

DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIAS AMBIENTALMENTE SAUDÁVEIS

Maria Lúcia Pereira da Silva*

Pesquisadora, malu@lsi.usp.br

Alexsander Tressino de Carvalho*

Mestrando, tressino@lsi.usp.br

Antonio Pereira do Nascimento Filho*

Doutorando, apnf@lsi.usp.br

Janaina Gameiro*

Doutoranda, janaina@lsi.usp.br

Roberto da Rocha Lima

Especialista, Instituto de Física/USP, Rua do Matão, travessa R 187, rrlima@if.usp.br

Rodrigo Amorim Motta Carvalho*

Mestrando, ramc@lsi.usp.br

** Escola Politécnica/USP, Av. Prof. Luciano Gualberto, 158, travessa 3, sala A1-46*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO

2. OBJETIVOS

3. METODOLOGIA

4. RESULTADOS

5. CONCLUSÃO

6. REFERÊNCIAS

RESUMO

O presente trabalho descreve uma linha de pesquisa, para o desenvolvimento de tecnologias limpas utilizando silício como precursor, para obtenção tanto de novos produtos como de novos processos, atualmente existente na Escola Politécnica da USP. Nesta pesquisa deseja-se produtos que apresentem versatilidade, ou seja, cuja aplicação atinja várias áreas do conhecimento e/ou do desenvolvimento tecnológico.

A linha de pesquisa em questão faz uso do conhecimento adquirido em outra áreas, tais como química analítica, microeletrônica, etc., na produção de novos processos e/ou produtos e o adapta para obtenção de produtos/processos advindos de compostos de silício.

Obteve-se novos filmes que garantem a modificação de superfícies de modo a favorecer ou impedir sua reação com novas substâncias ou mesmo permitir a compatibilização de superfícies quimicamente distintas. Assim, pôde-se obter, por exemplo, a modificação de papel de filtro, de modo a garantir a separação de água e álcool sem o uso de energia. Também foi possível proteger superfícies de celulose, de modo a impedir o ataque por microorganismo e ao mesmo tempo facilitar sua interação com água, aumentando a possibilidade de germinação. O desenvolvimento de novos sensores também foi abordado, obtendo-se estruturas pequenas (microestruturas) capazes de concentrar poluentes presentes em ambiente gasoso. Por fim, o estudo da tecnologia agregada e a diminuição do consumo de insumos, principalmente água, permite correlacionar os novos processos e suas aplicações em grande escala. O desenvolvimento de software educacional permitiu visualizar como aplicar os conceitos de tecnologias mais limpas a outros processos que não os de silício. Até o presente momento, essa linha de pesquisa gerou como produtos: 5 patentes, 1 livro digital e um software educacional.

PALAVRAS-CHAVE

Software, tecnologia limpa, sensores, monitoramento ambiental, ecodesign.

1. INTRODUÇÃO

Os termos tecnologia limpa e tecnologia mais limpa são recentes, pois há menos de trinta anos a ONU, Organização das Nações Unidas, os adotou para descrever aquelas tecnologias capazes de produzir com pouco ou nenhum resíduo e/ou impacto ambiental. Do mesmo modo, ao produto formado por esta tecnologia é exigido que este seja ambientalmente correto – ou seja, não apresente risco para qualquer usuário durante todo seu ciclo de vida – e que o descarte seja possível e eficiente nos requisitos de consumo de energia. Tecnologia limpas, deve-se salientar, não significam tecnologias sofisticadas ou adequadas a um nicho muito específico de mercado. Via de regra, tecnologias limpas são aquelas baseadas em matéria-prima renovável, muitas vezes de origem biológica, o que facilita o descarte do produto após o uso. Pode-se citar como exemplo de tecnologia limpa o uso de pipoca, em lugar de isopor, como amortecedor de impacto nas embalagens de produtos frágeis. Esse recurso é muito usado na exportação para países europeus. Apesar de recente, as tecnologias limpas foram consideradas pela ONU como as mais adequadas para serem absorvidas pelos países do terceiro mundo e também para diminuir o fosso (*gap*) tecnológico em relação aos países do primeiro mundo.

A atual tendência de desenvolvimento na área química aponta para a utilização de processos que emitam menos poluentes, pelo uso dos chamados “equipamentos verdes” [i, ii, iii]. De modo geral, a obtenção de equipamentos de menor impacto ambiental significará menor custo de tratamento de efluentes e, portanto, maior ganho de produtividade. Assim, uma das áreas da ciência a se beneficiar diretamente do desenvolvimento de tecnologias limpas é a área de Química. A Química do Silício, por sua vez, apresenta como uma de suas principais características o fato que os compostos formados - após a parte inicial de extração da matéria-prima e obtenção dos produtos primários - apresentam grande variedade de propriedades e baixo impacto ambiental. Deste modo, os silicones, deverão substituir grande parte dos compostos orgânicos, advindos do petróleo, nas próximas duas décadas.

Dentre os setores produtivos pertencentes à área da Química do Silício, a Microeletrônica tem-se destacado pelo desenvolvimento de tecnologias mais limpas. Assim, a adaptação dos processos de produção desenvolvidos pela área de Microeletrônica pode colaborar com o desenvolvimento de tecnologias limpas em outras áreas do conhecimento, especialmente no que concerne à deposição química a vapor enriquecida por plasma (PECVD) que permite obter, além de filmes muito finos, compostos que de outro modo não poderiam ser sintetizados [iv], com reações rápidas e sem os problemas associados com o descarte de efluentes químicos [v]. Essa tecnologia utiliza não só compostos de silício mas também polímeros orgânicos, o que já levou à idéia do “papel eletrônico” [vi].

