

Adequação às exigências ambientais da diretiva RoHS – Restriction of Hazardous Substances: um desafio à indústria eletroeletrônica no Brasil

Compliance with the environmental rules of the Restriction of Hazardous Substances (RoHS): challenges for the electronic industry in Brazil

Mauro Silva Ruiz^a

Pedro Luiz Côrtes^b

Alexandre Oliveira Aguiar^c

Amarilis Lucia Casteli Figueiredo Gallardo^d

Cristiano Capellani Quaresma^e

^aDoutor em Geografia (PhD)

Diretor e professor doutor do Mestrado Profissional em Administração: Gestão Ambiental e Sustentabilidade e professor do Programa de Mestrado em Cidades Inteligentes e Sustentáveis na Universidade Nove de Julho – Uninove, São Paulo, Brasil
maurosilvaruiz@uninove.br

^bPós-Doutor em Ciências e Tecnologia do Ambiente pela Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Professor Associado (Livre Docente) do Departamento de Informação e Cultura da Escola de Comunicações e Artes na Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, Brasil
cortespl@gmail.com

^cDoutor em Saúde Pública

Professor doutor do Programa de Mestrado Profissional em Administração: Gestão Ambiental e Sustentabilidade e do Programa de Mestrado em Cidades Inteligentes e Sustentáveis na Universidade Nove de Julho – Uninove, São Paulo, Brasil
alexandre@aguiar.eng.br; aguiar@uni9.pro.br

^dPós-doutora em Ciências Ambientais pela School of Environmental Sciences da University of East Anglia

Professora Doutora do Programa de Mestrado Profissional em Administração: Gestão Ambiental e Sustentabilidade e do Programa de Mestrado em Cidades Inteligentes e Sustentáveis na Universidade Nove de Julho – Uninove, Professora do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, Brasil
amarilislcfgallardo@gmail.com

^eDoutor em Geografia Professor do Programa de Mestrado em Cidades Inteligentes e Sustentáveis na Universidade Nove de Julho – Uninove, São Paulo, Brasil:
quaresmacc@uni9.pro.br

doi:10.18472/ReGIS.v2n2.2016.22032

Recebido em 28.09.2016

Aceito em 22.11.2016

ARTIGO - DOSSIÊ



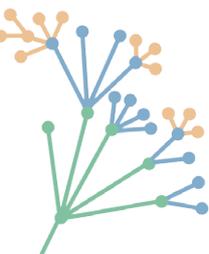
RESUMO

A evolução tecnológica motivada pela convergência de tecnologias tem se acentuado nas últimas décadas, por um lado, resultando em grandes benefícios à sociedade, mas, por outro, acentuando a obsolescência dos equipamentos eletroeletrônicos (EEE) e, conseqüentemente, a geração de resíduos a partir de suas utilizações e ao final de seus ciclos de vida. Preocupada com esses resíduos, que vêm sendo denominados de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEEs), a União Europeia promulgou a diretiva RoHS (*Restriction of Hazardous Substances*), restringindo o uso de substâncias perigosas nesses equipamentos. Essa diretiva implicou mudanças e adequações em toda a cadeia produtiva do setor de eletroeletrônicos na Europa e para eventuais exportadores. Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo geral analisar as principais estratégias empresariais que estão sendo consideradas no Brasil para o enfrentamento dos desafios apresentados pela RoHS às empresas instaladas no território nacional. O percurso metodológico da pesquisa incluiu revisão teórica, análise documental e entrevistas com representantes de empresas de eletroeletrônicos e organismos certificadores que avaliam a conformidade de produtos e processos com a RoHS. Como resultado da pesquisa foram identificadas quatro estratégias de adequação às exigências ambientais da RoHS: i) busca pela redução de custos decorrentes; ii) contramedidas: elevação do padrão de acesso ao mercado internacional; iii) investimento em inovação tecnológica; e iv) reorientação para o mercado interno. Além disso, também foram identificados os principais desafios em relação ao atendimento da diretiva RoHS no processo de alcance das estratégias mencionadas.

Palavras-chave: Diretiva RoHS. Resíduos eletroeletrônicos. Setor eletroeletrônico. Estratégias. Desafios.

ABSTRACT

The technological evolution motivated by the convergence of technologies has been accentuated in the last decades, on the one hand, resulting in great benefits to society, but, on the other hand, accentuating the obsolescence of electrical and electronic equipment (EEE) and, consequently, from their uses and at the end of their life cycles. Concerned about waste, the European Union issued a RoHS Directive (Restriction of Hazardous Substances), restricting the use of hazardous substances in those equipment. This policy caused changes and adjustments in the supply chain of the electronics industry in Europe and potential exporters. In this context, this study intended to identify the key business strategies being considered in Brazil and the challenges giving rise to face the problems highlighted by RoHS to companies operating in this country. Therefore, this study was based on literature review, document analysis and interviews with representatives of electronics companies and certification bodies that evaluate conformity of products and processes with RoHS. As a result of the research were identified four adaptation strategies to environmental requirements of RoHS: i) search for reduction of costs; ii) Countermeasures: standard lift access to the international market; iii) investment in technological innovation; and iv) shift to the domestic market. To achieve these



strategies are also identified the main challenges in relation to meeting the RoHS directive.

Keywords: RoHS directive. Electrical-electronics waste. Electrical-electronic sector. Strategies. Challenges.

1 INTRODUÇÃO

Os avanços tecnológicos dos sistemas produtivos e os ganhos de escala propiciados pela expansão dos mercados consumidores têm permitido o lançamento contínuo de produtos eletroeletrônicos de melhor desempenho. Esse cenário tem levado à rápida obsolescência de equipamentos recentemente produzidos e gerado uma grande quantidade de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEEs), nem sempre com o descarte adequado (GRIGOLETTO et al., 2010). Esses equipamentos são compostos por materiais, como plásticos, vidros e metais, que podem ser recuperados e retornados como insumo para a indústria de transformação. Por outro lado, as substâncias tóxicas como chumbo, cádmio, mercúrio e cobre, também encontradas nesses equipamentos, podem ser poluentes tóxicos para o meio ambiente e a saúde humana (MATTOS et al., 2008). Esse contexto demanda políticas públicas que garantam salvaguardas à população e meio ambiente, bem como que permitam gerenciar a grande quantidade de substâncias químicas perigosas contidas nesses equipamentos (AGUIAR et al., 2014).

Estudos acadêmicos têm sido desenvolvidos sobre os REEEs, adotando enfoques diversificados que incluem o seu aumento na Europa (DALRYMPLE et al., 2007), avaliação da eficiência de programas de reciclagem (NDZIBAH, 2009), a sua periculosidade e os problemas decorrentes de seu descarte inadequado (SARKIS; ZHU, 2008), os desafios enfrentados no seu manejo (OTENG-ABABIO, 2010), a inclusão dos REEEs em políticas de gestão de resíduos sólidos (ALHUMOUD; AL-KANDARI, 2008), o alcance de políticas nacionais ou regionais (BALKAU; SONNEMANN, 2010) e a implantação e gestão de sistemas de logística reversa (LAU; WANG, 2009), entre outros.

Preocupada com o aumento da quantidade de REEEs, em 2003, a União Europeia (UE) promulgou a diretiva 2002/95/EC que restringe o uso de determinadas substâncias perigosas em equipamentos eletroeletrônicos. Essa diretiva, denominada de RoHS (*Restriction of Hazardous Substances*), tem como objetivo equalizar as legislações dos países-membros da União Europeia, restringindo o uso nesses equipamentos de algumas substâncias consideradas perigosas (cádmio, chumbo, cromo-hexavalente, mercúrio, e os retardantes de chama éteres difenil-polibromados e polibromobifenilo), facilitando o seu descarte adequado ou sua reciclagem (ANSANELLI, 2008; IPT, 2007). Todas essas substâncias, mesmo sendo perigosas, são amplamente empregadas na indústria de bens eletroeletrônicos. O cádmio, por exemplo, é utilizado em ligas contidas em soldas de componentes em baterias, semicondutores e em tubos de TV. O chumbo é utilizado em alguns tipos



de baterias, em ligas de soldas e na proteção de alguns tipos de cabos elétricos (GRIGOLETTO et al., 2010). O cromo-hexavalente é empregado na produção de plásticos e tintas. O mercúrio é utilizado na produção de alguns tipos específicos de lâmpadas, em eletrodos e alguns equipamentos médicos. Os éteres difenil-polibromados e o polibromobifenilo são utilizados como retardantes de chama.

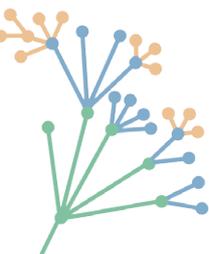
Entretanto, a preocupação em relação à presença de tais substâncias antecede a promulgação da RoHS, como exemplificado pela denominada “crise do cádmio”. Essa crise se abateu sobre a *Sony Corporation* no final de 2001, com a apreensão de um carregamento do videogame *Playstation* e multa de €17 milhões, devido à presença dessa substância em quantidade acima dos limites aceitáveis nos cabos dos controles do jogo (ESTY; WINSTON, 2009).

Na condição de um regulamento técnico com força de lei na União Europeia, a RoHS alinha-se à ideia de que as regulamentações ambientais são mecanismos que propiciam a internalização das externalidades negativas das produções industriais, demandando para tanto a adaptação de processos produtivos a qual impacta diretamente nos custos de produção, na competitividade e no faturamento das empresas (LÓPEZ-GAMERO et al., 2010). Balkau e Sonnemann (2010) destacam que o atendimento às exigências ambientais dessa diretiva ampliou os custos de desenvolvimento e produção de equipamentos, afetando toda a cadeia de suprimentos de grandes grupos exportadores.

