

## Faça você mesmo: Placas de circuito impresso de dupla face usando método fotográfico

*Do-It-Yourself: Dual-Sided Printed Circuit Boards Using Photographic Method*

Leduc Hermeto de Almeida Fauth

*Instituto de Pesquisas da Marinha Rua Ipirú, 2 - Ilha do Governador, Rio de Janeiro - RJ - Brasil, CEP: 21931-090 e  
Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas Rua Dr. Xavier Sigaud,  
150 - Urca - Rio de Janeiro - RJ - Brasil - CEP:22290-180*

Edgar Monteiro da Silva

*Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca - CEFET Av. Maracanã,  
229 - Maracanã, Rio de Janeiro - RJ - Brasil, CEP: 20271-110*

Pablo Diniz Batista

*Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas Rua Dr. Xavier Sigaud,  
150 - Urca - Rio de Janeiro - RJ - Brasil - CEP:22290-180*

*Submetido em 04/04/16 Aceito: 06/03/17\**

**Resumo:** Em geral, a necessidade de fabricar um protótipo em uma placa de circuito impresso surge frequentemente em instrumentação científica, particularmente em áreas tais como o desenvolvimento de circuitos eletrônicos para condicionamento de sinal, sensores, microcontroladores, soquetes para componentes etc. Todavia, mesmo que atualmente o acesso à fabricação de protótipos de alta qualidade esteja disponível a partir de diversos serviços fornecidos por empresas comerciais e até mesmo por instituições de pesquisa, nota-se que um acesso a um processo de fabricação de protótipos de baixo custo ainda se torna relevante para um laboratório de pesquisa envolvido com instrumentação científica. Nesse artigo, apresentaremos uma metodologia para a fabricação de placas de circuito impresso de duas camadas utilizando um método fotográfico a partir de um filme sensível à luz ultravioleta. Como aplicação será apresentada a fabricação de uma placa de um circuito eletrônico para o condicionamento do sinal de um fotodetector. A ideia principal desse trabalho é sistematizar e avaliar os diversos procedimentos utilizados no dia-a-dia para a fabricação de placas de circuito impresso. Em geral, esses procedimentos estão disponíveis de maneira fragmentada em sites na internet.

**Palavras chave:** placa de circuito impresso, fotodetector, condicionador de sinais, instrumentação científica, dryfilm.

**Abstract:** In general, the need to manufacture a prototype on a printed circuit board often comes up in scientific instrumentation, particularly in areas such as development of electronic circuits for signal conditioning, sensors, microcontrollers, sockets for components, etc. However, even though access to high-quality prototype fabrication is currently available from a variety of services provided by commercial companies and even by research institutions, it is noted that access to a low-cost prototype manufacturing process becomes relevant to a research laboratory involved with scientific instrumentation. In this paper, we will present a methodology for the manufacture of two layer printed circuit boards using a photographic method from an ultraviolet sensitive light source. As an application will be presented the fabrication of a board of an electronic circuit for the conditioning of the signal of a photodetector. The main idea of this work is to systematize and evaluate the various procedures used in the day-to-day for the manufacture of printed circuit boards. In general, these procedures are available in a fragmented way on websites.

**Key-words** Do-It-Yourself, DIY, Dryfilm, PCB fabrication.

## 1. INTRODUÇÃO

A Sociedade Brasileira de Física encomendou ao Centro de Gestão e Estudos Estratégicos um estudo para investigar os desafios que a Física brasileira enfrentará na próxima década [1]. De acordo com este estudo apresentado em 2012 acredita-se que a Física tenha um papel preponderante em áreas estratégicas para o Brasil, como, por exemplo, nuclear, defesa, aeroespacial, agronegócio, saúde, energia, meio ambiente. Entretanto, são vários os gargalos científicos e tecnológicos brasileiros, como, por exemplo, necessidade de melhoria em educação científica, formação universitária, infraestrutura de pesquisa, instrumentação científica e marco legal de Pesquisa e Desenvolvimento [2]. A instrumentação científica e os laboratórios multiusuários foram apontados como os principais gargalos, ambos importantes para aumentar as interações com o setor empresarial e incentivar a produção de tecnologia.

Outros fatores identificados no estudo foram a ausência de grupos de pesquisa ou empresas que fabriquem equipamentos no Brasil, custos proibitivos de importação desses equipamentos e falta de recursos humanos adequados para modificá-los ou adaptá-los quando necessário. Há também uma preocupação com o fortalecimento da formação dos físicos para atuação no setor empresarial. Dentro dessa perspectiva, desde 2010 o LEPS<sup>1</sup> vem procurando estruturar suas instalações no Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas tendo como objetivo o desenvolvimento tecnológico e a pesquisa científica na área de Instrumentação Científica com ênfase em Física Experimental.

