

## POTENCIAL INOVATIVO DA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO EM ARGAMASSA

**Isabela de Araújo Pessoa** – [isabela\\_pessoa10@hotmail.com](mailto:isabela_pessoa10@hotmail.com)

Sciences and Technology – Federal University of Rio Grande do Norte

**Alisson Bezerra da Costa** – [alisbez.costa@gmail.com](mailto:alisbez.costa@gmail.com)

Sciences and Technology - Federal University of Rio Grande do Norte

**Auana Paola Silva Carvalho** – [auanasilva@hotmail.com](mailto:auanasilva@hotmail.com)

Sciences and Technology - Federal University of Rio Grande do Norte

**Rafael Ferreira Mariano** – [rafael\\_ferreira.mariano@outlook.com](mailto:rafael_ferreira.mariano@outlook.com)

Sciences and Technology - Federal University of Rio Grande do Norte

**Guilherme Pablo de Santana Maciel** – [pablo\\_guilherme01@hotmail.com](mailto:pablo_guilherme01@hotmail.com)

Sciences and Technology – Federal University of Rio Grande do Norte

**Zulmara Virgínia de Carvalho** – [zvcarvalho@gmail.com](mailto:zvcarvalho@gmail.com)

*Program of Postgraduate in Science, Technology and Innovation – University of Rio Grande do Norte*

**Resumo**—Crescente de forma exponencial e acelerada, o progresso tecnológico da III Revolução Industrial rapidamente transforma tecnologias de informação e comunicação, quando obsoletas, em lixo eletrônico. A poluição desses resíduos sólidos, em específico no que tange a liberação de elementos tóxicos, prejudiciais ao meio ambiente e ao ser humano, demanda a adequada reutilização desses artefatos eletrônicos. Entre as iniciativas de reutilização do detrito da era da microeletrônica, está a incorporação de Placas de Circuito Impresso (PCI) em argamassa. Dentro desse cenário, o presente estudo objetiva analisar o cenário científico-mercadológico do reuso de PCI, com vistas a diagnosticar as perspectivas de novos negócios nesse segmento tecnológico. Os dados da pesquisa exploratória acerca do estado da arte científico e do mapeamento tecnológico do uso de PCI, bem como da dinâmica econômica do setor, evidenciam que a demanda por produtos e processos ambientalmente sustentáveis favorece novos empreendimentos. Adicionalmente, sob a condição de estudo de caso, foi feito diagnóstico do potencial mercadológico de uma pesquisa científica, com suporte da ferramenta que mede o nível de maturidade tecnológica. A análise do estudo de caso aponta impactos nas cadeias produtivas ligadas à química e à metalúrgica, além daquelas vinculadas à argamassa.

**Palavras-chave**—Argamassa, Eletroeletrônicos, Meio Ambiente, Placas de Circuito Impresso (PCI), Resíduos Sólidos.

**Abstract:** Technological advances resulting from the Third Industrial Revolution transforms rapidly and exponentially Information and Communication Technologies (ICTs) considered obsolete into electronic waste. The pollution coming from these solid wastes, specially related to the release of toxic compounds that are damaging to the environment and human being, demonstrates the necessity for proper reuse of such electronic artifacts. Among the initiatives for reusing debris from the microelectronic age, there is the incorporation of Printed Circuit Boards (PCBs) into mortar. Therefore, this study aims to analyze the scientific and market scenario concerning the reuse of PCBs focusing on diagnosing new business prospects in this technology segment. The data collected from exploratory research concerning scientific state of the art and technology mapping of the PCB's usage, as well the economic dynamics of the segment, evidence that demand for environmentally sustainable products and processes foster new businesses. In addition, the market potential of a scientific research was determined through a case study, being supported by an instrument the measures the degree of technological maturity. In conclusion, the analysis of the case study identified impacts in the production chains related to chemistry and metalworking, besides those associated with mortar.

**Keywords:** Mortar. Electro-electronics. Environment. Printed Circuit Boards. Solid wastes.

## INTRODUÇÃO

A partir do avanço da tecnologia e os eletroeletrônicos ficando obsoletos cada vez mais rápido, gerando grandes quantidade de lixo no meio ambiente, o mercado tem se direcionado cada vez mais para o setor de sustentabilidade, a fim de buscar maneiras que minimizem os impactos dos componentes tóxicos que contém nas PCI (placas de circuito impresso), assim como dos metais com alto valor agregado. De acordo com Souza (2007) além dos impactos ambientais gerados pela poluição eletrônica, substâncias tóxicas resultantes de metais pesados como o chumbo, cádmio, arsênio, mercúrio, entre outras, ocasionam danos ao meio ambiente, devastando a fauna e a flora, prejudicando a saúde humana (AFONSO et al, 2017).