No Brasil não existe uma legislação similar à RoHS, porém, existem regulamentações específicas que limitam o uso de metais pesados em pilhas e baterias e a instituição, pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010), da responsabilidade compartilhada na cadeia produtiva de eletroeletrônicos para a correta destinação dos resíduos desses produtos. Fabricantes de eletroeletrônicos, nacionais ou estrangeiros, instalados no país, principalmente os de computadores pessoais que têm tido um crescimento exponencial de vendas, vem adotando os requisitos da diretiva RoHS para comercialização no mercado interno e para exportação (BRESCANSIN, 2014).

A preocupação local com relação ao atendimento à diretiva tende a aumentar devido à grande expressão da indústria eletroeletrônica brasileira na economia nacional, inserindo-se em praticamente todas as atividades econômicas, incluindo geração de energia, telecomunicações e bens de produção e de consumo. Tal indústria trata-se de um importante gerador de divisas, uma vez que o país exportou um volume de US\$ 7,36 bilhões em 2013 (ABINEE, 2014).

Desse modo, conjectura-se que futuramente o volume de produção de eletroeletrônicos no país poderá ser fortemente influenciado pela capacidade das indústrias brasileiras se adaptarem às novas exigências e regulamentos ambientais que vêm surgindo e impactando o mercado desses produtos em nível mundial. Segundo Balkau e Sonnemann (2010), Hu e Hsu (2010), Lee (2009) e Goosey (2007), essas adaptações implicarão em ajustes em toda a cadeia produtiva. A adequação à RoHS ampliará a demanda por análises químicas nos laboratórios



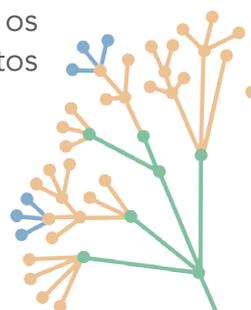
públicos e privados que tenham reconhecimento e credibilidade internacionais e a necessidade de apoio técnico por parte de instituições de pesquisa que atuam em programas governamentais de suporte a pequenos fabricantes de peças e acessórios destinados às empresas exportadoras que adotam a RoHS em seus processos produtivos (IPT, 2007). A internalização desses serviços especializados será incorporada aos custos de produção na cadeia produtiva, demandando o desenvolvimento de estratégias que precisam ser avaliadas adequadamente pelas empresas exportadoras diante da possibilidade de redução da competitividade dos eletroeletrônicos brasileiros no mercado europeu.

Em face das perspectivas de impactos vislumbrados pela adoção das premissas da diretiva RoHS no mercado brasileiro de eletroeletrônicos, a questão de pesquisa delineada para o desenvolvimento desta pesquisa foi: Como a indústria de eletroeletrônicos instalada no Brasil está se preparando para enfrentar os desafios na adequação dos seus produtos à diretiva RoHS? Em consonância com esta questão de pesquisa, o objetivo geral do estudo foi de analisar as principais estratégias empresariais que estão sendo consideradas no Brasil para o enfrentamento dos desafios apresentados pela RoHS às empresas instaladas no território nacional. Como objetivos específicos têm-se: identificar as principais estratégias empresariais do setor de eletroeletrônicos diante da diretiva RoHS; identificar ações resultantes dos desafios que emergem dessas estratégias.

O trabalho compõe-se pela revisão de literatura que abrange aspectos gerais da diretiva RoHS e uma caracterização da indústria eletroeletrônica no Brasil; a descrição dos procedimentos metodológicos; a apresentação dos resultados entremeada com o diálogo com a literatura, e as considerações finais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Regulamentos técnicos na área ambiental (como é o caso da RoHS) constituem-se em mecanismos efetivos que permitem às empresas internalizarem os efeitos de sua atividade produtiva no meio ambiente, requerendo uma adaptação de processos, gerando impactos em custos, competitividade e ganhos futuros (LÓPEZ-GAMERO; MOLINA-AZORÍN; CLAVER-CORTÉS, 2010). A decisão dos fabricantes de eletroeletrônicos em incorporar a RoHS em seus produtos, principalmente no caso dos grandes *players* globais, relaciona-se diretamente com as estratégias dessas empresas, uma vez que sua atratividade e posição competitiva nos mercados se modificam ao longo do tempo (PORTER, 1989). Em decorrência, a predição sobre o comportamento dos competidores é incerta (BARNEY; HESTERLY, 2011), afetando seu desempenho imediato e futuro e impactando a geração e manutenção de vantagens competitivas. No caso da RoHS, Brescansin (2014) observou que a sua adoção pelas grandes empresas e corporações no segmento de computadores pessoais, em princípio, se deu para o atendimento da legislação de países para os quais eram feitas as exportações e, em seguida, foi estendida a todos os produtos



e processos para o atendimento dos requisitos sobre substâncias perigosas da diretiva. Segundo esse mesmo autor, o fato de uma empresa adotar a diretiva não influenciou necessariamente a adoção pelos seus concorrentes.

2.1 A DIRETIVA ROHS E SEUS DESAFIOS PARA A INDÚSTRIA

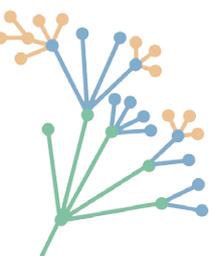
Na União Europeia, a cada cinco anos, verifica-se um crescimento entre 16% e 28% na quantidade de REEEs (DALRYMPLE et al., 2007), o que levou à promulgação da diretiva 2002/95/CE e 2002/96/CE. A primeira restringe o uso de determinadas substâncias perigosas em equipamentos elétricos e eletrônicos (Quadro 1), sendo conhecida como RoHS. A segunda diretiva é denominada de *Waste Electrical and Electronic Equipment* (WEEE) e delibera que as empresas produtoras ou importadoras se responsabilizem pela coleta e reciclagem de equipamentos eletroeletrônicos descartados (ANSANELLI, 2011).

Tabela 1 – Usos de substâncias consideradas na RoHS, limites máximos toleráveis, impactos ambientais e riscos para a saúde humana

Substâncias	Máximo (ppm)	Uso comum	Impactos ambientais	Riscos para a saúde humana
PBB/PBDE Bromobifenilas	1000	Retardante de chama em polímeros, revestimentos e PCB	Biocumulativo, resistente à decomposição	Cancerígeno e neurotóxico
Cádmio (Cd)	100	Revestimentos, soldas, semicondutores, contatos, PVC, pigmentos	Biocumulativo, tóxico e resistente à decomposição	Cancerígeno, causa desmineralização óssea
Chumbo (Pb)	1000	Soldas, tintas, pigmentos, revestimentos, plásticos, PVC, aço galvanizado	Efeito cumulativo e toxicológico em plantas, animais e micro-organismos	Afeta os sistemas nervoso e cardiovascular
Cromo (Cr hexavalente)	1000	Revestimentos anticorrosivos, plásticos metalizados	Facilmente absorvido por organismos, altamente tóxico	Genotóxico e alergênico
Mercúrio (Hg)	1000	Lâmpadas fluorescentes, sensores, relays	Biocumulativo	Causa problemas neurológicos e danos cerebrais

Fonte: The European Parliament and The Council of The European Union, 2010.

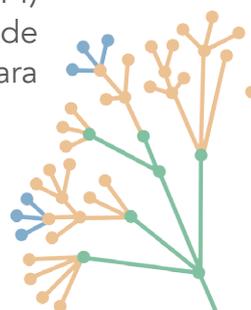
A diretiva RoHS, em especial, tem provocado mudanças em cadeias de suprimentos do segmento eletroeletrônico (CHE et al., 2010), fazendo com que diversas indústrias em todo o mundo avaliem aspectos ambientais antes desconsiderados (HU; HSU, 2010) e reorganizem seu sistema de suprimentos (CHAGAS et al., 2011). Em decorrência disso, seria presumível que a RoHS levasse a um aumento do uso de sistemas de gestão ambiental, repercutindo mais amplamente na operação dessas empresas. A pesquisa desenvolvida por Nawrocka (2008), entretanto, mostra que as pequenas empresas fornecedoras de componentes ou subconjuntos buscam atender especificamente à RoHS, com a ISO 14001 funcionando apenas como um critério opcional de seleção de fornecedores. Verifica-se que, sem uma pressão dos fabricantes, as medidas legais ou voluntárias terão apenas influência parcial na adoção de sistemas de gestão ambiental nas cadeias de suprimentos (NAWROCKA, 2008).



Situação análoga foi verificada em grandes indústrias japonesas que, embora tenham implementado sistemas internos de gestão ambiental, esta prática de gestão não repercutiu em seus fornecedores, resultando em dificuldade para criar uma cadeia verde de suprimentos (ZHU; LIU, 2010). Ampliando essa perspectiva, há que se considerar a importância das ações empreendidas pelos órgãos intergovernamentais, como acontece na União Europeia com diretivas como a RoHS (BALKAU; SONNEMANN, 2010). Segundo esses autores esse tipo de abordagem é mais eficaz, pois atende às expectativas e necessidades dos diversos países-membros. Dessa forma, segundo alguns trabalhos (BALKAU; SONNEMANN, 2010; ZHU; LIU, 2010; NAWROCKA, 2008), a adoção de diretivas como a RoHS, em que se impõe mudanças que impactam as cadeias de suprimentos, tende a ser mais efetiva em termos de gestão ambiental do que as exigências decorrentes de sistemas ou normas como as do sistema ISO 14001 de gestão ambiental.