A criação de placas de circuito impressos, em inglês (PCB), é uma parte indispensável na indústria de eletrônicos [3], sendo fundamental em projetos que necessitem produzir circuitos eletrônicos, estando relacionada a áreas como engenharias, indústria, pesquisa, física, instrumentação científica, etc. Existe uma infinidade de técnicas para se produzir PCB que vão desde as técnicas mais simples, como desenhar o circuito direto no cobre com caneta permanente, método de transferência térmica com ferro de passar roupa, método fotográfico usando tinta ou filme fotossensível [4, 5], até técnicas industriais mais complexas e caras feitas por empresas especializadas e sob encomenda. No entanto, há uma dificuldade de se encontrar documentação a respeito de processos de fabricação de PCB, pois acredita-se serem métodos artesanais e de difícil padronização.

Com a evolução dos circuitos houve uma necessidade natural de sofisticação das PCB's. Novos métodos e procedimentos surgiram e deram *status* de pesquisa [6] à área, despertando especial interesse em técnicas de baixo custo [4, 5, 7–15]. Atualmente tem-se notado um aumento no número de artigos relacionados a técnicas de produção de PCB usando o papel como substrato [3, 7, 9, 12, 14, 16], principalmente depois da descoberta do grafeno [10]. Percebe-se inclusive preocupações ambientais no sentido de se utilizar materiais reciclados e avaliar impactos ambientais [3, 11].

Outro ramo de atual interesse é a fabricação de PCB di-

retamente em materiais flexíveis para produção de transistores, sensores, antenas, etc, que exigiu o desenvolvimento de novos materiais e técnicas de aplicação e construção [8, 11, 13–15].

Neste sentido, podemos perceber que existem várias opções para a fabricação de PCB's que variam em custo e qualidade. Técnicas industriais (mais onerosas), como máquinas fresadoras e similares a laser continuam sendo a melhor opção em qualidade, entretanto, requerem um custo elevado para a aquisição de equipamentos e sua manutenção. Pode-se encomendar placas a empresas especializadas que fabricam produtos de excelente qualidade, porém com custo alto. Sem contar que para fabricação de protótipos esta talvez não seja a melhor opção, pois qualquer necessidade de modificação no circuito acarretaria um novo custo para uma nova placa. Nessa perspectiva, ter um método de fabricação de PCB's eficiente, rápido e a um custo baixo se torna interessante para qualquer laboratório que necessite deste tipo de produto, especialmente em instrumentação científica, onde a produção e modificação de protótipos é constante. Sendo assim, o gasto com a produção de um produto de melhor qualidade pode ser canalizado para a versão final do protótipo.

Neste trabalho apresentaremos uma técnica intermediária de produção de PCB's de dupla face, onde o circuito impresso é gravado em uma placa revestida por cobre em um filme fotográfico chamado *dryfilm*. Esta técnica tem se tornado bastante versátil ao ser capaz de produzir placas de até duas faces, tornando-se compatíveis com projetos de média complexidade e apresentando boa qualidade de resolução, baixo custo, reprodutibilidade, rapidez de fabricação e será apresentada em detalhes a seguir.

## 2. PROCESSO DE FABRICAÇÃO

Apresentaremos a seguir todas as etapas necessárias para o projeto e a fabricação das placas de circuito impressos pelo método do *dryfilm*.

### 2.1. Esquema elétrico do circuito eletrônico

Para apresentar a metodologia desenvolvida recentemente no LEPS teremos como exemplo o circuito eletrônico apresentado na figura ???. Este circuito foi projetado para condicionar o sinal proveniente de um fotodetector<sup>2</sup> sendo composto basicamente por um conversor de corrente para tensão seguido por um amplificador de instrumentação científica<sup>3</sup>. Como o objetivo deste trabalho é apresentar a técnica de produção de PCB's deixaremos os detalhes técnicos do circuito para outro momento e vamos nos ater somente ao processo de fabricação da placa de circuito impresso.

Para começar o processo de confecção da placa de circuito impresso precisa-se primeiramente criar um desenho

<sup>1</sup> Laboratório de Eletrônica e Processamento Digital de Sinais do CBPF.

<sup>2</sup> Modelo SM05PD2A fabricado pela Thorlabs.

<sup>3</sup> INA121 desenvolvido pela Texas Instruments.

esquemático do circuito eletrônico como o da figura 1. Existem vários tipos de *software* grátis capazes de fazer este tipo de desenho, como é o caso do *DesignSpark PCB*, *PCB Artist*, *DipTrace*, *ZenitPCB*, *FreePCB*, *Kicad*, etc. Porém, optou-se por utilizar o programa *Altium Designer* [17] pois trata-se de um programa pago e disponível no LEPS, que possui uma biblioteca completa de componentes sendo capaz de produzir o *layout* da placa circuito impresso a partir do desenho esquemático. Além disso, é possível também gerar o negativo do *layout* do circuito no próprio programa para impressão do fotolito, como veremos a seguir.