Quando a população se desfaz do lixo eletrônico sem dar a destinação correta, esse material é depositado em aterros sanitários, e as substâncias químicas presentes nesses materiais podem contaminar o solo e atingir o lençol freático. Ao entrar em contato com lençóis freáticos, essas substâncias de metais pesados [...] contaminam a água que poderá ser utilizada para irrigação nas plantações, para dar água a rebanhos e conseqüentemente o alimento ou a carne podem vir a contaminar o homem (TANAUE et al, 2015). Outra forma de contaminação é a manipulação dessas placas eletrônicas ou o contato direto com lixões a céu aberto.

Os principais equipamentos que possuem metais pesados são computador, notebook, televisor, celular, monitor e baterias. Metais pesados como cádmio, chumbo, mercúrio, arsênio, berílio e retardante de chamas podem causar efeitos negativos à saúde humana, com maior relevância ao sistema nervoso, sanguíneo, cerebral, fígado, pulmões, também câncer no pulmão e desordens hormonais.

A quantidade de lixo eletrônico gerada anualmente no mundo fica em um intervalo de 20-50 milhões de toneladas (Oliveira & El-Deir, 2011; Trigo & Balter, 2013). O Brasil é o oitavo maior produtor de lixo eletrônico do mundo, com mais de 1.1 milhão de toneladas geradas em 2014. Ele ocupa a 78ª posição na geração per capita de resíduos eletrônicos, com geração estimada em 7.0 kg/hab/ano entre os 183 países analisados pela The United Nations University - Institute for the Advanced Study of Sustainability (UNU-IAS) (Baldé, Wang, Kuehr & Huisman, 2014). Estima-se que no Brasil tenham sido gerados 1.100,66 milhões de toneladas de resíduos eletrônicos em 2014, podendo chegar a 1.376,13 milhões em 2016 (AFONSO et al, 2017).

O estudante de engenharia civil Elder Góis (2016), mostrou um fim sustentável para os resíduos das placas de circuitos impressas incorporando-os à argamassa. A utilização dos resíduos das PCI na construção civil traz benefícios para o meio ambiente e para as indústrias, que podem recuperar metais de valor, tais como cobre, ouro e prata. A substituição parcial dos componentes da argamassa por esses resíduos produz um material de baixo custo, visto que diminui a matéria-prima natural necessária. Conseqüentemente, essas ações minimizam a degradação do meio ambiente, gerados pelo descarte inadequado das placas. Pode-se perceber, então, que essa agregação pode beneficiar não somente o setor de cerâmica mas também o de indústrias químicas, metalúrgicas e, conseqüentemente, o meio ambiente.

Os processos para reciclagem de uma PCI podem ser mecânicos (cominuição, classificação e separação), químicos (pirometalurgia, hidrometalurgia, eletrometalurgia e biometalurgia) ou térmicos. O tratamento mecânico é o menos agressivo ao meio ambiente e à saúde ocupacional, por gerar menos resíduos contaminantes (JUNIOR et al., 2013).

Dentro desse cenário, o presente estudo objetiva analisar o cenário científico-mercadológico do reuso de PIC com vistas a diagnosticar as perspectivas de novos negócios nesse segmento tecnológico, enfatizando a relação entre governo, empresas e institutos de pesquisas, a chamada tríplice hélice desenvolvida por Henry Etzkowitz e Loet Leydesdorff na década de 1990.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 TRÍPLICE HÉLICE

O conceito da Tríplice Hélice foi proposto por Etzkowitz e Leydesdorff na década de 1990, que une 3 elementos principais para o desenvolvimento econômico: universidade, governo e empresa (PRESTES et al., 2017).

A tese da Hélice Tríplice é que a universidade está deixando de ter um papel social secundário, ainda que

importante, de prover ensino superior e pesquisa, e está assumindo um papel primordial equivalente ao da indústria e do governo, como geradora de novas indústrias e empresas. (ETZKOWITZ; ZHOU, 2017) Segundo Fischmann e Cunha (2003), a interação Universidade-Empresa (U-E) se torna cada vez mais importante no contexto econômico atual. As universidades buscam uma nova definição de seu papel na sociedade e as empresas novas alternativas de competitividade para garantir sua permanência no mercado. (GOMES; PEREIRA, 2015)

## 2.2 NÍVEL DE MATURIDADE TECNOLÓGICA

O nível de maturidade tecnológica foi desenvolvida pela a nasa com o objetivo de avaliar e classificar tecnologias quanto às suas condições para a adentrar no mercado de trabalho. A tecnologia pode receber o conceito de 1 a 9.