Embora a seleção de fornecedores seja fundamental, é na fase de projeto que muitos dos desafios devem ser superados (DALRYMPLE et al., 2007). Segundo Zhu e Liu (2010), iniciativas de *ecodesign* têm sido a resposta adotada por alguns fabricantes chineses de equipamentos para telecomunicações em busca de um melhor desempenho ambiental. Isso, de certa forma, contraria o que foi manifestado por Yang (2008), que mencionou a dificuldade de aplicação do *ecodesign* na indústria de equipamentos eletroeletrônicos na China. Apesar dos esforços empreendidos, em algumas empresas o uso dessa ferramenta de gestão ainda está em um estágio inicial, devido à ausência que fomentem essas iniciativas (ZHU; LIU, 2010), embora esse seja um tema que tem despertado interesse crescente na literatura (JOHANSSON; WINROTH, 2010; PALOVIITA; LUAMA-AHO, 2010; JOHANSSON; BRODIN, 2008). O *ecodesign* envolve, em parte, aspectos como facilitar a desmontagem e reciclagem ao final da vida útil, e em grande medida a seleção de materiais, o que é essencial para atendimento à diretiva RoHS. A seleção de materiais depende, em grande parte, de métodos analíticos para detecção das substâncias restritas. Em alguns casos, esses métodos continuam sendo um desafio. Entre os exemplos de novos desenvolvimentos estão a detecção de cromo hexavalente em retardantes de chama (KIM et al., 2015; DUARTE et al., 2013); e o desenvolvimento de materiais de referência para certos métodos analíticos como fluorescência com raios x com microfoco (RACKWITZ et al., 2013) e para determinação de bromo em polímeros (MIURA et al., 2015).

Além das iniciativas de *ecodesign*, a seleção adequada de fornecedores tem merecido especial atenção das empresas preocupadas com a RoHS. Che et al. (2010) desenvolveram um modelo decisório, tendo como base o *Particle Swarm Optimization* (PSO) que é um método computacional iterativo de busca de soluções a partir de um determinado parâmetro preestabelecido, que seleciona os fornecedores com base nas diretivas WEEE e RoHS e que apresentam menor custo total. Kuo e Chu (2013) desenvolveram um método baseado em análise de risco utilizando o Modo de Análise de Falhas e seus Efeitos (FMEA). Dou et al. (2014) trabalharam em um modelo baseado em rede analítica cinza para inclusão de critérios ambientais, especificamente em um ambiente com exigências RoHS, para



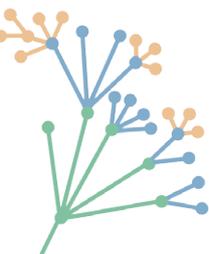
seleção de fornecedores. Chen et al. (2012) utilizaram o método de redes neurais para seleção de componentes incluindo critérios RoHS. Zhou et al. (2016) utilizaram programação linear para estudar a minimização do custo da adaptação à diretiva RoHS com base no ciclo de vida do produto. Pecht et al. (2016) propuseram uma matriz de risco para apoiar equipes de empresas ainda não adaptadas à RoHS e que precisam realizar o processo de transição.

Outros avanços foram verificados com a alteração de processos tradicionalmente consagrados na produção de equipamentos eletroeletrônicos. Por exemplo, o processo de soldagem de componentes eletroeletrônicos é usualmente efetuado com uma liga de estanho e chumbo. Com a proibição do uso de chumbo, determinada pela RoHS, tornou-se necessário o desenvolvimento de novas tecnologias de soldagem (MALLIK et al., 2010). Uma das alternativas mais conhecidas é o uso de ligas de estanho e prata. Fuse e Tsunemi (2013) chamam a atenção que esta solução, assim como outras alternativas, podem trazer novas consequências ambientais ainda não avaliadas devido ao aumento de uso desses ou de outros elementos e substâncias alternativas. Há também estudo (HÖVEL; VERBRUGGE, 2008) que avalia a cinética de decomposição ambiental, para demonstrar um método de seleção de diferentes materiais que estejam em conformidade com a referida diretiva.

Situações desse tipo remetem a um estudo clássico de Porter e Van Der Linde (1995), pois as limitações quanto ao uso de certas substâncias, embora possam representar barreiras comerciais importantes, também podem induzir ao desenvolvimento de inovações que sejam também lucrativas em longo prazo. No caso da RoHS, por apresentar requisitos de qualidade para produtos incluindo importados, há uma expectativa de que isso force mudanças nos mercados exportadores. Por exemplo, a adaptação dos fabricantes de solda isentos de chumbo tem sido observada em outros países tais como a China (TONG et al., 2012).

A atenção na fase de projeto, a escolha adequada de fornecedores e o empenho em desenvolver novos processos produtivos demonstram os esforços realizados pelas empresas do segmento eletroeletrônico em busca de uma adequação à RoHS (QUI; TANNOCK, 2010). Tanto a RoHS como a WEEE estão em plena vigência e têm estimulado o surgimento de restrições similares em outros países fora do bloco europeu, como é o caso da RoHS Korea e da RoHS Califórnia (HU; HSU, 2010), cuja aplicação vem reduzindo o impacto ambiental de produtos eletroeletrônicos e criando condições para uma melhor adequação às exigências de outras nações ou blocos econômicos. As mudanças que a RoHS vêm provocando nos materiais usados em equipamentos eletrônicos não atingem somente aqueles abrangidos pela legislação europeia. No Japão, por exemplo, esses equipamentos representam cerca de 41% do mercado, no entanto a solda isenta de chumbo já é usada em 80% dos produtos eletrônicos (FUSE; TSUNEMI, 2013).

A implementação das versões locais enfrenta certas resistências, sendo um dos motivos iniciais a falta de harmonização com a RoHS europeia, que é base para as versões coreana e californiana (DOU; SARKIS, 2013). Além disso, esses autores



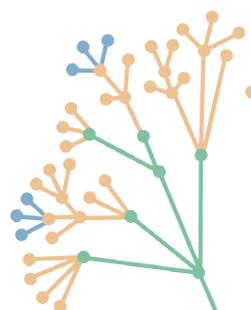
também ressaltam a importância de envolver pequenas e médias empresas para uma implantação realmente abrangente.

Kama e Shiratori (2016) comentam que a implantação das versões asiáticas (Japão, Coreia e China) da RoHS acabou por influenciar globalmente todo o ambiente dos negócios de produtos eletroeletrônicos por terem encontrado formas mais práticas e baratas de demonstrar o cumprimento dos requisitos da RoHS, particularmente por meio de rotulagem de materiais ao longo da cadeia de suprimentos, com controle de *Lotes*, em vez de um grande número de análises de materiais. Esse tipo de procedimento, que diminui a quantidade de testes físicos realizados, requer um maior nível de confiança entre os atores da cadeia de suprimentos (STEPHAN, 2016).

São vários os desafios a serem superados pelos produtores, distribuidores e revendedores de peças e componentes da área de TI para que seus produtos estejam em conformidade com a RoHS (GOOSEY, 2007), tais como o tamanho da empresa, seus produtos, os materiais e componentes que ela adquire externamente, quem são seus fornecedores e onde estão localizados, entre outras considerações. Os fatores que influenciam o desenvolvimento dos chamados “produtos verdes” vêm sendo estudados, o que é especialmente importante para as indústrias taiwanesas, pois elas exportam para a Europa cerca de € 5,1 bilhões por ano (HUANG; WU, 2010). Algumas empresas têm recorrido a consultorias especializadas, pois a falta de familiaridade com exigências ambientais, como a RoHS e a WEEE, acaba prejudicando empresas que pretendam manter negócios e operações na Europa (RIOS-MORALES; BRENNAN, 2010). O governo chinês, por exemplo, está ajudando as empresas daquele país a superarem essas dificuldades com o auxílio da *Chemical Inspection and Regulation Service* (CIRS), uma empresa que presta consultoria sobre assuntos regulatórios para indústrias chinesas e seus importadores. No Brasil, particularmente no estado de São Paulo, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), por meio do Programa de Apoio à Exportação (Progex), também vem apoiando algumas companhias fornecedoras de insumos para empresas exportadoras.

Kanapathy et al. (2016) destacam que para as pequenas e médias empresas a adaptação à RoHS pode apresentar desafios adicionais, mas que no entanto é possível alcançar relações ganha-ganha para estabelecer suas próprias compras no sentido de atender à RoHS.

Evans (2012) destaca que a versão mais recente da diretiva RoHS, que passou a vigorar desde janeiro de 2013, impõe como desafio às empresas eliminar todos os produtos e materiais que ainda não atendem aos seus requisitos. Desse modo, a versão atual da RoHS, mantém o foco nas substâncias restritivas definidas anteriormente, ampliando drasticamente o escopo de produtos e equipamentos que precisarão atendê-las, incluindo equipamentos eletromédicos e instrumentos de controle e monitoramento industrial, entre outros.



Abrams (2011) argumenta que novas regulações vão além de restrições ao uso de algumas substâncias perigosas como as especificadas na RoHS, não se limitando apenas às preocupações com o uso e o descarte de produtos e equipamentos contendo apenas um grupo de seis substâncias perigosas, mas à responsabilidade social corporativa. Some-se a isso o vasto leque de substâncias químicas que estão sendo continuamente introduzidas pela EC 1907/2006, mais conhecida como *Registration, Evaluation and Authorization of Chemical Regulation* – REACH (EUROPEAN PARLIAMENT AND COUNCIL REGULATION, 2006), com as quais os gestores das cadeias de suprimento têm que se preocupar.