Por fim, quando se discute o uso de tecnologias limpas, torna-se imprescindível uma visão sistêmica do processo. Portanto, todos os desenvolvimentos devem ser adequados a um novo paradigma industrial, onde as empresas analisam continuamente seus processos, para uso racional dos recursos e diminuição da formação de resíduos. Igualmente, seus potenciais impactos ambientais devem ser avaliados e minimizados. Ou seja, deve-se considerar os desenvolvimentos dentro da óptica da Ecologia Industrial e, considerando o alto valor agregado dos produtos da área de eletroeletrônicos, a Microeletrônica – empresa da base deste setor – é muito atraente para este desenvolvimento.

2. OBJETIVOS

O presente trabalho descreve uma linha de pesquisa, para o desenvolvimento de tecnologias limpas e utilizando silício como precursor, para obtenção tanto de novos produtos como de novos processos. Nesta pesquisa deseja-se produtos que apresentem versatilidade, ou seja, cuja aplicação atinja várias áreas do conhecimento e/ou do desenvolvimento tecnológico.

3. METODOLOGIA

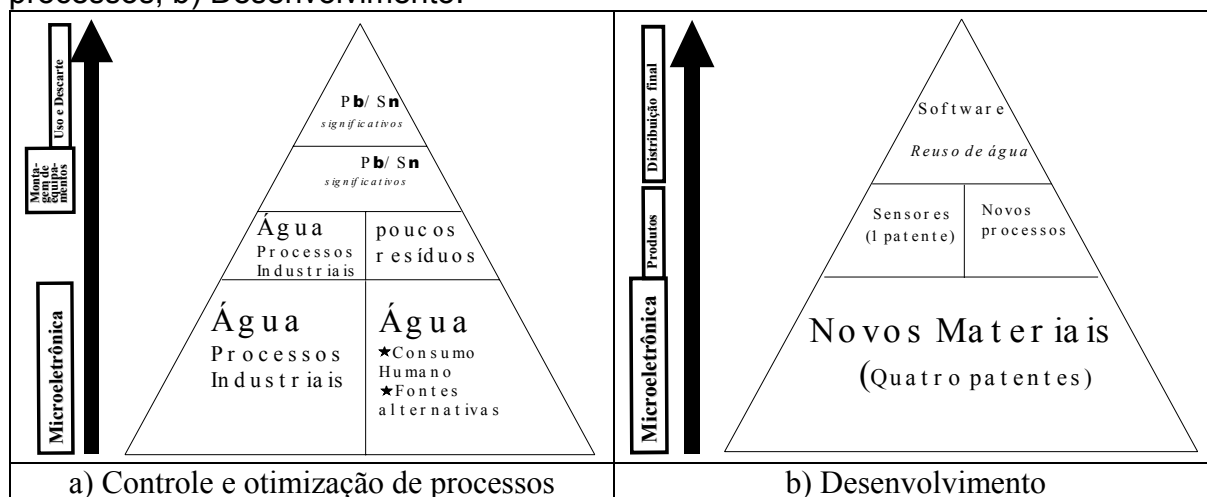
Para determinar as questões ambientalmente significativas a serem abordadas, as seguintes etapas foram seguidas:

- Definiu-se duas estratégias de ação: 1) para a tecnologia já existente, encontrar pontos para atuar no controle e otimização de processos; 2) para novas tecnologias, atuar no desenvolvimento de novos materiais.
- Para o controle e otimização de processos, definiu-se os principais segmentos da cadeia produtiva e, para cada um destes, os impactos ambientais mais significativos. Cada impacto foi, então, estudado separadamente.
- Para desenvolvimento, nos principais segmentos da cadeia produtiva definiu-se novos materiais para serem obtidos, verificando-se, também, possibilidades de uso destes materiais em outros setores produtivos.
- Por fim, para garantir que a transferência de tecnologia fosse eficiente e também colaborasse com implantação de sistemas de gestão ambiental em empresas com características semelhantes às estudadas, um software educacional, sobre educação ambiental, foi desenvolvido.

4. RESULTADOS

A utilização da metodologia acima proposta, permitiu determinar alguns impactos ambientais e/ou necessidades a serem abordados. Esses pontos, os respectivos segmentos, bem como os principais resultados obtidos, encontram-se esquematizados na Figura 1.

Figura 1. Impactos ambientais e/ou necessidades, respectivos segmentos do setor de eletroeletrônicos e principais resultados obtidos para a) Controle e otimização de processos, b) Desenvolvimento.



Assim, quanto ao controle e otimização de processos, pode-se considerar os segmentos mais importantes como:

- No início e meio da cadeia: microeletrônica, que produz os circuitos integrados; outros componentes, que advêm de segmentos com menores restrições tecnológicas e que produzem as placas de circuito, partes e peças, etc., necessárias à montagem de equipamentos. Nestes dois segmentos a influência de processos químicos é grande. Aqui o impacto ambiental de grande importância é o consumo de água; este consumo, apesar de ser intenso em processos industriais também advém de consumo humano, porque, principalmente para o setor de circuito impresso, o uso de mão-de-obra é intenso.

Portanto, uma proposta para diminuição desse impacto é, além do desenvolvimento de programas de minimização de consumo e reciclagem, a procura de fontes alternativas, especialmente para o estado de São Paulo, onde a água consumida deve caminhar longas distâncias antes de sua utilização. Muito embora resíduos sólidos sejam produzidos, principalmente pelo tratamento de água residuária da microeletrônica ou circuito impresso, estes encontram-se em menor proporção.