Os níveis de prontidão de tecnologia (Technology Readiness Levels – TRL) são um tipo de sistema de medição usado para avaliar o nível de maturidade de uma determinada tecnologia. Cada projeto de tecnologia é avaliado em relação aos parâmetros para cada nível de tecnologia e recebe uma classificação de TRL com base no progresso dos projetos. Existem nove níveis de prontidão de tecnologia. A TRL 1 é a mais baixa e a TRL 9 é a mais alta. Quando uma tecnologia está no TRL 1, a pesquisa científica está começando e esses resultados estão sendo traduzidos em pesquisa e desenvolvimento futuros. A TRL 2 ocorre quando os princípios básicos foram estudados e as aplicações práticas podem ser aplicadas a essas descobertas iniciais. A tecnologia TRL 2 é muito especulativa, pois há pouca ou nenhuma prova experimental de conceito para a tecnologia. Quando a pesquisa ativa e o design começam, uma tecnologia é elevada para o TRL 3. Geralmente, estudos analíticos e laboratoriais são necessários nesse nível para ver se uma tecnologia é viável e pronta para prosseguir através do processo de desenvolvimento. Muitas vezes, durante o TRL 3, é construído um modelo de prova de conce. Uma vez que a tecnologia de prova de conceito esteja pronta, a tecnologia avança para a TRL 4. Durante a TRL 4, peças de múltiplos componentes são testadas uma com a outra. A TRL 5 é uma continuação da TRL 4, no entanto, uma tecnologia que está em 5 é identificada como uma tecnologia breadboard e deve passar por testes mais rigorosos do que a tecnologia que está apenas na TRL 4. As simulações devem ser executadas em ambientes que sejam tão realistas que possível. Uma vez que o teste do TRL 5 esteja completo, uma tecnologia pode avançar para o TRL 6. Uma tecnologia TRL 6 tem um protótipo totalmente funcional ou modelo representacional. A tecnologia TRL 7 requer que o modelo de trabalho ou protótipo seja demonstrado em um ambiente espacial. A tecnologia TRL 8 foi testada e “qualificada para voo” e está pronta para ser implementada em um sistema de tecnologia ou tecnologia já existente. Uma vez que uma tecnologia tenha sido “comprovada em voo” durante uma missão bem-sucedida, ela pode ser chamada de TRL 9. (NASA, 2012)

Os TRL por si só não dão uma imagem completa do estado de uma tecnologia, ou dos riscos na adoção de uma determinada tecnologia para as necessidades de um dado programa de aquisição. (GIL; ANDRADE; COSTA, 2014)

## 3 METODOLOGIA

Inicialmente para o nosso trabalho foi feito a trajetória histórica sobre as placas de circuito impresso com base em artigos científicos, os materiais que contém nessas placas e suas cadeias produtivas. Também viu-se os mercados envolvidos na reciclagem do material contido nas placas. Com isso, baseado no Trabalho de Conclusão de Curso cujo autor Elder Santos de Góis intitulou como “Análise de argamassa de assentamento com incorporação de resíduos de placas de circuito impresso (PCI)”.

Através das pesquisas feitas sobre a busca do potencial inovativo, elaboramos nosso método de transbordamento da tecnologia, analisando o sistema de tríplice hélice, que faz a ligação, governo, empresas e universidades.

A partir disso, buscou-se obter mais informações acerca dos impactos ambientais e à saúde humana que esses materiais pesados contidos nas PCI podem causar, e o seu potencial inovativo no mercado, através do nível de maturidade tecnológica desenvolvida pelos autores com a calculadora do ITA. As prospecções apresentadas no artigo foi baseado no banco patentário *espacenet*. Os termos empregados para a pesquisa como palavras chave

foram “*circuits boards*”, placas de circuitos e incorporação. Dessas foram identificados mais de 500 patentes, entretanto utilizamos apenas 270 para construir os gráficos e nossa discussão. A busca restringiu-se às patentes que continham no título “*circuits boards*”.