Preocupado com a efetiva aplicação da nova RoHS, Walker (2011) questiona pontos ainda não esclarecidos, como as isenções ao atendimento dos requisitos da RoHS original e da sua nova versão em aplicações específicas, considerando que tais isenções não podem enfraquecer os requisitos de proteção ao meio ambiente e à saúde humana estabelecidos pela Reach.

A Figura 1 mostra as inter-relações de variáveis pelo lado da demanda de controle de substâncias restritivas e da oferta de análises químicas para atendimento da diretiva RoHS. Essa figura procura evidenciar as pressões diretas e indiretas sobre os ofertantes de produtos eletroeletrônicos e a resposta dos países fabricantes em termos de estruturação de capacitação laboratorial para o atendimento de análises químicas demandadas.

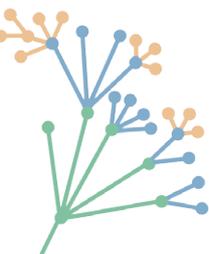


Figura 1 – Inter-relações entre a necessidade de controle de substâncias restritivas pela RoHS e a oferta de análises químicas

Fonte: elaborado pelos autores

2.2 A INDÚSTRIA DE ELETROELETRÔNICOS NO BRASIL

A indústria de eletroeletrônicos é um setor bastante dinâmico no Brasil. Segundo a Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica – Abinee (2014), as indústrias do setor tinham 183 mil empregados em dezembro de 2012, exportaram US\$ 7,8 bilhões e importaram US\$ 40,2 bilhões em 2012. As importações de componentes representam aproximadamente 50% do setor e o faturamento projetado para o mesmo ano foi da ordem de US\$ 74 bilhões. Hauser et al. (2007), ao comparar

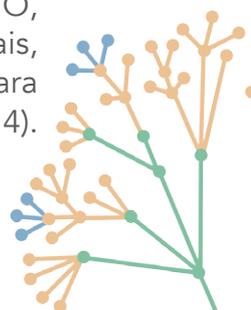


políticas públicas do Brasil e da China para estímulo à capacidade tecnológica no setor eletroeletrônico, avaliam que estas vêm atingindo sucesso no desenvolvimento de indústrias de montagem de bens de consumo, equipamentos de informática e de telecomunicações. Ressaltam, no entanto, que o mesmo sucesso não ocorreu em relação à produção de componentes eletrônicos, fato que compromete a competitividade do setor. Ainda segundo os autores, as políticas públicas chinesas se basearam nos incentivos fiscais para atração de investimentos estrangeiros e formação de *joint-ventures*, que consolidaram um parque industrial inicialmente baseado na montagem de aparelhos, mas que posteriormente se desenvolveu particularmente na produção de semicondutores.

Jabbour e Jabbour (2012), por meio de um *survey* com empresas associadas à Abinee, concluíram que é preciso que as empresas montadoras de produtos eletroeletrônicos invistam mais no uso de tecnologia de informação para integrar processos, planejar e desenvolver produtos, e ampliar as práticas de gestão de cadeia de suprimentos. A baixa competitividade em componentes da indústria eletroeletrônica brasileira é confirmada, por exemplo, por Oliveira e Silveira (2009). Esses autores, que estudaram a cadeia produtiva de placas de circuito impresso, destacam a ausência de fabricantes de porte e escala, principalmente em placas mais simples.

Em relação à gestão da cadeia de suprimentos no setor eletroeletrônico, Jabbour et al., (2013) destacam que as práticas mais frequentes se relacionam com a integração e apoio das atividades de desenvolvimento de produtos com os clientes; não sendo verificadas relações significativas entre as prioridades competitivas das empresas estudadas e a adoção de práticas de gestão da cadeia de suprimentos. Castanheira et al. (2011), ao estudar a questão da verticalização ou não no mercado de telefones celulares, concluiu que, em um mercado maduro, a presença de compradores fortes e a possibilidade clara da entrada de novos competidores indicam possivelmente o modelo desverticalizado como mais apropriado, considerando os ciclos curtos de introdução de novos produtos, a modularidade e outras características do setor.

Do ponto de vista tecnológico, Damião et al. (2009) relatam que a maior dificuldade para desenvolvimento de produtos é a baixa disponibilidade de materiais com qualidade para o processo de prototipagem, em particular os plásticos isentos de mercúrio exigidos na comunidade europeia, atrasando o processo de desenvolvimento. Embora a pesquisa tecnológica no Brasil com a adequação da RoHS seja limitada, há grupos de pesquisa nacionais desenvolvendo o tema de reciclagem de materiais que atendem aos requisitos da RoHS, como o grupo de Espinosa (2013), que estuda um método para recuperação de metais de placas de circuito impresso *lead-free* e Schenkel et al. (2006) com pesquisas acerca de adesivos condutivos para substituição da solda metálica com vantagens de preservação de componentes eletrônicos. Adicionalmente é importante notar que as políticas de compras públicas sustentáveis já incorporam a possibilidade de especificação de equipamentos aderentes à diretiva RoHS (MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO, 2010). A Positivo, fabricante de computadores pessoais, tem uma linha de produção em conformidade com os requisitos da RoHS para participação em licitações de compras públicas sustentáveis (BRESCANSIN, 2014).



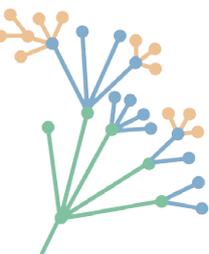
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esta pesquisa é de natureza prospectiva adotando uma abordagem qualitativa que buscou estabelecer um entendimento inicial dos desafios impostos pela diretiva RoHS às empresas de eletroeletrônicos estabelecidas no Brasil e de como essas empresas e o governo vêm planejando e adotando ações para a superação dos eventuais obstáculos. A fonte de dados da pesquisa fundamenta-se em informações oriundas de revisão bibliográfica, levantamento documental e entrevistas semiestruturadas.

A revisão bibliográfica baseou-se em artigos nacionais e internacionais sobre a diretiva RoHS e temas correlatos relacionados à regulamentação ambiental, publicados a partir de 2005, e registrados nas bases de dados *Scopus* e *Web of Science*. As palavras-chave utilizadas na busca foram, respectivamente: *European directives; electronic waste recycling; Restriction of Hazardous Substances; waste on electric and electronic equipment; RoHS compliance* e *green management*. Esses termos traduzidos para o Português foram utilizados em buscas nas bases de dados nacionais Google Acadêmico, Spell e banco de teses e dissertações da Coordenação de Pessoal de Nível Superior (Capes).

Para a realização da pesquisa documental procedeu-se à análise de relatórios técnicos de instituição de pesquisa e de *sites* da Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (Abinee), da Associação Nacional de Fabricantes de Produtos Eletroeletrônicos (Eletros), da Associação Brasileira da Indústria de Artigos e Equipamentos Médicos, Odontológicos, Hospitalares e de Laboratórios (Abimo) e do *European Parliament and Council Regulation* e do Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão.

A amostra de participantes da pesquisa foi do tipo não probabilística e definida a partir de contatos com profissionais: de instituições de pesquisa que possuem laboratórios especializados em análises químicas para o atendimento da diretiva RoHS, de empresas demandantes dessas análises e de organismos certificadores. A composição da amostra com identificação das organizações, quantidade de profissionais entrevistados e suas posições / cargos é apresentada no Quadro 1.



Quadro 1 – Caracterização dos respondentes das entrevistas

Organização	Tipologia da organização	N. de entrevistados	Posição / cargo
Whirlpool	Empresa de eletroeletrônico	1	Executivo
Bematech	Empresa de eletroeletrônico	1	Executivo
Bureau Veritas	Organismo certificador	1	Executivo
TÜV Rheinland	Organismo certificador	2	Executivos
SGS	Organismo certificador; laboratório especializado em RoHS	3	1 executivo e 2 especialistas em RoHS
Inmetro	Organismo certificador	2	Executivos
HCG Tecnologia	Laboratório especializado em RoHS	1	Executivo; especialista em RoHS
Centro de Metrologia em Química do IPT	Laboratório especializado em RoHS	2	Especialistas em RoHS

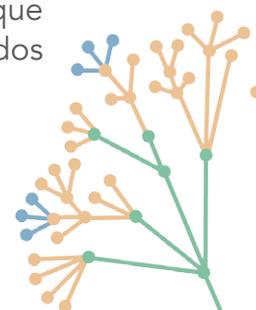
Fonte: ????

Houve uma maior concentração de entrevistas nos organismos certificadores (Bureau Veritas, TÜV Rheinland, SGS e Inmetro), pois essas organizações geralmente encaminham seus clientes, constituídos por empresas interessadas no atendimento dos requisitos da RoHS, aos laboratórios especializados no atendimento das demandas dessa diretiva. Dessa forma, esses organismos são grandes conhecedores das demandas e desafios relativos à diretiva enfrentados por essas empresas.

A opção pela entrevista na Whirlpool deveu-se ao fato de praticamente haver somente duas grandes empresas do segmento de linha branca (fabricantes de geladeiras, refrigeradores e congeladores, fogões, lava-roupas e ar-condicionado), que exportam e são grandes demandantes de análises químicas para comprovarem conformidade de seus produtos à RoHS. Essas duas empresas são, respectivamente, a Whirlpool e a Electrolux. A facilidade de acesso a um dos executivos da Whirlpool também foi um dos fatores determinantes da sua seleção.

A Bematech foi a única do segmento da linha branca (fabricantes de *desktops*, *notebooks*, impressoras e aparelhos celulares) que se mostrou disponível a participar da entrevista. Algumas empresas importantes desse segmento que não foram entrevistadas são: HP, Dell, Sony, Lenovo, Samsung, LG, Positivo e Oki (ex-Itautec), entre outras. Embora não existam estimativas precisas sobre a quantidade de empresas ofertantes de EEEs e, por decorrência de REEEs no país, estima-se que sejam da ordem de milhares. Há que se considerar, no entanto, que muitas dessas empresas ainda não foram demandadas para atender à diretiva RoHS.