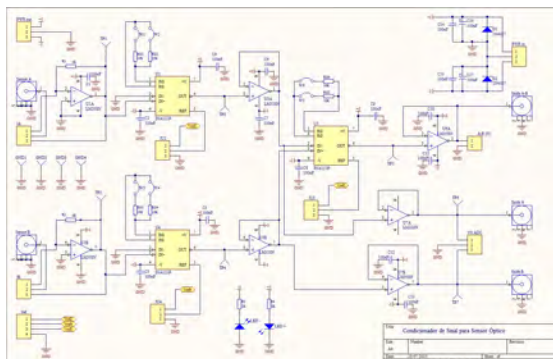


Figura 1: Esquema elétrico do circuito eletrônico para condicionar o sinal do fotodetector SM05PD2A desenhado utilizando o *software* Altium Designer.

## 2.2. Layout do circuito impresso a partir do esquema elétrico

Como desafio tecnológico para este trabalho, o circuito eletrônico apresentado na seção anterior será desenhado utilizando uma placa de circuito impresso de dupla face como mostra a figura 2. A utilização de uma placa de circuito impresso de mais de uma camada se faz necessário dependendo da complexidade do circuito eletrônico. Entretanto, acreditamos que o desenvolvimento de protótipos de dupla face atende a diversos projetos científicos na área de instrumentação científica e eletrônica em geral.

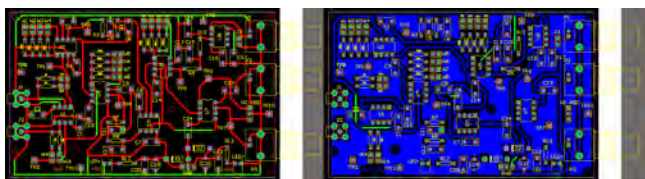


Figura 2: *Layout* da placa de circuito impresso em dupla face. Face superior e inferior respectivamente.

## 2.3. Impressão do fotolito

Finalizado o *layout* da placa de circuito impresso deve-se imprimir o negativo do *layout* em papel transparente

do tipo *laser film*<sup>4</sup> utilizando uma impressora à laser monocromática. Este negativo foi gerado utilizando o próprio *Altium Designer*, como mencionado anteriormente.

É importante destacar que a impressão deve estar em alta qualidade, isto é, sendo a mais escura possível. Caso a impressão não tenha ficado escura o suficiente pode-se aplicar um *spray* enegrecedor<sup>5</sup> na face impressa do fotolito e deixar secar por alguns minutos. Este tipo de *spray* se fixa somente ao toner impresso na folha deixando-o mais escuro. A partir de agora chamaremos esta transparência impressa de fotolito, que será utilizado para as próximas etapas deste trabalho.

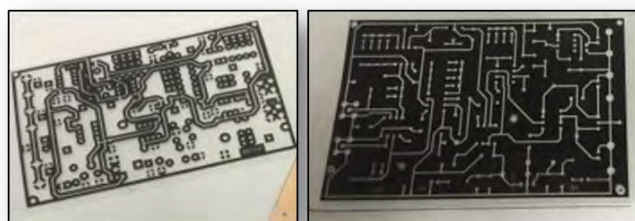


Figura 3: Fotolitos impressos em transparência.

## 2.4. Sincronismo das faces

O maior desafio para produzir circuitos eletrônicos em placas de dupla face é o alinhamento dos circuito de cada face. Neste trabalho resolveremos este problema realizando furos de sincronismo que atravessarão as duas faces da placa servindo como base para o alinhamento dos fotolitos em cada face. Utilizaremos o próprio fotolito como base para a furação, fixando-o em uma das faces da placa e furando por cima dele como mostra a figura 4. Recomenda-se um mínimo de três furos espalhados pela placas e não colineares entre si para um melhor resultado, como podemos ver na figura 5. É suficiente utilizar o fotolito em apenas um dos lados, pois os furos atravessarão a placa, marcando assim o sincronismo das faces. Este procedimento, além de servir para o sincronismo, auxiliará também no correto posicionamento do fotolito em cada face, evitando o posicionamento ao contrário.

## 2.5. Limpeza da placa

Após terminados os furos de sincronismo a placa deve ser limpa com esponja ou palha de aço fina e detergente a fim de retirar toda sujeira e gordura que possa prejudicar a aplicação do *dryfilm*. Nesta etapa deve-se evitar colocar os dedos nas

<sup>4</sup> também conhecido como transparência de filme de poliéster.

<sup>5</sup> Também conhecido como reforçador e enegrecedor de toner e facilmente encontrado na internet e em lojas de material de *silk screen*.



Figura 4: Furos de sincronismos usando-se o fotolito como base.

partes centrais da placa, utilizando as bordas para o manuseio.



Figura 5: Placa limpa, com os furos de sincronismo e pronta para a receber o *dryfilm*.