- No meio e fim da cadeia: a montagem de equipamentos, um segmento de caráter eletrônico não químico, facilita a produção de resíduos sólidos, principalmente por erros de fabricação, que geram refugos. Além do refugo eletrônico, o descarte após o uso também gera resíduos sólidos em grandes proporções. Neste resíduo, há a presença de compostos orgânicos e inorgânicos. Os compostos orgânicos, como por exemplo placas para fabricação de circuito impresso, via de regra tem um impacto ambiental menor que os inorgânicos, porque nestes encontram-se metais pesados. Dentre os metais pesados, merece maior atenção a liga estanho-chumbo (Sn/Pb) utilizada para fabricação de soldas. Pode-se ter contato com esta liga facilmente, pelo modo de fabricação atual dos produtos eletrônicos; por outro lado, descarte incorreto favorece a contaminação do solo com tais metais. Como chumbo é um metal pesado bastante tóxico, esse é o impacto significativo a ser considerado prioritariamente.

Para o item desenvolvimento, os segmentos mais importantes encontrados foram:

- No início da cadeia: a microeletrônica depende, para manter o círculo virtuoso de desenvolvimento que vem garantindo lançamentos de novos produtos rapidamente, de melhoria dos seus processos atuais e do desenvolvimentos de novos materiais. Nesse particular aspecto foi estratégia desse trabalho privilegiar o desenvolvimento de novos materiais, o que gerou quatro patentes. Esta escolha deve-se à pequena quantidade de empresas de microeletrônica do país (apenas três e instaladas próximo à cidade de São Paulo) aliado ao alto custo necessário para o desenvolvimento de toda uma nova linha de processo. Estes novos materiais foram testados em várias áreas de produção, além do setor de eletroeletrônico.
- No meio da cadeia: os produtos desenvolvidos pela microeletrônica ou através dela, por sua vez, espalham-se por todas as áreas de produção, sendo necessário definir um nicho para estudo. Este trabalho definiu duas áreas: sensores químicos e novos processos. Para sensores químicos, interessa apenas o desenvolvimento de pré-concentradores, por serem estes fundamentais para a melhoria ambiental e para o barateamento das análises químicas. Um primeiro pré-concentrador já foi obtido [vii]. Para novos processos interessa tornar os atuais processos mais baratos pelo uso da produção em fluxo contínuo, conhecida como roll-to-roll, neste último caso torna-se necessário a mudança do substrato, que deve ser flexível, o que não ocorre com o silício.
- Por fim, software para ensino de controle de resíduos e reuso de água foi desenvolvido, para permitir que todos os trabalhos anteriormente descritos possam ser macroscopicamente unidos.

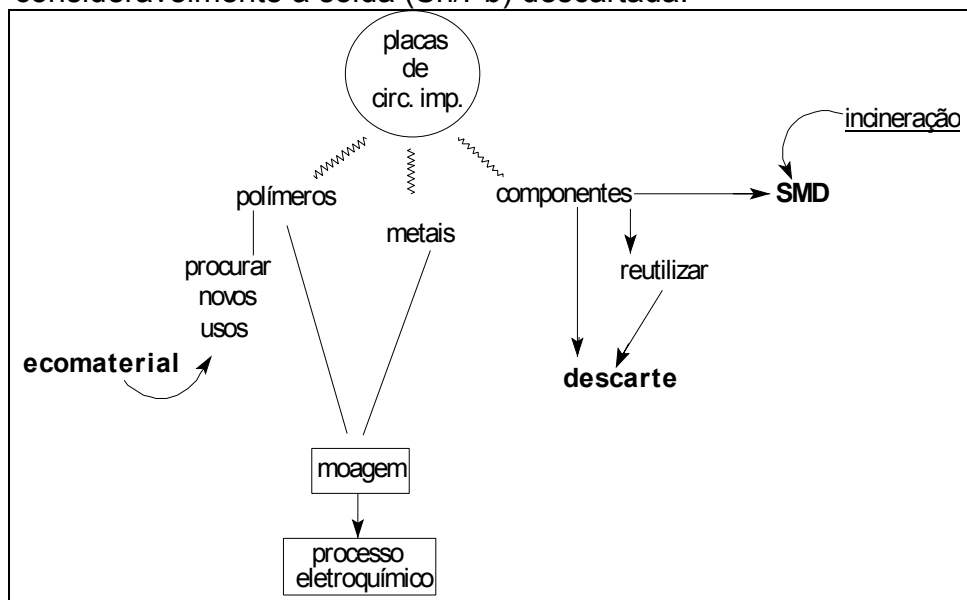
Assim, uma vez escolhido os temas de estudo, os principais resultados são descritos a seguir.

4.1. Controle e Otimização de Processos

Como abordado anteriormente, dividiu-se a questão em dois pontos fundamentais: o consumo, principalmente de água, nas indústrias de Microeletrônica – que correspondem à base da cadeia produtiva – e de solda de Sn/Pb nos equipamentos eletrônicos.

Para o estudo de consumo de solda [viii] avaliou-se o caminho desta, desde a fabricação do bem de consumo até o descarte. Observou-se que o controle desse produto, no qual o Brasil não é auto-suficiente, pode ser feito de modo simples e, portanto, um modelo para tal reaproveitamento foi proposto, como pode ser visto no esquema da Figura 2.

Figura 2: Esquema de reciclagem para equipamentos eletrônicos que permite recolher consideravelmente a solda (Sn/Pb) descartada.