As principais empresas que são demandadas para atender à diretiva são aquelas que atuam na base de cadeias produtivas como as fabricantes de chapas de aço para vários fins e algumas indústrias metalúrgicas. Além dessas, tem-se também as que se inserem nas cadeias produtivas de empresas como a Whirlpool e que produzem os mais variados tipos de peças, componentes e acessórios, e que atendem à diretiva em função da necessidade de conformidade com a RoHS dos produtos finais de linha branca que são destinados à exportação.

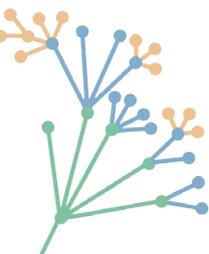


Um laboratório especializado em RoHS localizado na Grande São Paulo mencionou ter cerca de 800 clientes, incluindo grandes empresas e seus fornecedores, que demandam análises químicas relacionadas à RoHS. Entre seus clientes, destacam-se empresas dos seguintes ramos industriais: usinagem, utilidades domésticas (linha branca, marrom e cinza), computadores, componentes, informática (caixas eletrônicas), impressoras e automação bancária, telecomunicações (celulares), controle eletrônico de rondas, placas comerciais e de montagem em superfície (SMT), automação comercial, automação industrial, autopeças, equipamentos eletromédicos, chicotes elétricos, cabos de força, equipamentos de segurança, peças técnicas, isolantes e etiquetas plásticas autoadesivas com blindagem, fios e cabos elétricos, entre outros.

A Abinee, por sua vez, conta com cerca de 250 empresas associadas que são fabricantes de EEE e envolvidas com a logística reversa de REEEs prevista na listagem da diretiva WEEE. Como a RoHS é uma diretiva que pode ser considerada “irmã” da WEEE, muito provavelmente a maioria dessas empresas também assimilaram as exigências da diretiva RoHS em seus processos produtivos e produtos (ABINEE, 2016). A representatividade das empresas entrevistadas (Whirlpool e Bematech), portanto, pode ser vista de forma diferenciada quando comparada com a população de empresas fabricantes de eletrodomésticos (1 em 2) e de computadores, impressoras e equipamentos de automação comercial (1 em no máximo 20) do que quando comparada com as empresas geradoras de REEEs associadas à Abinee e com as milhares de empresas demandantes de análises químicas de substâncias restritivas elencadas pela RoHS existentes em todo o país. Ou seja, a representatividade da subamostra de empresas pesquisadas se apresenta mais consistente quando se considera apenas os segmentos de eletrodomésticos e de computadores, impressoras e de equipamentos de automação comercial. Ela apresenta pouca representatividade quando confrontada com as 250 empresas associadas à Abinee e com as 800 empresas que são clientes do laboratório especializado em RoHS localizado na Grande São Paulo.

Em relação aos laboratórios especializados em RoHS, foram entrevistados 3 dos 4 existentes, sendo que um deles (o da Unespar de Ponta Grossa – PR) ainda estava se preparando para o atendimento por ocasião do desenvolvimento desta pesquisa. Nesse caso, a representatividade da subamostra de laboratórios pode ser considerada boa. A mesma situação de representatividade se aplica à subamostra dos organismos certificadores, pois praticamente todos os importantes foram entrevistados. Nesse caso, vale destacar também que esses laboratórios, em suas entrevistas, respondem por uma clientela representada por uma grande quantidade de empresas, geralmente exportadoras, que tem um amplo elenco de fornecedoras.

A partir da revisão bibliográfica e documental foi possível identificar cinco “temas-chave” que constituíram a “plataforma de pesquisa” para aprofundamento do estudo via a condução de entrevistas com roteiro semiestruturado às organizações direta ou indiretamente envolvidas com atividades relacionadas à RoHS.



O roteiro semiestruturado foi delineado a partir de um eixo comum de temas, diretamente relacionados à RoHS ou correlatos a ela, para toda a amostra de entrevistados, porém, explorando em maior ou menor grau cada um desses temas dependendo da filiação e do nível de envolvimento de cada entrevistado com atividades diretamente relacionadas à diretiva.

No caso das empresas e dos organismos certificadores várias questões compunham um núcleo comum do roteiro de entrevistas, quais sejam: 1) impactos da diretiva RoHS no setor eletroeletrônico; 2) impactos na cadeia de suprimentos; 3) providências governamentais necessárias de ordem política e de capacitação de laboratórios para atendimento de demandas da diretiva; 4) segmentos industriais mais impactados; 5) papel das certificadoras; e 6) nível de informação do setor industrial sobre a RoHS.

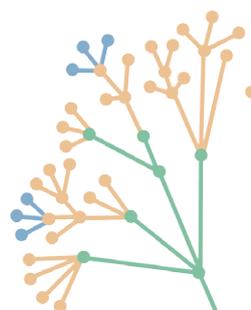
No caso das empresas, houve perguntas mais específicas, como as apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2 – Perguntas específicas formuladas às empresas Whirlpool e Bematech

1) Como a empresa teve conhecimento sobre a diretiva RoHS?
2) Quais os componentes, insumos e produtos fabricados que precisam atender às exigências da diretiva RoHS?
3) Quando a empresa iniciou o processo de adequação dos seus produtos para o atendimento da RoHS? Quais os principais problemas enfrentados?
4) No caso da necessidade de atendimento da RoHS em função da exigência do cliente, tal atendimento resultou no desenvolvimento de novo processo ou produto? Ou apenas em melhorias incrementais? Tais melhorias podem ser caracterizadas como inovação incremental?
5) O que clientes exigem para que você demonstre a conformidade com a RoHS? (Uma simples declaração? Certificação? Análise de cada lote? Receber auditoria de segunda parte e providenciar as ações corretivas? Outras?)
6) Indique os impactos da RoHS na empresa no que se refere à qualidade, custo, faturamento, produção, exportação e redução do número de fornecedores.
7) Necessidades e providências envolvidas no processo de adaptação à RoHS, considerando toda a cadeia produtiva de atuação da empresa, quanto a: análises químicas, insumos, importação de componentes; alterações no processo de produção e de gestão; contratação de RH; pesquisa tecnológica e controle de fornecedores.

As entrevistas foram agendadas com uma semana de antecedência e, em sua maioria, tiveram duração média de 1 hora e meia.

A análise dos dados obtidos foi alcançada a partir da triangulação das informações primárias, obtidas nas entrevistas, e das informações secundárias, oriundas dos levantamentos bibliográfico e documental. O cotejamento dessas informações propiciou que fosse feita uma reflexão sobre os resultados obtidos e a apresentação de correspondente discussão com vistas a identificar os desafios atuais do setor eletroeletrônico brasileiro ante a diretiva RoHS.



4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

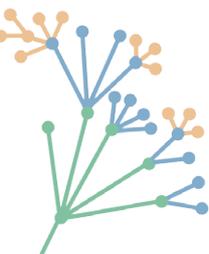
Os fabricantes de produtos e equipamentos instalados no Brasil têm demonstrado preocupação quanto aos impactos da RoHS nos contratos de comercialização com a União Europeia, como observados internacionalmente em outros países como China (QUI; TANNOCK, 2010), Coreia e Estados Unidos (HU; HSU, 2010). Conforme as entrevistas realizadas, essa preocupação é mais evidente nos grandes conglomerados globais, incluindo os fabricantes de produtos da linha branca (geladeiras, freezers e fogões).

Os resultados das entrevistas permitiram identificar quatro estratégias empresariais para a indústria de eletroeletrônicos brasileira consideradas como resposta às demandas impostas pela RoHS: i) busca pela redução de custos decorrentes; ii) contramedidas: elevação do padrão de acesso ao mercado internacional; iii) investimento em inovação tecnológica; e iv) reorientação para o mercado interno. As três primeiras não são excludentes e podem ser consideradas sob uma perspectiva complementar, pois buscam avaliar e distribuir os custos decorrentes, tendo em perspectiva um mercado potencialmente mais restritivo e que demanda a inovação tecnológica como possível resposta. Essas estratégias de adaptação por parte da cadeia produtiva para atender à diretiva já haviam sido anteriormente destacadas na literatura (CHAGAS et al., 2011) e (CHE et al., 2010). A quarta estratégia (reorientação ao mercado interno), por sua vez, é uma alternativa que vem sendo considerada pelas empresas que não se sentem em condições de superar as restrições da diretiva RoHS ou mesmo por indústrias que segmentam sua produção em linhas específicas para os mercados interno e externo.

4.1 BUSCA PELA REDUÇÃO DE CUSTOS DECORRENTES

O primeiro impacto sentido pelas indústrias do segmento eletroeletrônico brasileiro, que exportam para a União Europeia, resulta do aumento dos custos de adaptação e fabricação de seus produtos. Um dos executivos entrevistados do *Bureau Veritas* considera que no processo de adaptação à diretiva RoHS há um custo inicial que se estabiliza à medida que eles vão sendo absorvidos pela cadeia produtiva. Esse entrevistado destacou que é possível até mesmo uma redução de alguns custos de produção. Segundo esse executivo, as indústrias multinacionais recebem orientações das matrizes e têm condições financeiras para rapidamente atender às exigências da RoHS, consideração necessária para uma atuação global (QUI; TANNOCK, 2010).