## 2.6. Aplicação do *Dryfilm*

O *Dryfilm* é um filme azul claro que se torna azul escuro após alguns minutos de exposição à luz ultravioleta. Esta propriedade é relevante na fabricação de placas de circuito impresso, pois torna possível a gravação do *layout* do circuito impresso no filme. No entanto, recomenda-se cautela em seu manuseio, pois trata-se de um filme sensível a luz e pouco tempo de exposição ao sol, por exemplo, será o suficiente para inutilizá-lo completamente. Por isso todo o processo deve ser realizado ao abrigo da luz do sol ou outra fonte luminosa na faixa do ultravioleta. Não observou-se danos ao *dryfilm* em ambiente levemente iluminado por lâmpadas fluorescentes, sendo este tipo de iluminação ambiente a mais recomendada.

Para que o processo de aplicação do *dryfilm* seja bem sucedido, necessitamos atentar a alguns detalhes. O *dryfilm* utilizado possui uma película plástica transparente de

proteção em cada uma das faces que deve ser retirada antes da aplicação. O filme deverá ser aplicado sobre a placa limpa e recomenda-se pulverizar a face onde o filme estiver sendo aplicado com poucas gotas de água no intuito de facilitar o posicionamento e dificultar a formação de bolhas de ar. Recomenda-se não pressionar o filme contra a placa, de maneira que este deve estar o mais levemente possível aplicado sobre a placa. Se necessário pode-se retirar e reaplicar o filme. Por fim, podemos retirar o excesso de filme nas bordas da placa com um estilete ou tesoura.

O objetivo desta etapa é deixar o *dryfilm* o mais esticado possível de modo que nenhum tipo de bolha ou sujeira esteja presente entre o filme e a placa. Para isso podemos cobrir a placa com uma folha de papel ofício dobrada para que passe algumas vezes por uma laminadora<sup>6</sup> como mostra a figura 6. A laminadora possui rolos compressores quentes<sup>7</sup> que auxiliam na fixação do filme, porém, envolver a placa com a folha de papel é fundamental para que o *dryfilm* não grude nos rolos compressores aquecidos. Os procedimentos de aplicação do *dryfilm*, o corte do excesso de filme e a laminação devem ser repetidos para ambas as faces da placa que após isso estará pronta para a próxima etapa.



Figura 6: Processo de aplicação do *dryfilm* - Primeiro envolve-se a placa (com o filme) em papel ofício; depois coloca-se o conjunto na laminadora; e finalmente o *dryfilm* está completamente liso sobre a placa.

## 2.7. Alinhamento dos fotolitos e Fotografia

A fotografia da placa consiste na transferência do *layout* do circuito impresso para o *dryfilm* utilizando luz ultravioleta e um aparato de fotografia que chamaremos de *set up* fotográfico como mostra a figura 7. Este aparato irá ajudar a minimizar a maior dificuldade desta etapa, que é alinhar os circuitos das duas faces da placa. Caso os circuitos não estejam alinhados a montagem dos componentes ficará prejudicada ou impossibilitada, podendo acarretar a inutilização da placa.

Recomenda-se utilizar uma placa de vidro, onde pode-se prender o fotolito no centro com fita, e posteriormente posicionar o conjunto vidro + fotolito sobre a placa, utilizando os furos de sincronismo como guias para o correto alinhamento.

<sup>6</sup> Também conhecida como plastificadora.

<sup>7</sup> Recomenda-se ajustar a laminadora para a temperatura de 120°C.

A utilização do vidro é necessária para manter o fotolito esticado sobre a placa evitando que ele deslize durante o processo de fotografia. É importante verificar o lado correto do fotolito antes de prendê-lo no vidro.



Figura 7: Set up de fotografia.

Com o set up da figura 7 devidamente posicionado e alinhado, inicia-se o processo de fotografia que consiste em expor o sistema a uma luz ultravioleta por alguns minutos. As faces devem ser fotografadas uma de cada vez e em cada etapa devemos ter o cuidado em não expor a face que não está sendo fotografada à luz. Isto poderia "queimar" o filme daquela face e comprometer todo o processo. Recomenda-se, então, posicionar a placa sobre uma superfície opaca, como uma mesa, por exemplo.

Para a fotografia utilizou-se uma lâmpada eletrônica de luz negra. O tempo de exposição depende da potência da lâmpada. Para uma lâmpada de 28W o tempo de exposição é de aproximadamente quatro minutos, enquanto que para uma lâmpada de 35W o tempo cai para de aproximadamente três minutos e meio. É importante salientar que se o tempo de exposição for muito maior do que o sugerido anteriormente, o filme ficará totalmente escuro, impossibilitando sua revelação. Porém, se o tempo de exposição for muito menor do que o sugerido, o layout do circuito não será gravado no dryfilm ou estará tão fraco que sumirá na revelação.