Para análise dos processos químicos nas empresas de Microeletrônica, definiu-se o Estado de São Paulo como estudo de caso, pois nesse estado encontram-se as três empresas existentes no país [ix]. Para esse estudo¹ utilizou-se a metodologia dos 3 R's (reduzir, reciclar, reutilizar) e iniciaram-se os trabalhos listando-se os principais processos químicos, bem como insumos e resíduos, das três empresas do estado de São Paulo, e verificando-se possíveis mudanças para minimização de consumo, ou formação de resíduos. Para a água, o principal insumo, a partir da identificação das operações unitárias, o consumo de cada processo foi medido e métodos de minimização de uso e/ou reciclagem foram estudados em laboratório. Foram descritos métodos de teste desses novos processos e aplicados em escala piloto e essas descrições foram usadas para treinamento dos operadores. Os resultados obtidos demonstram que, para duas empresas, é possível chegar próximo à condição de *emissão zero*; além disso, especificamente para a água, a montagem de ecossistemas industriais garante total reciclagem da água residuária.

Foi possível observar também que o consumo intenso de água dá-se não só nos processos de lavagem e/ou processamento de lâminas, mas também por via indireta, na diluição de reagentes. Assim, o reaproveitamento de reagentes líquidos é uma fonte de melhoria econômica e ambiental. Essa melhoria também exige a existência de ecossistemas industriais. Foram propostas opções de prevenção que levam à diminuição de consumo em até 60%, com o retorno do investimento ocorrendo em menos de dois anos.

É interessante observar que as propostas de minimização de consumo de água encontradas para uma empresa de alta tecnologia, como é a Microeletrônica, são bastante similares às propostas, em outro trabalho, para a área de circuito impresso [x]. Deste modo, evidencia-se a importância de ecossistemas no próprio setor de eletroeletrônico, já que estes favorecem as trocas de informações.

¹ Este trabalho contou com a ajuda de E. Oliveira, IQUSP

Por fim, as dificuldades de minimização do consumo de água em atividades ligadas ao fator humano, sugerem ciclos internos mais fechados, onde a água residuária, após tratamento, é utilizada em vasos sanitários, o que é uma opção econômica e ambientalmente correta [xi, xii].

Quanto ao uso de fontes alternativas de energia, estudou-se o uso de água da chuva [xiii, xiv]. Atualmente esse recurso é usado pela Carrier, fabricante de ar condicionado do sul do país, e é responsável pela economia de água equivalente ao consumo de 700 residências. Foi possível constatar que o recolhimento de 80 litros/residência de água durante as chuvas de verão na cidade de São Paulo pode evitar enchentes. Por outro lado, empresas de pequeno porte podem, com investimentos da ordem de R\$ 7.000,00 diminuir o consumo de água para processos industriais, com um retorno de investimentos em menos de um ano.

A utilização de resíduos sólidos, por estes conterem silício de alta pureza, exige o desenvolvimento de novos processos de purificação, como já ocorre nos EUA.

Deve-se salientar que seria útil transferir o conhecimento adquirido para empresas semelhantes. Como observou-se que a maior dificuldade encontra-se na resistência à mudança que as pessoas apresentam, desenvolveu-se *software* educacional que explica os possíveis usos da água. Esse *software* é qualitativo e possui linguagem adequada mesmo a um usuário de nível médio e com pouca familiaridade com informática, como os testes de campo demonstraram.

4.2. Desenvolvimento

Quanto ao desenvolvimento de novos materiais, deve-se considerar que há várias décadas a Microeletrônica desenvolve a deposição de camadas muito finas, denominadas filmes finos, da ordem de dezenas de nanômetros. Filmes finos podem ser usados para modificação superficial para permitir, essencialmente, que a superfície mude sua reatividade, para mais ou para menos, em relação ao meio ambiente. Essa mudança da reatividade pode permitir tanto a fabricação de catalisadores quanto a compatibilização entre superfícies ou a proteção à oxidação.

Para obter a proteção ou o favorecimento da oxidação da superfície, deve-se produzir superfícies hidrofóbicas ou hidrofílicas, respectivamente. Na Microeletrônica e óptica, organo-silanos são usados para modificação superficial por uma série de vantagens, tais como facilidade de manipulação, baixo custo e baixa toxicidade [xv, xvi]. Dois organo-silanos foram utilizados, TEOS (tetraetilortossilicato) e HMDS (hexametildissilazana) [xvii] para aumentar ou diminuir o caráter hidrofílico de superfícies, respectivamente.

Utilizando-se HMDS foi possível modificar a superfície de papel, tornando-o hidrofóbico, portanto resistente à umidade, com afinidade por hidrocarbonetos, portanto útil no desenvolvimento de sistemas de adsorção [xviii, xix] o que permite a separação de água e 2-propanol sem gasto de energia. O filme formado é resistente à corrosão por ácidos e bases, o que o torna adequado ao desenvolvimento de sensores ou a proteção de qualquer substrato ligno-celulósico, como grãos de consumo humano [xx, xxi]. A polimerização por plasma desse composto [xxii] permite a obtenção de filmes que, pelo controle dos parâmetros de processo [xxiii], podem ser aderentes a vários substratos distintos. Testou-se, no presente caso, também alumina e polipropileno, ocorrendo aderência em todos os casos. Para o polipropileno, foi possível diminuir a degradação por exposição à radiação ultravioleta [xxiv]. Na alumina, o filme possibilitou a dispersão do pó em solvente orgânico [xxv].

A Figura 3 mostra grãos de feijão que foram recobertos pelo filme formado a partir de HMDS e posteriormente foram expostos a um ambiente saturado por vapor de água e com capacidade de ataque por microrganismos. É possível notar que os grãos não tratados apresentam uma camada branca, advinda do ataque microbiano.

Figura 3. Comparação da aparência de feijão tratado (direita) e não tratado (esquerda), mantido por uma semana em ambiente saturado de água.