As empresas de pequeno e médio porte, por sua vez, apresentam uma situação diversa, pois têm dificuldades financeiras para a adaptação à diretiva e um grande desconhecimento desse assunto (WILL, 2008), como verificado para o caso brasileiro. Essa manifestação encontra ressonância no trabalho de Lee (2009), enquanto Rios-Morales e Brennan (2010) comentam a solução adotada pela China, que abriu um escritório na Europa para auxiliar suas empresas exportadoras no cumprimento das exigências ambientais. Alguns pequenos fabricantes nacionais,



entretanto, não esperaram por uma solução desse tipo e se mobilizaram para buscar suporte técnico para o desenvolvimento correto de seus materiais. O entrevistado da HCG Tecnologia adverte que, diante do número de ensaios para o atendimento dos requisitos da diretiva pelas empresas, há um aumento de custos, que pode chegar a 30% para alguns materiais ou componentes. A necessidade de controle da documentação foi também mencionada pelo executivo da empresa certificadora SGS durante a entrevista. Essa é uma situação similar à verificada por Hu e Hsu (2010), que estudaram cadeias de suprimentos verdes e sua adequação à diretiva europeia. O executivo da HCG Tecnologia, por outro lado, lembra que isso pode indicar incrementos significativos de receita para os laboratórios estrategicamente posicionados no mercado. Segundo ele, a adequação à RoHS também gera uma demanda por treinamentos, palestras e serviços de consultoria, no que é acompanhado pelo entrevistado da SGS.

O executivo da SGS ainda reforça a necessidade do suporte fornecido pelas empresas certificadoras ao mencionar que a certificação com base na diretiva RoHS é uma garantia para o importador europeu. Essa entrevista reforça que um dos requisitos para a certificação é a existência de um bom gerenciamento e atualização de toda a documentação das matérias-primas e componentes utilizados, preocupação também manifestada por Balkau e Sonnemann (2010), Zhu e Liu (2010), Hu e Hsu (2010) e Goosey (2007). Um sistema articulado de certificação coordenado nacionalmente por instituições públicas ou privadas poderia diluir tais custos e melhorar o acesso de pequenas indústrias. A abertura de um escritório na Europa, mantido pelo governo ou por associações empresariais poderia ajudar na superação dos problemas enfrentados pelos exportadores brasileiros, solução encontrada pelo mercado chinês segundo a análise de Rios-Morales e Brennan (2010).

Nota-se, como aspecto geral das entrevistas, uma atuação geral em toda a cadeia de suprimentos dos eletroeletrônicos. No entanto, talvez fosse mais efetivo pensar em uma adaptação de acordo com o modelo de Koh et al. (2012), em que a intervenção em um nível da cadeia de suprimentos é suficiente para se espalhar por toda a cadeia. Seria importante identificar, no caso brasileiro, em qual nível a intervenção seria mais favorável, do ponto de vista de custo e de velocidade para maior penetração no mercado internacional.

Não se observa também, no Brasil, de acordo com o observado na literatura e nas entrevistas, o uso de métodos avançados para otimização da seleção de fornecedores e componentes, com uso de modelos matemáticos e ferramentas estruturadas, como os propostos por Chen et al. (2012), Kuo e Chu (2013), Dou et al. (2014), Pecht et al. (2016) ou Zhou et al. (2016).

4.2 ELEVAÇÃO DO PADRÃO DE ACESSO AO MERCADO NACIONAL

Há uma tendência de que outros países adotem essa diretiva ou sistemas congêneres, o que aumentaria o padrão de acesso a alguns mercados (HU; HSU,

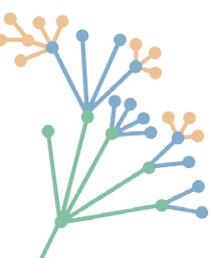


2010; YANG, 2008). Isso pode ser entendido também como uma resposta à posição europeia, com algumas nações exportadoras afetadas pela RoHS restringindo o acesso aos seus mercados internos. Em princípio essa medida poderia ser adotada pelo Brasil, buscando proteger a indústria nacional ao restringir o acesso ao mercado brasileiro a produtos não certificados por alguma diretiva ou norma congênere à RoHS. Acredita-se que uma solução desse tipo seja difícil de ser adotada, pois geraria um impacto considerável nas pequenas e médias indústrias que não têm condições tecnológicas ou financeiras para uma adequação a esse tipo de norma, como atestado pelas entrevistas.

Mesmo assim, há que se considerar que essa estratégia pode ser adotada por alguns países com um parque industrial mais avançado, forçando suas unidades produtivas a uma adequação à RoHS e, simultaneamente, restringindo o acesso ao seu mercado local a produtos em situação de não conformidade com essa diretiva. O executivo da Whirlpool considera que as diretivas europeias têm como alvo principal os produtos chineses, mas observa-se também uma grande preocupação com os problemas de exportação de produtos oriundos de outros países. Segundo ele, no Brasil, a diretiva RoHS ainda não foi assimilada como se esperava logo após sua aprovação pela União Europeia. Mesmo assim, ele considera que a conformidade dos produtos à RoHS tende a facilitar o acesso a outros mercados, além do europeu, como destacado por Goosey (2007) e Brescansin (2014).

Do ponto de vista tecnológico, há riscos da geração de problemas durante os processos de adaptação tecnológica por parte dos fornecedores. Um dos entrevistados citou, como exemplo, a adoção de um processo de soldagem sem a utilização de chumbo, o que causou um defeito sistemático que levou à parada do equipamento com apenas dez horas de uso. Isso gerou um prejuízo significativo para o fabricante por ter que arcar com os custos decorrentes dessa interrupção. Outro exemplo citado foi o caso de placas de circuito impresso que foram reprovadas por presença de chumbo, mas que tinham sido produzidas com solda isenta de chumbo. Posteriormente, foi identificado que o chumbo era oriundo do bocal da máquina de trefila, que teve que ser trocado com custo estimado entre R\$ 200 mil a R\$ 500 mil.

O executivo da TÜV Rheinland acredita que uma maior sensibilização das empresas quanto à necessidade de adequação à RoHS deve vir pelo desconforto de verificar um melhor nível de adaptação tecnológica dos concorrentes à diretiva. Ele considera que a movimentação da China pode forçar investimentos para adaptação tecnológica dos produtos à RoHS por parte dos fabricantes instalados no Brasil. As considerações desse entrevistado vão ao encontro dos esforços empreendidos pela China (RIOS-MORALES; BRENNAN, 2010) e por Taiwan (HUANG; WU, 2010; HU; HSU, 2010) que demonstram as implicações da RoHS em termos de adaptação para seu atendimento por parte de alguns mercados mundiais. Essa é uma situação considerada pelos entrevistados da HCG Tecnologia e da Whirlpool que advertem que a pressão vai além das fronteiras nacionais, afetando os grandes grupos exportadores de eletroeletrônicos. Por outro lado, Tong et al. (2012) mostraram



que o ritmo de adesão à RoHS na China era desigual em várias regiões, sendo maior onde havia mais vocação exportadora e a presença de clusters, com uma conotação geográfica na tendência. É de se esperar que esse quadro de variações, com a influência da exportação e da presença de *clusters* esteja presente também no Brasil.

4.3 INVESTIMENTO EM INOVAÇÃO TECNOLÓGICA

Para os executivos entrevistados, a diretiva RoHS representa oportunidades de inovação em matérias-primas, produtos e processos. Isso se coaduna com achados da literatura, em que em segmentos altamente interdependentes, avanços em uma área demandam esforços inovadores das demais (COHEN, 2010); requerendo que as soluções de problemas ambientais possam ser indutoras de processos de inovação e obtenção de vantagens competitivas (WONG, 2012); premissas que podem ser aplicadas à diretiva RoHS (SUMITA, 2008). Como as restrições de uso impostas pela diretiva RoHS resultaram em produtos melhorados do ponto de vista ambiental (isentos de solda à base de chumbo, por exemplo), pode-se dizer que resultaram em inovações, mesmo que isso não tenha sido um processo generalizado em vários segmentos do setor eletroeletrônico. Nesse sentido, a RoHS foi encampada na política ambiental de grandes empresas desse setor (TONG et al., 2012), aderindo às estratégias corporativas de comunicação ambiental (BAUM, 2012); (SPACK et al., 2012).

O entrevistado do *Bureau Veritas Certification* considera que, embora haja uma elevação inicial de custos diante da necessidade de adaptações de componentes e produtos, em um segundo momento verifica-se a geração de oportunidades para inovações. A inovação como estratégia competitiva é um assunto frequente em setores produtivos, desde os trabalhos precursores de Fagerberg (1996), Sharma e Vredenburg (1998), Maskell e Malmberg (1999), Bansal e Roth (2000) e Harrington, Morgenstern e Nelson (2000) até pesquisas mais recentes (WANG; LESTARI, 2013); (AMBEC et al., 2013); (BARNIR, 2012); (YANG; LI, 2011) e (BLIND, 2012).

O entrevistado do *Bureau Veritas Certification* ainda destaca a necessidade de um esforço nacional de orientação às empresas para adaptação à RoHS, levando ao desenvolvimento de novos materiais e alteração de métodos produtivos (MALLIK et al., 2010; FJELSTAD, 2008; GERAGHTY, 2008; WEINHOLD, 2007). O entrevistado da TÜV Rheinland apontou as seguintes demandas relevantes para as indústrias brasileiras: a) falta de suporte técnico aos pequenos fabricantes para o desenvolvimento de novos materiais; b) carência de informações em toda a cadeia produtiva de eletroeletrônicos e c) distanciamento das universidades e institutos de pesquisas em assuntos relativos à diretiva.