## 4 CENÁRIO CIENTÍFICO-TECNOLÓGICO E MERCADOLÓGICO DE RESÍDUOS ELETRÔNICOS

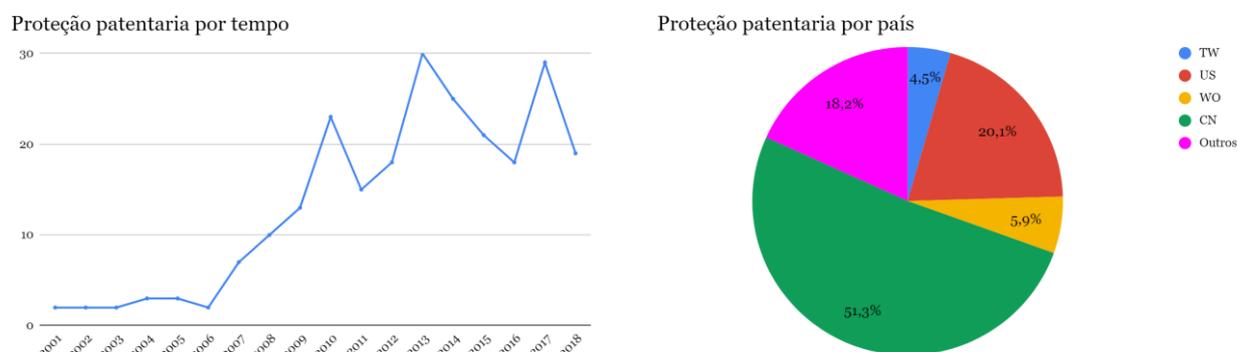
### 4.1 TRAJETÓRIA HISTÓRICA

Muitos fatos e registros históricos colocam o engenheiro austríaco Paul Eisler como o inventor e protagonista das placas de circuitos impressos. Ele construiu um rádio em 1936, que possuía como principal componente uma placa de circuito impresso. Na Segunda Guerra Mundial, Eisler desenvolveu circuitos impressos em placas usadas em baterias antiaéreas V1 dos países aliados (principalmente para os EUA). Após a guerra em 1948, ele se estabelece em uma nova empresa Technograph que começa a comercializar placas de circuitos impressos. No início dos anos 50, várias empresas começam a usar placas de circuitos impressos na fabricação de rádios, transmissores, televisores e outros aparelhos eletrônicos. Nesta mesma época se destaca desenvolvimento de computadores usando placas de circuitos impressos (ÁVILA, 2019).

Existe também registro de uma patente norte-americana de 1925, em nome de Charles Ducas, que propunha depositar uma tinta condutiva sobre um substrato isolante, que deu origem à expressão “Circuito Impresso”. No entanto, a primeira vez que os circuitos impressos foram usados de uma forma mais ampla foi por volta de 1943, quando foram empregados em equipamentos de rádio para uso militar, onde era essencial que o circuito funcionasse em situações extremamente adversas. Após a Segunda Guerra Mundial os circuitos impressos foram usados em outras aplicações e, com o advento dos transistores, tornou-se a forma mais comum de construção de circuitos transistorizados. Atualmente, placas de circuito impresso (PCI) são amplamente empregadas em todos os tipos de equipamentos eletrônicos, principalmente quando se empregam em sua construção circuitos integrados (MEHL, 2019).

### 4.2 MAPEAMENTO TECNOLÓGICO

Gráficos 1 e 2 - Proteção patentária por tempo (à esquerda) e por país (à direita)



Fonte: Espacenet (2019). Elaborado pelos autores.

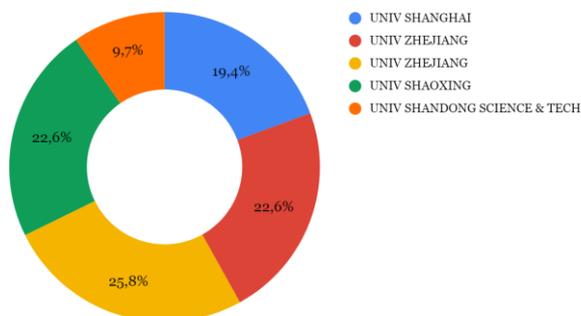
No gráfico 1, observa-se a descontinuidade nos últimos dez anos com oscilações que varia entre 15 a 30 patentes anuais aproximadamente, com a máxima no ano de 2013. No gráfico 2, é possível observar as patentes aplicadas

Proceeding of ISTI/SIMTEC – ISSN:2318-3403 Aracaju/SE – 25 to 27/09/ 2019. Vol. 10/n.1/ p.0519-003 522  
D.O.I.: 10.7198/S2318-3403201900011094

por países, com a China dominando com 51,3% logo atrás vem Estados Unidos, Taiwan, Japão, e outros com uma porcentagem pouco relevante a nível desses de mais expressão.

Gráfico 3 e 4 - Principais titulares patentários (2001-2018) (à esquerda) e inventores (1966-1982) (à direita)

Patentes x Titulares



Patente X Inventores



Fonte: Espacenet (2019). Elaborado pelos autores.

No gráfico 3 de patentes por titulares, é mostrado os registros das ideias criadas por seus inventores que são principalmente chineses.

No gráfico 4, podemos analisar que os chineses são em grande parte os inventores pelos registros de patentes, com dominância dos inventores Liang Xu, Deng Yu e Wang Lizho... com 18,8 %.