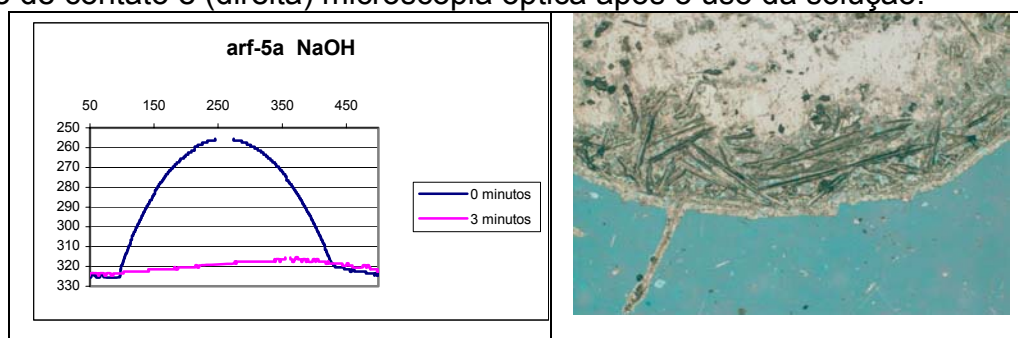


É útil observar que desenvolvimento aqui tem um conceito amplo, ou seja, cria-se um novo material, testam-se suas propriedades e verifica-se em laboratório suas possíveis utilizações, tentando-se a *versatilização* do produto inicialmente obtido, um dos preceitos das tecnologias limpas.

O uso de TEOS é comum para deposição de filmes de óxido de silício [xxvi]. Neste trabalho o reagente foi utilizado para obter filmes com características das mais diversas.

Foi desenvolvido um filme que apresenta caráter hidrofóbico mas reação rápida com água, ácidos e bases. O caráter hidrofóbico impede o ataque de microrganismos em condições normais de armazenamento e a reação com água favorece a germinação. A Figura 4 apresenta o perfil de uma gota de uma solução fortemente básica (NaOH) colocada sobre a superfície. A variação do formato da gota deve-se à reação de superfície, como pode ser visto na fotografia da Figura 4. Nesta foto nota-se que o filme, de cor azulada, foi removido na região da gota e o substrato, de cor cinza, foi exposto.

Figura 4: Polimerização de TEOS a 200 mTorr, 200 W: (esquerda) Medidas de ângulo de contato e (direita) microscopia óptica após o uso da solução.



O filme foi depositado sobre feijão e o ataque por microrganismos foi impedido, de modo semelhante ao que ocorre pelo uso de HMDS, mas por menor prazo. A Figura 5 mostra a diferença entre os grãos tratados e não tratados.

Figura 5. Superfície de grãos, (esquerda) não depositados e (direita) com deposição por TEOS, após serem mantidos dez dias em atmosfera saturada de vapor de água.



Como o filme não impede a entrada de água, torna-se ideal para hidrofilição de madeira ou o aumento da germinação. Testes preliminares demonstraram que o filme favorece a germinação dos grãos de feijão [xxvii, xxviii, xxix]. Nos testes preliminares foi possível germinar 95% dos grãos e esta germinação ocorreu em um tempo 50% inferior ao necessário para os grãos sem tratamento. Portanto, este filme pode ser muito útil para desenvolver novas sementes, mais resistentes ao ataques de microrganismo durante o período de armazenamento ou de latência, após o plantio. Outra possibilidade de uso é a germinação em solos áridos, onde ocorre dificuldade de irrigação, já que a semente pode ser plantada juntamente com a adição de pedra calcária para correção do solo. Quando irrigação ou a chuva ocorrer, a variação de pH ocasionada pela pedra calcária irá reagir com o filme. Por fim, a facilidade do filme reter água promove a rápida germinação. Filmes sensíveis à umidade são importantes para o desenvolvimento de sensores [xxx], o que atualmente encontra-se em teste, com resultados promissores. Por fim, como o filme também demonstrou proteção contra a luz ultravioleta [xxxi] outras utilidades podem ser propostas, para uso em ambientes mais agressivos.

É importante salientar que a grande vantagem os organo-silanos fica aqui evidenciada. A composição do filme muda pouco de substrato para substrato e a adesão é possível em quase todas as superfícies. Porém, uma diferença fundamental entre os dois compostos é que o primeiro produz filmes cuja interação ocorre apenas na superfície [xxxii], enquanto o segundo é uma membrana seletiva, já que permite que os reagentes atinjam o substrato.

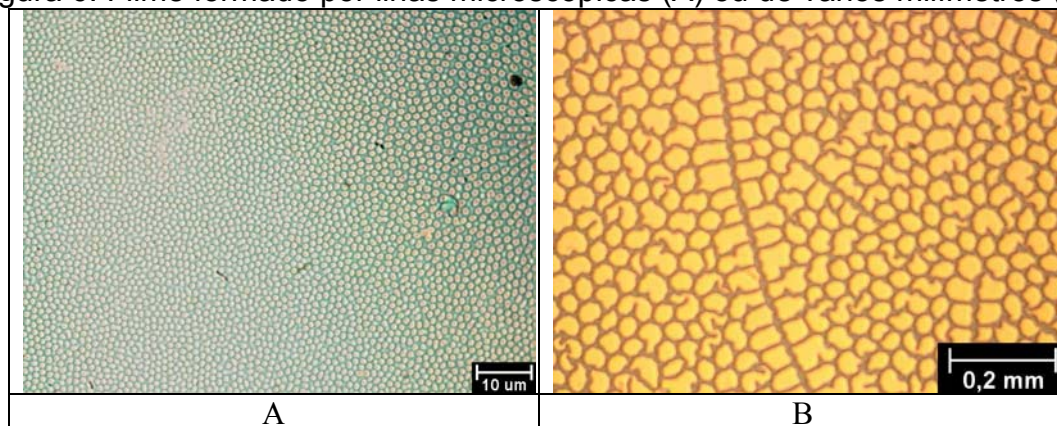
Por fim, considerando-se que os filmes a base de silício não podem ser aquecidos a altas temperaturas, um filme fino de cobre depositado eletroquimicamente foi testado quanto à capacidade de adsorver compostos orgânicos, sendo, portanto, sensível a estas substâncias, e mostrou resultados promissores [xxxiii].