O processo de fotografia deverá ser realizado para as duas faces da placa, repetindo-se o processo de posicionamento e alinhamento do fotolito para cada uma delas. Após o término do procedimento, a película plástica transparente deve ser retirada de ambos os lados, como mostra a figura 8. Nota-se que o tempo estipulado para o processo fotográfico foi adequado quando o layout do circuito está evidente no dryfilm e a película plástica pode ser facilmente removida, como mostra a figura 8.



Figura 8: Processo de fotografia. Nota-se claramente o layout do circuito gravado no dryfilm e a película plástica protetora sendo removida.

## 2.8. Revelação

O processo de revelação consiste na retirada do dryfilm mais claro, que não foi sensibilizado pela luz. Para isso mergulha-se a placa em uma solução com aproximadamente 3g de barrilha fina<sup>8</sup> em 150ml de água deixando de molho em torno de 8 minutos. Pode-se utilizar um pincel de cerdas macias ou mesmo os dedos para esfregar a superfície do dryfilm agilizando o processo como mostra a figura 9. Para uma dissolução homogênea recomenda-se virar a placa periodicamente.

A barrilha dissolve mais rapidamente a parte clara do filme, deixando apenas a parte escura, que futuramente será o circuito eletrônico propriamente dito. É preciso observar o tempo de banho, pois caso a placa fique na solução por muito tempo, a barrilha começará a dissolver também as partes escuras do filme, podendo danificar o circuito. Para evitar isso recomenda-se verificar com a ponta dos dedos se a parte clara do filme está dissolvida por completo. Para isso basta perceber se a parte escura está em alto relevo. Com o término da revelação deve-se lavar a placa com água corrente e secar.

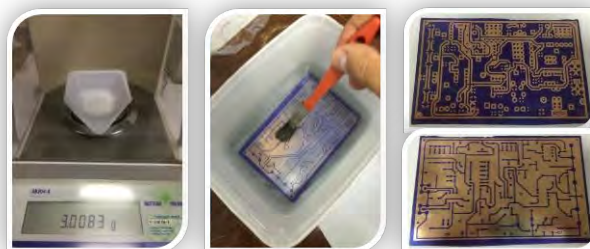


Figura 9: Processo de revelação - 3g de barrilha em 150ml de água são suficientes para dissolver o dryfilm mais claro deixando a solução azulada.

Durante o processo de revelação alguma falha pode ocorrer, como uma trilha ou ilha quebrada. Estas falhas acontecem, principalmente, devido ao processo de aplicação incorreto do dryfilm, onde bolhas de ar surgem dificultando a adesão do filme à placa. Estas bolhas podem estourar na

<sup>8</sup> Carbonato de Sódio ( $Na_2CO_3$ ).

etapa de revelação, podendo fazer com que alguma parte do circuito se solte.

Outro fator que poderia ocasionar uma falha na placa é o tempo de revelação. A barrilha dissolve primeiro a parte clara do filme (não exposta à luz), mas se permanecer por um tempo prolongado acaba dissolvendo também a parte escura, danificando o circuito impresso. Caso seja identificada alguma falha no circuito pode-se tentar corrigir utilizando uma caneta marcadora permanente (as mesmas que escrevem em CD). Falhas simples geralmente são contornáveis com o auxílio da caneta, caso contrário, deve-se retomar o processo a partir do início.

### 2.9. Corrosão

O processo de corrosão consiste em retirar o cobre da parte clara da placa, deixando somente o circuito que está sob o *dryfilm* escuro. Existem muitos produtos e fórmulas comerciais e artesanais para este processo e qualquer um pode ser usado. O uso de luvas é extremamente recomendado nesta etapa, pois todas as soluções possivelmente utilizadas são corrosivas.

As soluções de Percloroeto de Ferro e Persulfato de Amônia, talvez sejam os produtos mais utilizados para este fim. No entanto, optou-se por uma receita menos usual devido ao seu menor tempo de corrosão.<sup>9</sup>

A solução então foi preparada da seguinte forma:

1. Três partes de água comum.
2. Seis partes de ácido muriático (vulgarmente chamado de limpa pedra).
3. Uma parte de água oxigenada 200 volumes.

Um pote plástico é suficiente para o preparo da solução, sendo recomendável adicionar primeiramente a água comum, depois o ácido e por último a água oxigenada. Esta solução, na proporção citada, é praticamente incolor com pequenas bolhas, como mostra a figura 10.

Após a solução pronta, mergulha-se a placa e após poucos minutos percebe-se em ordem cronológica o escurecimento do cobre, o surgimento de uma fumaça esverdeada e logo em seguida a solução toda torna-se esverdeada, indicando que o processo de corrosão está prestes a terminar. Neste momento a placa é retirada com o auxílio de luvas e pinças para inspecionar a corrosão e caso não tenha sido concluída deve-se mergulhar a placa novamente na solução até a completa corrosão. Vale lembrar que este processo de corrosão libera gases oriundos do cloro que são prejudiciais à saúde e, portanto, recomenda-se realizar esta etapa em capela de exaustão ou, no mínimo, em ambiente arejado.