#### 4.3 DINÂMICA ECONÔMICA

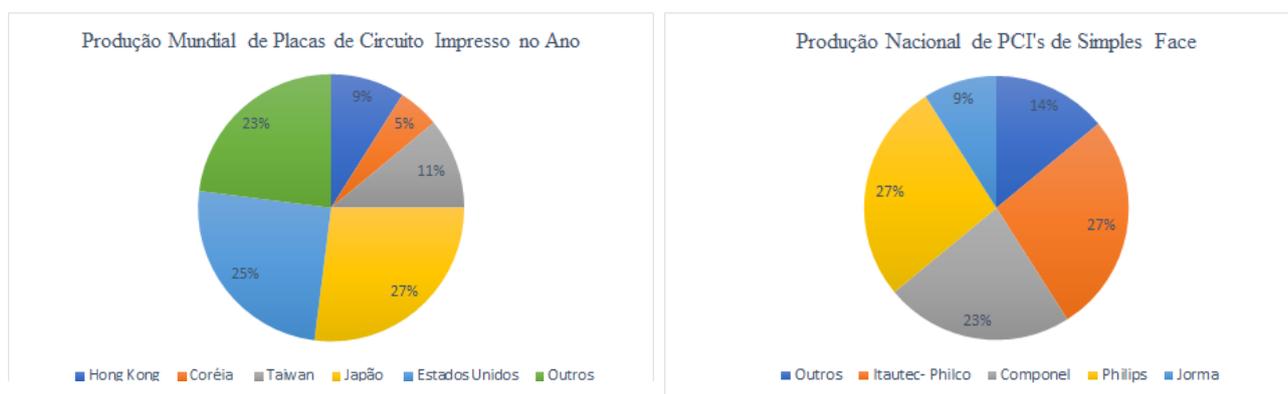
As placas de circuito impresso são elementos fundamentais, presentes em todo e qualquer bem eletrônico, seja de informática, telecomunicações, consumo, automatização ou módulo de eletrônica embarcada. A sua utilização, porém, determina que atenda a especificações mais ou menos rigorosas, de acordo com a complexidade e responsabilidade das tarefas a serem executadas pelo produto final. A presença cada vez maior da eletrônica na vida do homem contemporâneo gerou grande crescimento no mercado mundial de placas de circuito impresso. Como indústria eletrônica globalizada, localizam-se nos países centrais (Estados Unidos e Japão) e na Europa, as fábricas de placas de maior agregado tecnológico, como aquelas placas de alta performance (para aviônicos, satélites, aplicações militares e médicas), as destinadas para grandes servidores e equipamentos de telecomunicações. Em economias emergentes, nas quais a qualificação da mão-de-obra já é elevada (por exemplo, Coreia, Taiwan e Singapura), são produzidas placas de média complexidade, como as destinadas a microcomputadores. Já as fábricas de placas de face simples, próprias para produtos de consumo, estão basicamente 17 concentradas na China, nas Filipinas e na Tailândia. A Figura 1 ilustra a produção de placas de circuito impresso no mercado mundial (DORO, 2019).

No Brasil, a maior parte do mercado de placas de circuito impresso tem sido suprida por importações, pois a concorrência com os países asiáticos é extremamente difícil. Lá estão localizadas as principais fábricas de produtos eletrônicos do mundo e, assim, suas fábricas operam com grandes escalas, reduzindo significativamente os preços das placas produzidas. Além disso, bens eletrônicos recentes, como terminais celulares ou equipamentos de telecomunicações de última geração, utilizam placas extremamente complexas, cuja tecnologia de fabricação ainda não está disponível no país. Desta forma, o número de empresas brasileiras fabricantes de placas de circuito impresso, que chegou a ser superior a 200 na década de 80, hoje se resume a cerca de 40 (DORO, 2019).

Os 40 fabricantes brasileiros correspondem a uma oferta ainda pulverizada entre várias pequenas empresas, basicamente fornecedoras de placas convencionais para protótipos e séries muito pequenas, que atuam ao lado de alguns grandes fabricantes. Entre estes, encontram-se as produções cativas de placas convencionais, como as

da Philips e as da Componel, empresa do grupo CCE especializada em componentes e que, a partir de uma origem cativa, vem suprindo expressivo número de clientes nos segmentos de consumo e automotivo. A Itautec-Philco (Divisão Itaucom), líder na fabricação de PCI de simples face, tem como principais clientes a própria fábrica de eletrônicos de consumo da Itautec-Philco e a indústria de eletrônica automotiva. Nesses dois segmentos situam-se também os clientes da Jorma, uma das mais antigas fornecedoras de placas do país (MELO, RIOS e GUTIERREZ, 2019).

Gráfico 5 e 6 - Produção mundial de placas de circuito impresso no ano de 2000 (à esquerda) e Produção Nacional de PCI de Simples Face (à direita)



Fonte: Doro (2019) e Melo, Rio e Gutierrez (2019).

Os circuitos integrados correspondem a 50% das importações totais de componentes adquiridos isoladamente, atingindo quase US\$ 820 milhões no primeiro semestre de 2001. Outras estimativas de empresas do complexo apontam para importações anuais entre US\$ 3 bilhões e US\$ 4 bilhões de circuitos integrados que entram no país já montados em placas ou produtos acabados (MELO, RIOS e GUTIERREZ, 2019).