Membranas seletivas são importantes para uma série de aplicações, inclusive sensores. Foi possível obter uma membrana seletiva pelo uso para compostos orgânicos polares com a fabricação de um filme a base de 2-propanol [xxxiv]. Essas membranas podem ser usadas para desenvolvimento de novos processos e/ou equipamentos, uma possibilidade semelhante à encontrada para o filme de HMDS, ou seja a separação de compostos orgânicos da água sem gasto de energia. Muito embora seja possível construir estruturas muito pequenas em silício, o próximo passo tecnológico importante é garantir o baixo custo destas estruturas, obviamente aliado a um alto volume de produção. Neste contexto, polímeros orgânicos tornam-se atraentes. Atualmente alguns sensores, como por exemplo para testes de DNA [xxxv], são produzidos em substrato orgânico. Assim, os sensores, que podem ser melhor descritos como pertencentes à área dos atuadores, são bons exemplos de equipamentos verdes, pois estes são de dimensões bem reduzidas, da ordem de centenas de micrômetros, de baixo custo,

consomem menos insumos para sua produção e apresentam, geralmente, menor dificuldade para o descarte. Assim, desenvolvimento de microestruturas capazes de adsorver poluentes torna-se, então, uma alternativa de baixo custo para melhor controle de ambientes agressivos.

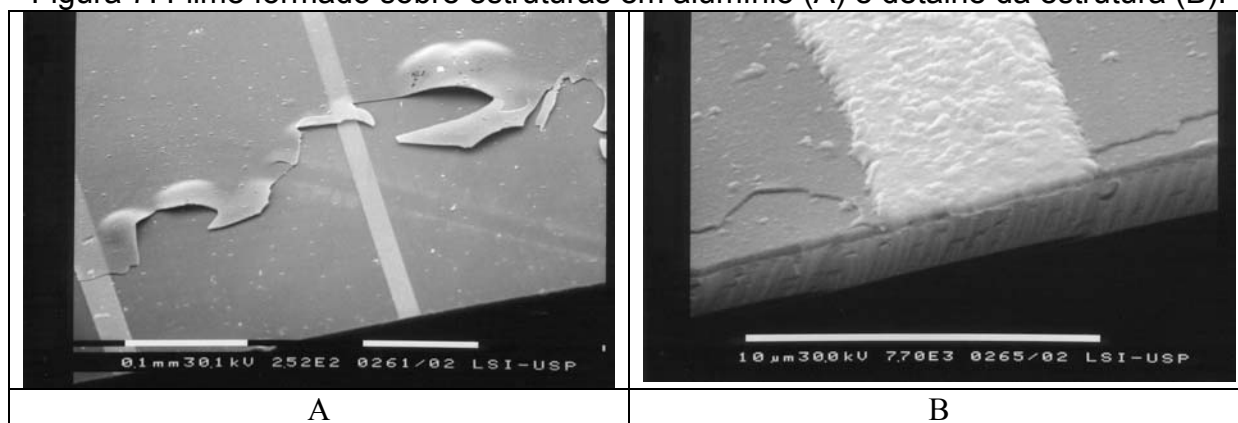
Filmes capazes de aderir em substratos orgânicos, a base de 2-propanol, como mencionado anteriormente, já foram desenvolvidos. Esses filmes podem ser produzidos em forma de gotas de dimensões variadas, desde microscópicas até vários milímetros, como mostra a Figura 6. Essas gotas, denominadas ilhas, podem pré-concentrar poluentes presentes no ambiente ou, eventualmente, na água. O formato de gota favorece o processo ao aumentar a área superficial.

Figura 6: Filme formado por ilhas microscópicas (A) ou de vários milímetros (B).



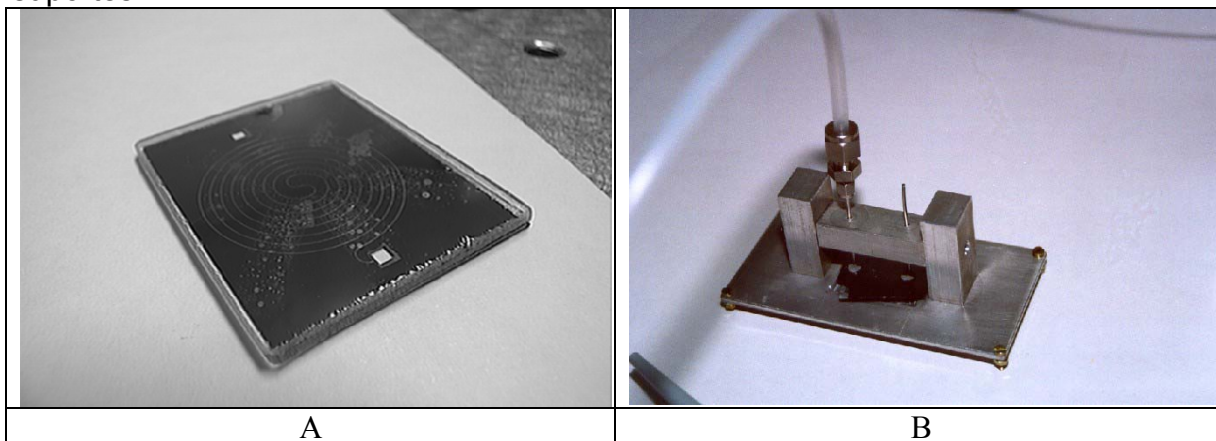
Filmes obtidos a partir de éteres e ésteres possuem propriedades químicas semelhantes aos obtidos a partir de 2-propanol; porém, estes filmes não são membrana seletivas. De modo semelhante aos filmes a base de HMDS a interação dos reagentes ocorre apenas na superfície. Assim, estruturas diferentes podem ser projetadas. A Figura 7 mostra o filme depositado sobre um estrutura de alumínio.