Deve-se ficar atento ao tempo de corrosão, pois um período maior de exposição à solução de corrosão poderá danificar a placa. Pode-se testar o poder de corrosão da

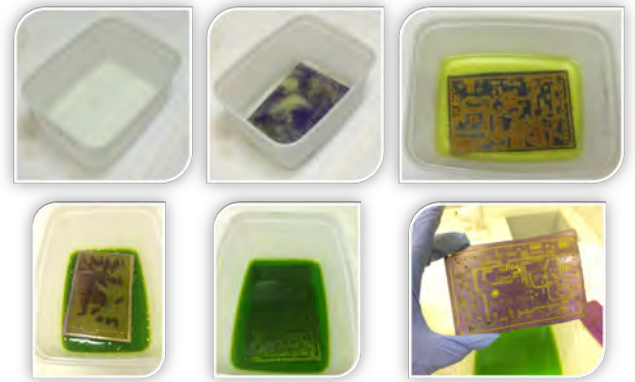


Figura 10: Processo de corrosão da placa. Nota-se que a solução fica cada vez mais esverdeada a medida que o processo de corrosão avança.

solução imergindo-se pequenos pedaços de placa com cobre antes de imergir a placa do circuito.

É possível que alguns problemas ocorram devido ao preparo inadequado da solução. O começo da corrosão é caracterizado por uma leve fumaça esverdeada tornando a solução amarelo esverdeada, como mostra a figura 10. Muitas bolhas e tons fortes indicam uma solução mais corrosiva do que o necessário (figura 11) e, neste caso, recomenda-se a imediata remoção da placa a fim de evitar danos maiores, como mostra a figura 12. A solução deve ser preparada somente na hora da corrosão, pois perde o seu poder de corrosão com o tempo, fica escura (figura 11) e pode não corroer totalmente a placa. Por este motivo esta solução não deve ser reutilizada e sim descartada ao final do processo.



Figura 11: Soluções de corrosão em proporções inadequadas. Seu uso pode acarretar danos irreversíveis a placa.

Qualquer problema na solução pode ser fatal e jogará fora todo o trabalho gasto até aqui, sendo necessário reiniciar todo o processo gastando mais material e tempo. Podemos ver na figura 12 alguns exemplos de placas danificadas devido a uma proporção inadequada na solução de corrosão.

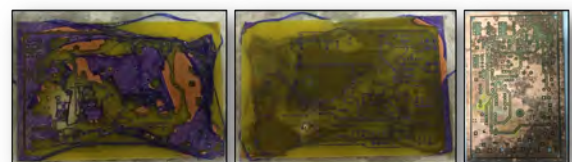


Figura 12: Placas danificadas por soluções de corrosão inadequadas.

<sup>9</sup> O tempo de corrosão pode variar de acordo com o tamanho da placa, mas em média leva menos de 10 minutos com a solução indicada.

## 2.10. Remoção do *dryfilm* residual

Após a corrosão da placa inicia-se o processo de retirada do *dryfilm* escuro que ainda permaneceu grudado na placa após a corrosão. Para isso prepara-se uma solução contendo de 10g a 20g de soda cáustica<sup>10</sup> em 150ml de água onde a placa deve ficar imersa por cerca de 10 minutos. Em pouco tempo o filme começará a soltar da placa como mostra a figura 13. Após a completa remoção do *dryfilm* residual a placa precisará ser lavada com água e detergente. Para este procedimento também é recomendável o uso de luvas.



Figura 13: Remoção do *dryfilm* residual escuro utilizando solução de soda cáustica.

## 2.11. Furos para os componentes

Após a remoção de todo o *dryfilm* da placa de circuito impresso, devemos fazer os furos nas ilhas do circuito como mostra a figura 14 para posteriormente montar e soldar os componentes. Recomenda-se utilizar uma furadeira de bancada com a broca adequada ao tamanho da ilha do circuito. Para este projeto utilizou-se brocas de tamanhos variados entre 0,7mm até 1,5mm, dependendo do tamanho do terminal do componente de cada furo. É interessante ressaltar que os furos são feitos apenas para componentes discretos, conectores e circuitos integrados com encapsulamento DIP<sup>11</sup>, e que para um projeto que apresente componentes em SMD<sup>12</sup>, os furos destes não serão necessários.