O Brasil é a 22ª maior economia de exportação no mundo e na economia mais complexa 37º acordo com o Índice de Complexidade Econômico (ICE). Em 2017, o Brasil exportou US\$ 219 bilhões e importou US\$ 140 bilhões, resultando em um saldo comercial positivo de US\$ 78,3 bilhões. Em 2017, o PIB do Brasil foi de US\$ 2,06 trilhões e seu PIB per capita foi de US\$ 15,5 milhares. Os principais destinos de exportação do Brasil: a China (\$48 bilhões), o Estados Unidos (\$25,1 bilhões), a Argentina (\$17,8 bilhões), a Holanda (\$7,57 bilhões) e a Alemanha (\$6,18 bilhões). As origens de importação de topo são a China (\$27 Bilhões), o Estados Unidos (\$20,4 bilhões), a Argentina (\$9,3 bilhões), a Alemanha (\$9,3 bilhões) e a Coreia do Sul (\$5,39 bilhões) (SIMOES, 2019).

## 5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O setor eletroeletrônico é um dos que mais tem se desenvolvido nos últimos tempos, apresentando um rápido e constante crescimento, provocado pelo aumento no poder aquisitivo da população e pela inserção contínua de novas tecnologias no mercado (GÓIS, 2016). Consequentemente, a taxa de obsolescência aumenta, enfatizando o avanço tecnológico.

Praticamente todos os produtos eletroeletrônicos são compostos por materiais metálicos, poliméricos e cerâmicos, dos quais boa parte pode ser reciclada e reutilizada, quando em bom estado. Alguns elementos, como as Placas de Circuito Impresso (PCI), presentes em quase todos os aparelhos eletrônicos, possuem uma grande diversidade de componentes, incluindo metais nobres de alto valor agregado como, por exemplo, ouro, prata, paládio, silício, entre outros (GÓIS, 2016). A reciclagem das PCI mostra grande potencial econômico devido às presenças de ouro, prata e cobre. Embora em pequenas quantidades, ouro e prata possuem um valor de mercado elevado (JESUS; CASQUEIRA, 2015).

A recuperação e reutilização estão entre as principais alternativas na busca pelo desenvolvimento sustentável, possibilitando a economia de matérias-primas não renováveis e de energia, reduzindo os impactos ambientais causados pelos resíduos gerados, no processo de produção (GÓIS, 2016).

A proposta deste trabalho é reciclar as placas de circuito impresso e utilizar este resíduo, após cominuição, como substituto parcial dos agregados na fabricação de argamassas (FERRARI, 2018).

Milhões de toneladas de lixo são gerados por ano no mundo. O Brasil é o país que mais gera lixo eletrônico entre os países emergentes. O lixo eletrônico é produzido por materiais pesados como cobre, alumínio, mercúrio, cádmio, chumbo etc. Esse lixo lançado no meio ambiente sem um descarte adequado, além de prejudicar o meio ambiente através da lixiviação, alcançando os lençóis freáticos, podem prejudicar mais diretamente os animais e os seres humanos através do contato físico com esses metais ou a inalação, caso seja lançado a céu aberto.

Boa parte dos REEEs (Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos) recebem jatos ou banhos de substâncias químicas. Esses banhos químicos nos resíduos eletrônicos têm a finalidade de protegê-los de corrosão e favorecer o retardo de chamas. A separação para processar e reciclar muitos desses elementos para extração de cada elemento químico exige procedimentos complexos, impacto e custo altos em relação ao tratamento de resíduos como garrafa de vidro e latas de alumínio (Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial - ABDI, 2013 apud AFONSO et al, 2017)

O descarte inadequado das PCI no meio ambiente, geraram uma demanda em grande escala da reciclagem das placas de circuito impresso, fazendo com que fosse necessário a inserção desses resíduos na argamassa. Essa inserção é uma tecnologia que ainda está em fase de estudos, mas já é uma alternativa para a reciclagem das PCI, inserindo-as na composição de argamassas, concretos etc.

Os valores da resistência à compressão das argamassas com resíduo são muito próximos da argamassa de referência, logo a adição do resíduo na argamassa, considerando essa propriedade de fundamental importância, é viável (FERRARI et al., 2018)

A maior parte das placas que temos no Brasil é suprida através da importação, visto que é difícil a competição com outros países fabricantes, como no caso de países desenvolvidos como Japão, e alguns países emergentes como Coreia, Taiwan e Singapura. Devido a grande complexidade de materiais presentes nas PCI, outros setores que podem ser beneficiados com a utilização desses resíduos são os de indústria metalúrgica, química e mecânica, através da separação e moagem dos compostos de metais valiosos presentes nesse objeto.

Para utilização dos resíduos é necessário fazer a moagem, que consiste na transformação do resíduo em pó (cominuição) o que está intimamente ligada a indústria química através da separação dos reagentes usados para a produção das PCI, assim como a indústria metalúrgica que trabalha com os metais recuperados de valores consideráveis, como cobre, ouro, prata. Visto que é um processo viável para a produção da argamassa e que além de tudo dá um destino mais adequado para esse tipo de material que é tóxico para o meio ambiente, a indústria cerâmica pode incluir dentro de seus produtos as massas com resíduos de placas de circuito a fim de uma maior geração de renda pois a reutilização dessas placas já substitui os produtos usados anteriormente na fabricação de argamassa, além de contribuir com o ecossistema.