A difusão correta de informações é uma necessidade apontada por vários entrevistados, já que há vários atores envolvidos que ainda não conhecem o suficiente sobre a RoHS. Organismos certificadores e laboratórios têm assumido um pouco o papel de dar treinamento para as empresas quanto aos requisitos da

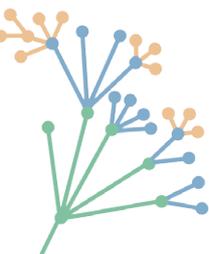


RoHS. Mas, além do conhecimento dos requisitos, é preciso divulgar a informação tecnológica associada às mudanças requeridas.

4.4 REORIENTAÇÃO PARA O MERCADO INTERNO

Segundo um dos entrevistados, uma cerâmica livre de chumbo custa de 20% a 30% a mais que uma cerâmica com chumbo. Isso se coaduna com limitações apontadas para o setor produtivo nacional por Damião et al. (2009), em que um dos impactos iniciais dessa diretiva no processo de manufatura deriva da necessidade de fazer modificações nos produtos, gerando custos adicionais. Outro exemplo mencionado refere-se ao custo das análises químicas, que, segundo entrevistados por parte de laboratórios de pesquisa, é em média R\$ 84,00. Também foram mencionados os custos de engenharia para mudança dos materiais, uma vez que as empresas precisarão buscar ajuda técnica e financeira para esses novos desenvolvimentos. Formas mais simples de superar esses entraves de realização de testes físicos, como rotulagem de materiais, controle de materiais e outros foram apontados como solução a entraves nas cadeias asiáticas por Kama e Shiratori (2016) e Stephan (2016). Estudos locais de Jabbour e Jabbour (2012) e Jabbour et al. (2013) também apontam algumas soluções para superar esses entraves. Para grandes conglomerados globais, adicionalmente, a diretiva RoHS gera a necessidade de incorporação de novos conceitos às políticas de responsabilidade socioambiental e de *marketing*. Esses exemplos ajudam a compreender a elevação dos custos, o que pode levar empresas a deixar de exportar, passando a produzir somente para o mercado interno. Uma alternativa prospectada por algumas empresas é o estabelecimento de duas linhas de produtos separadas, uma para exportação que atende aos requisitos da RoHS, outra para o mercado nacional que não atende.

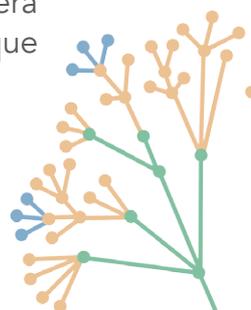
De acordo com o executivo da SGS, uma alternativa seria a produção de linhas específicas para os mercados interno e externo, ponderando sobre os menores custos de produção para os itens destinados exclusivamente ao mercado brasileiro, pensamento compartilhado pelo executivo do *Bureau Veritas*. Essa alternativa, no entanto, poderá limitar o crescimento da empresa que optar por essa estratégia, fazendo com que ela perca espaço em mercados ou blocos econômicos com maior poder aquisitivo, como é o caso da União Europeia. Há também quem considere, como o executivo da HCG, que não é econômico manter produtos ou componentes diferentes em estoque para atender ao mercado nacional e o internacional. Tais mudanças poderiam ser totalmente inviáveis para pequenas e médias empresas, como alertado por Kanapathy et al. (2016). Eventual orientação do segmento apenas para o mercado interno como uma forma de não atender à diretiva RoHS vai na contramão da postura proativa enfrentada por outros países (HU; HSU, 2010); (QUI; TANNOCK, 2010); (HUANG; WU, 2010); (RIOS-MORALES; BRENNAN, 2010) e pode ser uma postura reativa do ponto de vista ambiental visto a toxicidade do setor (ABRAMS, 2011; GRIGOLETTO et al., 2007), além de reforçar o atual cenário de baixa competitividade do setor de eletroeletrônico brasileiro no mercado internacional (OLIVEIRA; SILVEIRA, 2009).



4.5 SÍNTESE DOS DESAFIOS PARA O ATENDIMENTO LOCAL À DIRETIVA ROHS

Para o enfrentamento dos desafios apresentados pela RoHS às empresas instaladas no território nacional foram analisadas as quatro principais estratégias empresariais consideradas pelo setor de eletroeletrônicos brasileiro. Desse modo, os desafios de adequação à diretiva RoHS enfrentados pelo setor de eletroeletrônicos brasileiro referem-se a:

- necessidade de envolver toda a cadeia produtiva para atender à diretiva implica selecionar fornecedores com condições de assimilar os requisitos da RoHS como um diferencial competitivo no mercado;
- dificuldade em identificar os elos da cadeia a serem priorizados como iniciadores, bem como no uso de métodos avançados de tomada de decisão sobre seleção de fornecedores e de mix de componentes RoHS e não RoHS para atendimento ao mercado interno;
- preocupação assimétrica do setor em que há um maior interesse das grandes montadoras e exportadoras de eletrodomésticos cuja estratégia tem sido atuar na cadeia produtiva para assegurar a conformidade com a diretiva em todos os materiais e componentes de seus produtos;
- estímulo à competitividade tende a ser prejudicado pelo fato que grandes empresas conseguem manter a estratégia de envolver toda a cadeia de fornecedores no atendimento às exigências da RoHS e as empresas de menor porte podem ser excluídas do rol de fornecedores pelas dificuldades de assimilação dos custos de conformidade à diretiva; enquanto os custos de adequação de produtos podem ser mais facilmente absorvidos por fornecedores mais estruturados financeiramente e efetivamente interessados em continuar integrados na cadeia de suprimento das grandes empresas exportadoras;
- embora o Brasil ainda não tenha se mobilizado para elaborar uma legislação relacionada a essa diretiva e um dos entrevistados tenha mencionado que estão sendo elaboradas normas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) similares às normas IEC amplamente adotadas na Europa, falta estímulo para que essa normatização vigore;
- estímulo ao envolvimento de apoio tecnológico dos institutos de pesquisas e das universidades que têm competências para oferecer suporte tecnológico às pequenas e médias empresas impactadas pela RoHS;
- ações institucionais para melhor qualificação de fornecedores poderão aumentar a segurança dos fabricantes quanto à qualidade das matérias-primas adquiridas. Consequentemente, a produção de equipamentos poderá avançar na direção do apoio à busca de conformidade com a RoHS, ação que trará benefícios também para o mercado local.



5 CONCLUSÕES

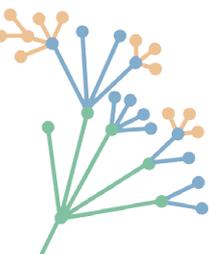
A União Europeia promulgou a diretiva RoHS (*Restriction of Hazardous Substances*), restringindo o uso de substâncias perigosas em equipamentos eletroeletrônicos, implicando a necessidade de modificações nas cadeias produtivas de eletroeletrônicos em diversos países e potenciais exportadores ao mercado europeu. O Brasil não ficou à margem desse processo em função da importância da indústria de eletroeletrônico no país.

A pesquisa demonstrou que os importantes atores vinculados à indústria eletroeletrônica brasileira estão cientes da complexidade dos desafios que essa diretiva impõe a toda a cadeia produtiva no país e pensam em estratégias para enfrentamento desses desafios. Algumas das ações relacionadas a essas estratégias pensadas por esses atores alinham-se ao que vem sendo utilizado em outros países como a necessidade de adaptação dos processos produtivos e busca por inovação tecnológica. Algumas soluções aventadas em outros mercados ainda não estão sendo consideradas aqui, como mecanismos para diluir os custos da certificação e uso de métodos avançados para seleção de componentes e fornecedores.

Os dados dessa pesquisa exploratória permitem concluir para o contexto da diretiva RoHS aplicado ao setor de eletroeletrônicos brasileiro que:

- deve haver aumento inicial de custos de produção que pode ser absorvido ao longo do tempo;
- pode haver entraves à livre concorrência de produtores de diferentes portes;
- alguns setores ou segmentos podem ser mais estimulados a aderir às diretrizes por nichos particulares de mercado;
- há necessidade de mudanças nos processos produtivos;
- vêm sendo buscadas ações que atinjam toda a cadeia de suprimentos da indústria eletroeletrônica;
- há que se investir em ensaios para o atendimento às diretrizes;
- existe falta de marcos legais locais para subsidiar o processo de certificação;
- é limitado o uso de instrumentos de gestão ambiental, como *ecodesign*, no setor de eletroeletrônicos com essa finalidade.

Recomenda-se que pesquisas futuras investiguem a relação entre a Política Nacional do Meio Ambiente e seus desdobramentos sobre a gestão de resíduos eletroeletrônicos e o atendimento às premissas da diretiva RoHS pelo setor, de modo a identificar potenciais e limitações.



REFERÊNCIAS

ABRAMS, F. Social and environmental goals pose never-ending supply chain challenges: new regulations go beyond restricted materials. **SMT: Surface Mount Technology**, v. 26, n. 9, p. 24, 2011.

AGUIAR, A. O. et al. Política Nacional de Resíduos Sólidos e os Resíduos da Indústria de Eletroeletrônicos. In: RUIZ, M. S.; KNISS, C. T.; TEIXEIRA, C. E. (Org.). **O setor de eletroeletrônicos: aspectos técnicos, econômicos, regulatórios e ambientais**. São Paulo: Uninove, 2014. p. 27-56.

ALHUMOUD, J. M.; AL-KANDARI, F. A. Analysis and overview of industrial solid waste management in Kuwait. **Management of Environmental Quality: an International Journal**, v. 19, n. 5, p. 520-532, 2008.

