de, pelo menos, um dos produtos puro (ou quase puro) com a destruição do material bruto, por incineração.

Neste tocante, as etapas do trabalho, a serem seguidas, são:

- i) determinação das composições das misturas brutas, por cromatografia gasosa;
- ii) execução de tratamentos ilustrados nas Figuras 2 e 3;
- iii) determinação dos balanços de massa dos processos;
- iv) determinação dos balanços energético dos processos e
- v) análises, por cromatografia gasosa, das frações coletadas.

De posse das informações acima, utilizar-se-á o ECOSOLVENT para calcular os impactos ambientais dos processos empregados pelo STRES com a incineração do material, em incinerador dedicado ou de indústria de cimento. Com base nas comparações efetuadas decidir-se-á qual processo deve ser usado, pelo IQUSP, de modo a menos agredir o meio ambiente.

As análises cromatográficas deverão ser efetuadas por em cromatografia a gás, quantificando-se por comparação de áreas relativas aos sinais cromatográficos originados pelos componentes das misturas. Outras análises serão efetuadas na Central Analítica do IQUSP.

O programa ECOSOLVENT será instalado em computador IBM-PC compatível e servirá para cálculo dos impactos associados aos métodos de tratamento para cada solvente, em função das quantidades dos materiais e porcentagens de pureza obtidas pelas quantificações cromatográficas.

### **Resultados esperados**

Os dados obtidos nesta avaliação serão utilizados para decidir quais processos de tratamento de solventes são mais vantajosos, do ponto de vista ambiental, para serem adotados no IQUSP e, se possível, em outras unidades da USP. Espera-se, assim, reduzir a emissão de efluentes e poluentes e usar racionalmente os recursos da Universidade no que se refere à aquisição de solventes e ao tratamento de resíduos gerados por sua utilização. Caso a avaliação indique que os processos de recuperação de solventes são mais vantajosos, espera-se, ainda: i) sensibilizar a comunidade USP quanto à importância da recuperação de resíduos; ii) promover a reutilização de solventes; iii) minimizar os resíduos que são atualmente enviados para incineração e iv) incentivar o uso de materiais recuperados. Para tanto, divulgar-se-á, amplamente, esta iniciativa, pela publicação de artigos e apresentação de trabalhos em congressos nacionais e internacionais. Por fim, espera-se que os resultados obtidos fortaleçam o laboratório de tratamento de resíduos do IQUSP, que pretende se firmar como uma estrutura técnico-administrativa de gestão de resíduos químicos, ligada à administração do IQUSP e de toda a USP.

**Cronograma de execução**

Semestre	
1º	2º
Adequação do laboratório em termos de vidrarias e equipamentos.	Análise das frações obtidas.
Recuperação do Cromatógrafo Gasoso	Realização de balanço de massa.
Realização dos processos de tratamento de misturas de hexanos-acetato de etila e de ciclohexano-metanol.	Comparação de dados utilizando o programa ECOSOLVENT
Emissão de relatório	Publicação de resultados
	Emissão de relatório.

## Orçamento

Item	Custo estimado
Vidraria para aparelhagem de destilação (balão, colunas, tubo secante, condensador, funil de separação, erlenmeyers, béqueres, etc.)	8.000,00
Termômetros	500,00
Plataforma elevatória	100,00
Manta	1.000,00
Controlador de potência	1.000,00
Mangueiras	100,00
Reagentes (hidróxido de sódio e cloreto de cálcio para tubo secante)	1.000,00
Recursos analíticos (1HRMN, CGMS, densidade, índice de refração)	8.000,00
Recuperação/Modernização de um cromatógrafo gasoso	8.000,00
Gases para CG	2000,00
Inscrição em congresso	500,00
passagem	1.000,00
hospedagem	1.000,00
Equipamentos de Proteção Individual	8.000,00
Itens de segurança	8.000,00
Garras, mufas, presilhas	1000,00

## Referências Bibliográficas

- 1-a) S. M. De Conto; Gestão de Resíduos em Universidades; EDUCS, 2010; b) W. F. Jardim; Gerenciamento de resíduos químicos em laboratórios de ensino e pesquisa; Quím. Nova 1998, 21, 671.
- 2-a) A. I. Vogel; Química Orgânica. Vol. I, II e III 3. ed. São Paulo: Ao Livro Técnico-EDUSP, 1985.; b) I. Smallwood; Solvent Recovery Handbook. 1 ed. Great Britain: McGraw-Hill Inc, 1993.
- 3-L. H. ANDRADE et al; Bio-recycling of hexanes from laboratory waste mixtures of hexanes and ethyl acetate by ester biotransformation. A green alternative process. **Applied catalysis. B, Environmental**, Amsterdam, v. 59, p. 197-203, 2005.
- 4- P. B. Di Vitta, M. A. S. Garcia, K. M. Yoshimoto, L. C. Teruya, L. M. Rossi; resultados não publicados.
- 5- <http://www.epa.gov/compliance/nepa/index.html>
- 6-[Legislação Ambiental Básica - Brasil - CONAMA: www.cati.sp.gov.br/.../Resolucao%20CONAMA%20001\\_1986%20com%20alteracao%20Res%20CONAMA%20011\\_1986.pdf](http://www.cati.sp.gov.br/.../Resolucao%20CONAMA%20001_1986%20com%20alteracao%20Res%20CONAMA%20011_1986.pdf)
- 7- E. SILVA; Técnicas de Avaliação de Impactos Ambientais. Vídeo-curso, Viçosa: MG, [CPT - www.cpt.com.br](http://www.cpt.com.br), 1999, 64p.
- 8-B. W. Vigon, D. A. Tolle, B. W. Cornary, H. C. Lathan, C. L. Harrison, T. L. Bouguski, R. G. Hunt e J. D. Sellers; Life Cycle Assessment: inventory guidelines and principles, EPA/600/R-92/245, Cincinnati, U.S. Environmental Protection Agency, Risky Reduction Engineering Laboratory, 1993.
- 9-NBR ISO 14040. Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura, ABNT, São Paulo, Novembro 2001.
- 10-<http://www.pre.nl/content/eco-indicator-99>
- 11-<http://www.umwelt-schweiz.ch>
- 12-<http://www.earthshift.com/software/simapro/impact-assessment-methods>
- 13-<http://lca.jrc.ec.europa.eu/lcainfohub/tool2.vm?tid=209>
- 14-<http://www.lcait.com/>

15-<http://www.gabi-software.com/index.php?id=85&L=16&redirect=1>

16-[www.sust-chem.ethz.ch/tools/ecosolvent](http://www.sust-chem.ethz.ch/tools/ecosolvent)

17-[http://www.life-cycle.org/?page\\_id=125](http://www.life-cycle.org/?page_id=125)