Figura 7: Filme formado sobre estruturas em alumínio (A) e detalhe da estrutura (B).



A pré-concentração de substâncias para posterior análise, apesar da importância, pois permite o uso de detectores de baixo custo, tem sido pouco desenvolvida até o momento. O primeiro pré-concentrador construído nesta linha de pesquisa ^[xxxvi] ainda em silício, foi capaz de remover compostos orgânicos voláteis (VOC's) do ambiente^[vii]. A Figura 8 mostra a estrutura de pré-concentração e o pré-concentrador desenvolvidos.

Figura 8: estrutura de (A) pré-concentração e (B) pré-concentrador preso em suportes.



Por fim, como o trabalho almeja ser sistêmico, um *e-book* relacionado aos principais resíduos encontrados nas indústrias do setor eletroeletrônico, e dando especial ênfase à utilização de água, foi providenciado. Este *e-book* correlaciona-se também ao software anteriormente mencionado, o que o torna ideal para criar o tecido de interação entre todos os desenvolvimentos anteriormente citados.

5. CONCLUSÃO

Nos últimos anos para as empresas a preocupação com o meio ambiente deixou de ser uma questão de conformidade legal para tornar-se uma estratégia de sobrevivência. Assim, neste começo de século as empresas trocaram suas posições francamente reativas, comuns na década de 70 e 80, para posições pró-ativas. Essa nova postura exige, por sua vez, novos processos produtivos – que garantam maior atuação do indivíduo no processo de obtenção de um produto, seja ele virtual ou real, serviço ou bem de consumo de alto valor agregado; que sejam limpos e ambientalmente seguros.

Esse trabalho demonstrou que, para o setor eletroeletrônico, existem segmentos onde o impacto ambiental pode ser significativamente reduzido, quer seja pelo desenvolvimento de novos produtos ou processos, quer seja pela melhoria dos existentes. Assim, com a minimização do consumo de água e procura de fontes alternativas, aliada ao desenvolvimento de ecossistemas industriais, pode-se chegar perto da emissão zero para muitas empresas envolvidas no setor. Do mesmo modo, desenvolvimento de produtos utilizando reagentes ambientalmente corretos pode criar novas e interessantes rotas de produção. Assim, produção de novos filmes, projetados para mudar drasticamente as propriedades da superfície, garantindo a proteção – impedindo a corrosão de partes e peças expostas a ambiente químico agressivo, facilitando a reação – possibilitando a adsorção de compostos, ou compatibilizando superfícies quimicamente distintas, é uma das rotas mais promissoras..

A preocupação com o conjunto, ou seja, da produção do filme sensor ao controle de processo, fechando todo o ciclo produtivo, é característica do conceito de tecnologias limpas e mais limpas e das estratégias de desenvolvimento da produção limpa.

Diminuindo-se o consumo de matéria prima bem como diminuindo a produção de resíduo, e, portanto, diminuindo a necessidade de descarte, obtém-se uma gestão ambiental por programas, que garante lucros diretos e indiretos significativos.

Portanto, pesquisa e desenvolvimento na área de tecnologias limpas pode gerar lucros sociais diretos e indiretos, publicações, patentes, teses, etc., bem como formar profissionais adaptados ao terceiro milênio.