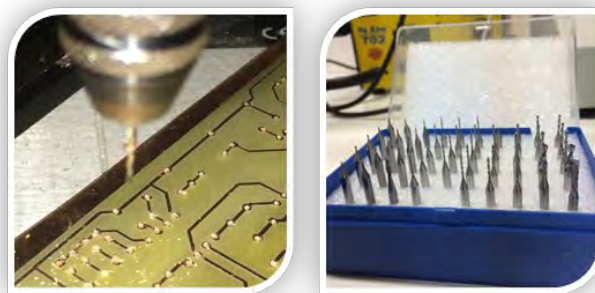


Figura 14: Processo de furação das ilhas da placa de circuito impresso e brocas utilizadas.

## 2.12. Aplicar Verniz nas placas de PCI

A aplicação de verniz na placa é opcional, todavia, é altamente recomendado para evitar que as trilhas de cobre oxidem com o tempo e possam causar algum mau funcionamento do sistema. Existem várias opções comerciais e outras fórmulas caseiras que podem ser utilizadas para este fim. Neste trabalho, foi utilizada uma mistura de breu e álcool pois além de proteger o cobre da oxidação, o breu atua como fluxo, facilitando a solda. A aplicação é muito simples, basta espalhar a solução de breu e álcool uniformemente sobre a placa com o auxílio de um algodão ou pano deixando secar por algumas horas. Finalmente a placa estará pronta para ser montada e testada como mostra a figura 15.

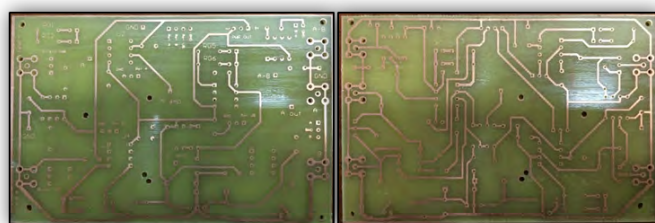


Figura 15: As duas faces da placa de circuito impresso após a aplicação do verniz.

## 3. CONCLUSÃO

A figura 16 mostra o protótipo de um condicionador de sinais desenvolvido no LEPS a partir da técnica do *dryfilm*. Este procedimento permite fabricar protótipos de boa qualidade com grande rapidez e baixo custo, portanto, poderia ser utilizado amplamente em projetos de instrumentação científica. A técnica apresentada neste artigo possibilita a

<sup>10</sup> Hidróxido de Sódio - (*NaOH*).

<sup>11</sup> Sigla inglesa para Dual In-Line Package e refere-se a tipos de circuitos integrados que apresentam duas fileiras de terminais que atravessam a placa.

<sup>12</sup> Sigla inglesa para Dispositivos de Montagem em Superfície e refere-se a circuitos integrados onde os terminais são soldados na superfície da placa.

produção de protótipos em menos de um dia<sup>13</sup>. Esta rapidez, praticidade e baixo custo na produção de PCB's representam menos tempo e dinheiro gastos na caminhada até o produto final.

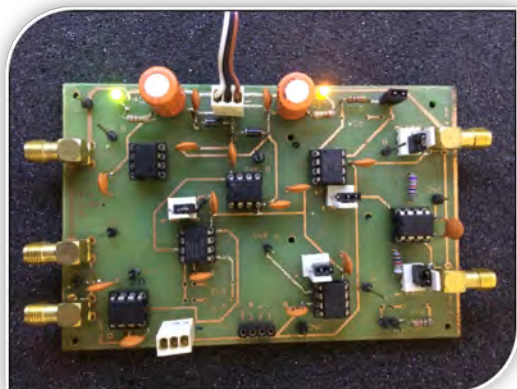


Figura 16: Placa de um circuito condicionador de sinal desenvolvida no LEPS do CBPF usando a técnica do *dryfilm*.

A figura 17 mostra os materiais envolvidos em todo o processo de produção de PCB. Estes materiais podem ser divididos em dois grupos sendo estes de materiais permanentes: laminadora, furadeira e luminária; e materiais de consumo: *dryfilm*, água oxigenada 200v, ácido muriático, barrilha leve, soda cáustica, brocas, lâmpada de luz negra, luvas de proteção, spray enegrecedor e solução alcoólica de breu ou outro tipo de verniz. Além dos itens da foto também podemos acrescentar aos materiais de consumo a placa revestida de cobre e o laser filme para a impressão do fotolito. Apesar de não ser imprescindível, ter uma impressora a laser dedicada ao projeto é recomendável.

Podemos estimar um orçamento para a compra de material necessário à fabricação das PCB's como sendo entre R\$1.500,00 a R\$2.000,00 (mil e quinhentos a dois mil reais) para materiais permanentes e R\$100,00 a R\$200,00 (cem a duzentos reais) para materiais de consumo. Os materiais permanentes poderão ainda ser utilizados no auxílio a outros projetos, apesar de ser recomendável ter estes equipamentos sempre disponíveis ao processo de fabricação de PCB's. A maioria dos materiais de consumo vai durar bastante, sendo

utilizados na fabricação de várias placas, sendo assim, o custo de manutenção do processo de fabricação das PCB's vai ser baixo.