O nível de maturidade da tecnologia abordada (resíduos de placas de circuito impresso em argamassa) segundo a calculadora de TRL (nível de maturidade tecnológica) é de 2,5. Seguindo alguns princípios:

Para o TRL 1 (princípios básicos observados e relatados):

Foram identificados os princípios básicos, as potenciais aplicações, pouco relatos e documentos mostram os riscos da tecnologia, não existe fonte monetária mas sabe-se que houve experimentos em laboratório de universidades e, por fim, existem publicações de artigos científicos e monografias que abordam similarmente a tecnologia em questão.

Para o TRL 2 (conceito tecnológico e/ou aplicação formulados):

Foram identificadas as principais funções a serem desempenhadas pela tecnologia assim como sua funcionalidade, sua viabilidade e o seus potenciais clientes. Porém, não identificamos competitividade nem projetos apoiadores, nem clientes com interesse na aplicação.

Para o TRL 3 (prova de conceito experimental e analítica, da função crítica e/ou característica):

A viabilidade dessa tecnologia foi comprovada por experimentos laboratoriais, identificando assim quais componentes devem trabalhar juntos, quais são os componentes chaves, quais as técnicas de desenvolvimento e quais os custos, riscos e defeitos que o desenvolvimento do protótipo pode oferecer. Entretanto, não foram avaliados os conceitos de fabricação da tecnologia e são poucos os documentos que existem sobre o projeto conceitual.

A inovação tecnológica com base na tríplice hélice só é possível através do conhecimento desenvolvido nas universidades, que é encaminhado para as empresas que analisam e comercializam com o apoio do governo. Dessa forma, a inovação contribui para o desenvolvimento econômico, para a competitividade do mercado e para o bem estar da sociedade.

No nosso objeto de análise, observa-se que a realidade é diferente do modelo ideal, visto que a inserção dos resíduos das PCI na argamassa encontra-se ainda em fase de estudo, de acordo com a calculadora TRL que calcula o nível de maturidade tecnológica, é de 2,5. Dessa forma, a relação universidade-governo-empresa ainda não está estabelecida. Isso acarreta numa produção tecnológica exógena.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a reciclagem das PCI para a inserção do seu resíduo na argamassa e a retirada dos materiais pesados e valiosos, há uma diminuição desse lixo no meio ambiente, que muitas vezes são jogados a céu aberto, podendo trazer prejuízos para o ecossistema e para os seres humanos, pois há materiais químicos que podem chegar aos lençóis freáticos por lixiviação que por consequência nos afeta.

A incorporação dos resíduos de PCI na argamassa é um processo viável, visto que a resistência da argamassa não perde qualidade considerável. Dessa forma, as PCI recicladas terão um destino mais adequado, pois é possível e viável economicamente, estando contribuindo para o meio ambiente.

Dado isso, o potencial inovativo afeta vários mercados, como o de metalurgia, químico, civil e mecânica, porém, com o modelo da tríplice hélice que temos, as universidades, sem o incentivo do governo, não estão totalmente ligadas com as indústrias, o que dificulta com que uma inovação saia dos estudos e chegue ao mercado para ser consumido pela população.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## REFERÊNCIAS

AFONSO, Tarcisio et al. RESÍDUOS ELETRÔNICOS – UM ESTUDO UTILIZANDO A METODOLOGIA DO BALANCED SCORECARD. VI Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade (SINGEP) e V Encontro Luso-Brasileiro de Estratégia (ELBE). Disponível em: <<https://singep.org.br/6singep/resultado/407.pdf>>. Acesso em: 28 ago. 2019.

ÁVILA, Quêzia. PLACA MÃE. +14 contribuintes online. Disponível em: <<http://toth.net.br/project/25>>. Acesso em: 12 abr. 2019.

DORO, Marcos Marinovic. SISTEMÁTICA PARA IMPLANTAÇÃO DA GARANTIA DA QUALIDADE EM EMPRESAS MONTADORAS DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/87460/207492.pdf>>. Acesso em: 14 abr. 2019.

FERRARI, J. R. et al. REAPROVEITAMENTO DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS. 23o Cbecimat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Foz do Iguaçu/PR, p. 362-373.04 nov. 2018. Disponível em:

<<http://cbecimat.com.br/anais/PDF/Ig07-012.pdf>>. Acesso em: 24 mar. 2019.

G. MOREIRA, Italo. HISTÓRIA DA PLACA-MÃE ( MOTHERBOARD ). 2009. Disponível em:  
<<http://projetobilgi.blogspot.com/2009/06/historia-da-placa-mae-motherboard.html>>. Acesso em: 12 abr. 2019.