6. REFERÊNCIAS

- ⁱ CHEYNEY, T: Evolution to Green, Micro, jan (1997) 10.
- ⁱⁱ DEJULE, R: Kudos to suppliers' New "Green" Machines, Semiconductor Int., fev (1997) 15.
- ⁱⁱⁱ Chip makers respond EPA program to reduce emissions, Semiconductor Int., aug (1996) 29.
- ^{iv} WOLF, S. Silicon processing for VLSI era. Sunset Beach, Tattice Press, v.1: Process technology, (1990).
- ^v COBURN J. W., Surface Processing With Partially Ionized Plasmas. IEEE Trans. Plasma Sci. 19(6) 1048, (1991).
- ^{vi} ROGERS, J. A, BAO, Z., BALDWIN, K., DODABALAPUR, A., CRONE, B., RAJU, V. R., KUCK, V., KATZ, H., AMUNDSON, K., EWING, J., DRZAIC, P., Paper-like electronic displays: Large-area rubber-stamped plastic sheets of electronics and microencapsulated electrophoretic inks, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 98: (9) 4835 APR 24 (2001).
- ^{vii} SOUZA, S. G., GALEAZZO, E., SILVA, M. L. P., FURLAN, R., FERNANDEZ, F. J. R., Micromechanical structures development for chemical analysis: study of the porous silicon as adsorbent, SPIE, outubro (1999), artigo 3891-43.
- ^{viii} GAMEIRO, J., CASSIANO, M. R., SILVA, M. L. P., A necessária reciclagem de produtos eletrônicos IPESI 38 (1999).
- ^{ix} GAMEIRO, J., Tecnologias limpas e mais limpa aplicadas à Microeletrônica, Dissertação, EPUSP, (2002).
- ^x SILVA, M. L. P., Diminuição de resíduos na área de circuito impresso, Boletim da Fundação Vanzolini, jan/fev (1997) 16.
- ^{xi} GAMEIRO, J., Água usada ainda pode ser útil, PEGN, 64, agosto (2002).
- ^{xii} Ecossistemas industriais, Notícias FIESP/CIESP, 6, 15-17 (2002).
- ^{xiii} MARCUZZO, J. S., Uso racional de água, Monografia, FATEC (2001).
- ^{xiv} "Capital pode economizar 70% da água com reuso da chuva", Gazeta Mercantil, 21/6, 1 (2001).
- ^{xv} HEYNER, R., MARX, G., High power deposition and analytics of amorphous silicon carbide films, Thin Solid Films 258 14-20(1995).
- ^{xvi} CAUCHETIER, M., HERLI, N., LUCE, M., Nanocomposite Si/C/N powder production by laser-aerosol interaction, J. Am. Ceram. Soc. 77, 4 993-998(1994).
- ^{xvii} ROTH, J. R., Industrial Plasma Engineering. Inst. of Physics Publishing, Londres, (1995).
- ^{xviii} Patente "Processo de deposição química a vapor para a hidrofobização de papel" INPI 9903097-7
- ^{xix} Patente "Processo de fabricação de membranas seletivas e material adsorvente, para compostos orgânicos em água, a partir da hidrofobização de fibras ligno celulósicas" INPI Nº.001529
- ^{xx} CARVALHO, A. T., Produção de filme hidrofóbico para proteção de superfícies, Monografia, FATEC (2002).
- ^{xxi} CARVALHO, A. T., CARVALHO, R. A. M., SILVA, M. L. P., DEMARQUETE, N. R., ASSIS, O. B. G., Tratamento de grão por técnica de plasma a frio,. Biotecnologia, Ciência & Desenvolvimento, 28 (set/out) 22-25 (2002).
- ^{xxii} NOGUEIRA, S., Caracterização de Filmes Obtidos a Partir da Deposição por Plasma de Hexametildissilazana, Dissertação, EPUSP (2000).

-
- ^{xxiii} NOGUEIRA, S., SILVA, M. L. P., TAN I. H., Use of hexamethyldisilazane for obtaining modified silicon oxide films, ISPC-14 Symposium proceedings, 1393 (1999).
- ^{xxiv} HERNANDEZ, P. O., CARVALHO, A. T., SILVA, M. L. P., DEMARQUETTE, N. R., Utilização da técnica de *intermixing* para filmes obtidos com HMDS, Boletim técnico da FATEC, BT 13, 43 (2002).
- ^{xxv} PEREIRA, G. J., SILVA, M. L. P., TAN, I. H., GOUVEA, D., Modification of surface properties of alumina by plasma treatment, J. Mat. Chem., 1-3 (2000) 1.
- ^{xxvi} LIEBERMAN M. A., LICHTENBERG, A. J., Principles of Plasma Discharges and Materials Processing. J. Wiley & Sons, Inc., New York, (1994).
- ^{xxvii} CARVALHO, R. A. M., Produção de filme hidrofílico para proteção de superfícies, Monografia, FATEC (2001).
- ^{xxviii} CARVALHO, R. A. M., SILVA, M. L. P., DEMARQUETTE, N. R., Uso da polimerização por plasma de TEOS para a proteção de superfície: deposição em feijões, Boletim técnico da FATEC, BT 12, 2 (2001).
- ^{xxix} CARVALHO, R. A. M., CARVALHO, A. T., SILVA, M. L. P., DEMARQUETTE, N. R., ASSIS, O. B. G., Improvement of the hydrophilicity of lignocellulosic surface by TEOS cold-plasma technique: potential applications on accelerating seed germination, a ser publicado.
- ^{xxx} CARVALHO, R. A. M., SILVA, A. N. R., SILVA, M. L. P., Uso da polimerização de TEOS para produção de sensores de umidade, Boletim técnico da FATEC, BT 13, 52 (2002).
- ^{xxxi} CARVALHO, R. A. M., SILVA, M. L. P., SILVA, A. N. R., Study of the Polymerization of Tetraethylorthosilicate (TEOS) – Applications as humidity sensors and ultraviolet protection layers, Tenth Int. Conference on Composites/nano engineering, New Orleans, oral presentation.
- ^{xxxii} SILVA, M. L. P., TAN, I. H., GALEAZZO, E., Use of plasma polymerized highly hydrophobic hexamethyldissilazane (HMDS) films for sensor development, Sensors & Actuators, B91 362-369 (2003).
- ^{xxxiii} CARVALHO, A. T., SILVA, M. L. P., SANTOS, S. G., Caracterização das propriedades de filmes finos de cobre, Boletim técnico da FATEC, BT 13, 44 (2002).
- ^{xxxiv} NASCIMENTO, A. P., SILVA, M. L. P., GALEAZZO, E., DEMARQUETTE, N. R., Use of plasma polymerized highly polar organic compound films for sensor development, Sensors & Actuators, B91 370-377 (2003).
- ^{xxxv} LEE, G.B., CHEN, S.H., HUANG, G.R., SUNG, W.C., LIN, Y.H., Microfabricated plastic chips by hot embossing methods and their applications for DNA separation and detection, Sensors and Actuators B-Chemical, 75 (1-2), (2001) 142.
- ^{xxxvi} SILVA, M. L. P., FURLAN, R., Célula de adsorção de compostos orgânicos e respectivo processo de obtenção, processo USP de 02/09/98 no. 98.1.2275.3.0 e depósito de patente a 14/07/99 no. 002650.