Desta forma, estima-se que se gaste menos de R\$5,00 (cinco reais) em materiais de consumo para produzir cada placa, ficando o maior custo por conta da placa de cobre virgem. Como existe uma grande diferença de preço de acordo com o tamanho e o tipo de placas de cobre fica difícil estimar um orçamento geral para a produção de uma placa, porém, estimamos que para a produção de uma PCB de dupla face e tamanho 10 x 25 cm se gaste menos de R\$20,00 (vinte reais). Este valor fica bem abaixo de uma placa produzida comercialmente, principalmente, porque muitas empresas produzem um mínimo de três peças por pedido.

Desta maneira, acredita-se que esta abordagem seja bastante valiosa no processo de fabricação de protótipos, pois permite a economia de tempo e dinheiro sem expressiva perda de qualidade.



Figura 17: Materiais utilizados para a fabricação de PCB no LEPS pela técnica do *dryfilm*.

#### Agradecimento

Os autores desse trabalho agradecem à FAPERJ (E-26/110.997/2009) e ao CNPq (486742/2013-0) pelo financiamento deste projeto de pesquisa.

- [1] Sociedade Brasileira de Física (SBF), *A Física e o desenvolvimento nacional*, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE)(2012). Disponível em: [http://www.sbfisica.org.br/v1/arquivos\\_qiversos/publicacoes/RelatoriosBF.pdf](http://www.sbfisica.org.br/v1/arquivos_qiversos/publicacoes/RelatoriosBF.pdf) (acesso em março de 2015).
- [2] BRASIL, *Marco Legal da Ciência, Tecnologia e Inovação*, LEI Nº 13.243, DE 11 DE JANEIRO DE 2016. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil03/ato2015-2018/2016/Lei/L13243.htm> (acesso em março de 2015).
- [3] Liu, Jingping, et al., *Future paper based printed circuit boards*

*for green electronics: fabrication and life cycle assessment*, Energy & Environmental Science 7.11 (2014): 3674-3682. DOI: 10.1039/c4ee01995d.

- [4] Branson, J. and et al., *A simplistic printed circuit board fabrication process for course projects*, IEEE Transactions on Education (Volume:43, Issue: 3) Pages: 257 - 261 (2000). DOI: 10.1109/13.865197.
- [5] Ou, Jinping, et al., *A low-cost PCB fabrication process*, Electronic Components and Technology Conference (ECTC), 2014 IEEE 64th. IEEE, (2014). DOI:



- 10.1109/ECTC.2014.6897601.
- [6] Temiz, Yuksel, et al., *Lab-on-a-chip devices: How to close and plug the lab?*, *Microelectronic Engineering* 132 (2015): 156-175. DOI: 10.1016/j.mee.2014.10.013.
- [7] Gimenez, Alejandro J., et al., *ZnO Paper Based Photoconductive UV Sensor*, *The Journal of Physical Chemistry C* 115.1 (2010): 282-287. DOI: 10.1021/jp107812w.
- [8] Russo, Analisa, et al., *Pen-on-Paper Flexible Electronics*, *Advanced materials* 23.30 (2011): 3426-3430. DOI: 10.1002/adma.201101328.
- [9] Tobjörk, Daniel, and Ronald Österbacka, *Paper Electronics*, *Advanced Materials* 23.17 (2011): 1935-1961. DOI: 10.1002/adma.201004692.
- [10] Kurra, Narendra, and Giridhar U. Kulkarni, *Pencil-on-paper: electronic devices*, *Lab on a Chip* 13.15 (2013): 2866-2873. DOI: 10.1039/C3LC50406A.
- [11] Kavčič, Urška, et al., *Printed electronics on recycled paper and cardboards*, *Informacije MIDEM* 43 (2013): 50-57.
- [12] Zheng, Yi, et al., *Direct desktop printed-circuits-on-paper flexible electronics*, *Scientific reports* 3 (2013). DOI: 10.1038/srep01786.
- [13] Lu, Tong, et al., *Rapid Prototyping for SoftMatter Electronics*, *Advanced Functional Materials* 24.22 (2014): 3351-3356. DOI: 10.1002/adfm.201303732.
- [14] Han, Yu Long, et al., *Liquid on Paper: Rapid Prototyping of Soft Functional Components for Paper Electronics*, *Scientific reports* 5 (2015). DOI: 10.1038/srep11488.
- [15] Aracil, Carmen, et al., *Portable Lab-on-PCB platform for autonomous micromixing*, *Microelectronic Engineering* 131 (2015): 13-18. DOI: 10.1016/j.mee.2014.10.018.
- [16] Lee, Hye Moon, et al., *Solution Processed Aluminum Paper for Flexible Electronics*, *Langmuir* 28.36 (2012): 13127-13135. DOI: 10.1021/la302479x.
- [17] <http://www.altium.com/> (acesso em março de 2015).