GOMES, Myller Augusto Santos; PEREIRA, Fernando Eduardo Canziani. HÉLICE TRÍPLICE: UM ENSAIO TEÓRICO SOBRE A RELAÇÃO UNIVERSIDADE-EMPRESA-GOVERNO EM BUSCA DA INOVAÇÃO. International Journal of Knowledge Engineering and Management (IJKEM). Florianópolis/SC. v.4, n.8, p.136-155, mar/jun. 2015. Disponível em: <<http://incubadora.periodicos.ufsc.br/index.php/IJKEM/article/viewFile/3309/4071>>. Acesso em: 05 set. 2019.

GIL, Luis; ANDRADE, Maria Harmínia; COSTA, Maria do Céu. OS TRL TECHNOLOGY READINESS LEVELS COMO FERRAMENTA NA AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA. Engenharia de Materiais. Ingenium. Janeiro/Fevereiro, 2014.

GÓIS, Elder Santos de. ANÁLISE DE ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO COM INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO (PCI). 2016. 22 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN, 2016. Disponível em: <<https://monografias.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/3093/1/An%C3%A1lise%20-%20argamassa%20-%20res%C3%ADduos%20-%20Elder%20Santos%20-%20Artigo.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2019.

JESUS, Theo Antonio de; CASQUEIRA, Rui de Goes. CARACTERIZAÇÃO E BENEFICIAMENTO PRIMÁRIO DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO (PCI) DE TELEFONES CELULARES: Characterization and primary processing of mobile phones printed circuit boards (PCB). [Vassouras]: Revista Eletrônica Teccen, 2015. Disponível em: <<http://editora.universidadevassouras.edu.br/index.php/TECCEN/article/view/495>>. Acesso em: 20 mar. 2019.

JÚNIOR, Sérgio de Souza Henrique et al. PROCESSAMENTO DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS DE PEQUENO PORTE. 4. ed. São Paulo: Química Nova, 2013. Disponível em:  
<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-40422013000400015](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422013000400015)>. Acesso em: 20 mar. 2019.

MEHL, Ewaldo Luiz de Mattos. CONCEITOS FUNDAMENTAIS SOBRE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO. Disponível em: <[http://www.eletrica.ufpr.br/mehl/te232/textos/PCI\\_Conceitos\\_fundamentais.pdf](http://www.eletrica.ufpr.br/mehl/te232/textos/PCI_Conceitos_fundamentais.pdf)>. Acesso em: 12 abr. 2019.

MELO, Paulo Roberto de Sousa; RIOS, Evaristo Carlos Duarte; GUTIERREZ, Regina Maria Vinhais. PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO: MERCADO ATUAL E PERSPECTIVAS. Disponível em:  
<[https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/13440/2/BS%2014%20Placas%20de%20Circuito%20Impresso\\_Mercado%20Atual%20e%20Perspectivas\\_P\\_BD.pdf](https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/13440/2/BS%2014%20Placas%20de%20Circuito%20Impresso_Mercado%20Atual%20e%20Perspectivas_P_BD.pdf)>. Acesso em: 14 abr. 2019.

NASA. Technology Readiness Level. 28 de outubro de 2012. Disponível em: <<https://www.nasa.gov/>>. Acesso em 09 de agosto de 2019.

OFFICE, European Patente. Espacenet: Patent search. Disponível em:  
<<https://worldwide.espacenet.com/>>. Acesso em: 03 jun. 2019.

PRESTES, Gabriel et al. Inovação no Brasil e sua Relação com a Tríplice Hélice Universidade. XVII Mostra de Iniciação Científica, Pós-Graduação, Pesquisa e Extensão. Universidade de Caxias do Sul (UCS), RS. 27 e 28 de outubro de 2017. Disponível em: <<http://www.ucs.br/etc/conferencias/index.php/mostraucspgga/xviimostrappga/paper/viewFile/5066/1806>>. Acesso em: 02 de junho de 2019.

SIMOES, Alexander. THE OBSERVATORY OF ECONOMIC COMPLEXITY. Disponível em:  
<<https://atlas.media.mit.edu/pt/profile/country/bra/>>. Acesso em: 15 abr. 2019.

INTERNATIONAL  
SYMPOSIUM ON  
TECHNOLOGICAL  
INNOVATION



SEPTEMBER 25<sup>TH</sup> TO 27<sup>TH</sup>, 2019  
ARACAJU, SERGIPE, BRAZIL

TANAUE, Ana Claudia Borlina et al. LIXO ELETRÔNICO: AGRAVOS A SAÚDE E AO MEIO AMBIENTE. *Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde*, vol. 19, núm. 3, 2015, p. 130-134. Universidade Anhanguera. Campo Grande, Brasil. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/pdf/260/26042169006.pdf>>. Acesso em: 30 ago. 2019.