AMBEC, S. et al. The Porter hypothesis at 20: can environmental regulation enhance innovation and competitiveness? **Review of Environmental Economics and Policy**, v. 7, n. 1, p. 2-22, 2013.

ANSANELLI, S. L. de M. Exigências ambientais europeias: novos desafios competitivos para o complexo eletrônico brasileiro. **Revista Brasileira de Inovação**, v. 10, p. 129-160, jan./jul. 2011.

_____. **Os impactos das exigências ambientais europeias para equipamentos eletroeletrônicos sobre o Brasil**. 2008. Tese (Doutorado) – Instituto de Economia – Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA – ABINEE. Associadas. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/abinee/associa/>>. Acesso em: 18 nov. 2016.

_____. **Avaliação setorial e desempenho econômico 2014**. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/programas/50anos/public/panorama/index.htm>>. Acesso em: 25 set. 2014.

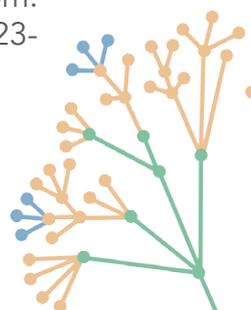
BALKAU, F.; SONNEMANN, G. Managing sustainability performance through the value-chain. **Corporate Governance**, v. 1, n. 10, p. 46-58, 2010.

BANSAL, P.; ROTH, K. Why companies go green: a model of ecological responsiveness. **Academy of management journal**, v. 43, n. 4, p. 717-736, 2000.

BARNEY, J. B.; HESTERLY, W. S. **Administração estratégica e vantagem competitiva: conceitos e casos**. 3. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

BARNIR, A. Starting technologically innovative ventures: reasons, human capital, and gender. **Management Decision**, v. 50, n. 3, p. 399-419, 2012.

BAUM, L. M. It's not easy being green... or is it? A content analysis of environmental claims in magazine advertisements from the United States and United Kingdom. **Environmental Communication: a journal of nature and culture**, v. 6, n. 4, p. 423-440, 2012.



BLIND, K. The influence of regulations on innovation: a quantitative assessment for OECD countries. **Research Policy**, v. 41, n. 2, p. 391-400, 2012.

BRASIL. MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO. Secretaria de Logística e Tecnologia da Informação. **Instrução Normativa n. 01, de 19 de janeiro de 2010**. Dispõe sobre os critérios de sustentabilidade ambiental na aquisição de bens, contratação de serviços ou obras pela Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional e dá outras providências. Brasília. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/wp-content/uploads/2012/01/2010_01_mpog.pdf>. Acesso em: 13 dez. 2013.

BRESCANSIN, A. **Restrição ao uso de substâncias perigosas (RoHS) no segmento de computadores pessoais**: análise da estratégia de adoção pelos fabricantes estabelecidos no Brasil. 2014. Dissertação de mestrado – Universidade Nove de Julho, São Paulo, SP, Brasil. 2014.

CASTANHEIRA, F. et al. Verticalização e Competitividade na Cadeia de Suprimentos do Setor de Aparelhos Celulares no Brasil: um estudo comparativo entre Motorola e Gradiente. **Revista Eletrônica de Ciência Administrativa**, v. 10, n. 1, p. 16, 2011.

CHAGAS, M. F. et al. Redes Modulares de Inovação em Indústrias de Alta Tecnologia. **Revista Ibero-Americana de Estratégia**, v. 10, n. 3, p. 173-198, 2011.

CHE, Z.-H. et al. A supplier selection model for product design changes. **International Journal of Electronic Business Management**, v. 8, n. 1, p. 20, 2010.

CHEN, M.-K.; TAI, T.-W.; HUNG, T.-Y. Component selection system for green supply chain. **Expert Systems with Applications**, v. 39, n. 5, p. 5687-5701, 2012.

COHEN, W. M. Fifty years of empirical studies of innovative activity and performance. **Handbook of the Economics of Innovation**, v. 1, p. 129-213, 2010.

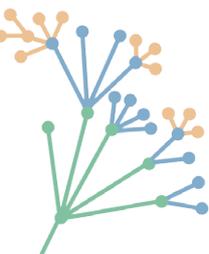
DALRYMPLE, I. et al. An integrated approach to electronic waste (WEEE) recycling. **Circuit world**, v. 33, n. 2, p. 52-58, 2007.

DAMIÃO, D.; SCHIRRMESTER, R.; ZOUAIN, D. M. Demandas tecnológicas em empresas: estudo no parque tecnológico de São Paulo. **Revista Ciências Administrativas (Unifor)**, v. 15, p. 437-457, 2009.

DOU, Y.; SARKIS, J. A multiple stakeholder perspective on barriers to implementing China RoHS regulations. **Resources, Conservation and Recycling** 81 (2013): 92-104.

DOU, Y.; ZHU, Q.; SARKIS, J. Evaluating green supplier development programs with a grey-analytical network process-based methodology. **European Journal of Operational Research**, v. 233, n. 2, p. 420-431, 2014.

DUARTE, A. T. et al. Determination of chromium and antimony in polymers from electrical and electronic equipment using high-resolution continuum source graphite furnace atomic absorption spectrometry. **Analytical Methods**, v. 5, n. 24, p. 6941-6946, 2013.



ESTY, D.; WINSTON, A. **Green to gold**: how smart companies use environmental strategy to innovate, create value, and build competitive advantage. John Wiley & Sons, 2009.

EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION. Regulation (EC) N. 1907/2006 of the European Parliament and of the Council of 18 December 2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (Reach), establishing a European Chemicals Agency, amending Directive 1999/45/EC and repealing Council Regulation (EEC) N. 793/93 and Commission Regulation (EC) N. 1488/94 as well as Council Directive 76/769/EEC and Commission Directives 91/155/EEC, 93/67/EEC, 93/105/EC and 2000/21/EC. **Official Journal of the European Union**, v. 396, 2006. Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:136:0003:0280:EN:PDF>>. Acesso em: 10 dez. 2013.

FAGERBERG, J. Technology and competitiveness. **Oxford review of economic policy**, v. 12, n. 3, p. 39-51, 1996.

FJELSTAD, J. Environmentally friendly assembly of robust electronics without solder. **Circuit World**, v. 34, n. 2, p. 27-33, 2008.

FUSE, M.; TSUNEMI, K. Cross-Border Impacts of the *Restriction of Hazardous Substances*: a perspective based on japanese solders. **Environmental science & technology**, v. 47, n. 16, p. 9028-9034, 2013.

GERAGHTY, K. Reach: implications of Europe's new chemicals policy for PCB fabricators. **Circuit World**, v. 34, n. 4, p. 14-18, 2008.

GOOSEY, M. Implementation of the RoHS directive and compliance implications for the PCB sector. **Circuit World**, v. 33, n. 1, p. 47-50, 2007.

GRIGOLETTO, E. M. et al. Produtos Eletrônicos e a Poluição Ambiental. **Revista Ciência e Tecnologia**, v. 9, n. 15, 2010.

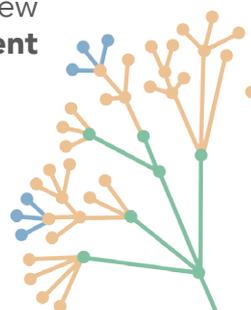
HARRINGTON, W. et al. On the accuracy of regulatory cost estimates. **Journal of Policy Analysis and Management**, v. 19, n. 2, p. 297-322, 2000.

HAUSER, G. et al. A indústria eletrônica no Brasil e na China: um estudo comparativo e a análise das políticas públicas de estímulo à capacidade tecnológica do setor. **Journal of Technology Management & Innovation**, v. 2, n. 3, p. 85-96, 2007.

HÖVEL, B.; VERBRUGGE, T. Base material selection for reliable lead-free processing. **Circuit World**, v. 34, n. 2, p. 3-7, 2008.

HU, A. H.; HSU, C.-W. Critical factors for implementing green supply chain management practice: an empirical study of electrical and electronics industries in Taiwan. **Management research review**, v. 33, n. 6, p. 586-608, 2010.

HUANG, Y.-C.; JIM WU, Y.-C. The effects of organizational factors on green new product success: evidence from high-tech industries in Taiwan. **Management Decision**, v. 48, n. 10, p. 1539-1567, 2010.



INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Diretivas RoHS: novas barreiras às exportações brasileiras.** São Paulo: IPT/NEAT, 2007. (Relatório 98.832-205).

JABBOUR, A. B. L. de S. et al. Supply chain management practices and their possible relationships with manufacturing competitive priorities: empirical evidence from electro-electronic industry in light of Structural Equation Modeling. **Production**, v. 23, n. 2, p. 241-256, 2013.

JABBOUR, A. B. L. de S.; JABBOUR, C. J. C. Shedding light on the operations management in Brazilian electro-electronics sector. **Revista de Administração Pública**, v. 46, n. 3, p. 817-840, 2012.

JOHANSSON, G.; BRODIN, M. H. An analysis of product properties affecting performance of end-of-life systems for electrical and electronics equipment. *Management of Environmental Quality: an International Journal*, v. 19, n. 6, p. 705-717, 2008.

JOHANSSON, G.; WINROTH, M. Introducing environmental concern in manufacturing strategies: implications for the decision criteria. **Management Research Review**, v. 33, n. 9, p. 877-899, 2010.

KAMA, M.; SHIRATORI, T. Contribution of Asian Industries to Hazardous Substances Management and E-waste Recycling. **Engineering Journal**, v. 20, n. 4, p. 1-10, 2016.

KIM, Y. S. et al. Tetrahydrofuran (THF)-assisted alkaline extraction to determine hexavalent chromium (Cr (VI)) in retardant polymers containing Sb (III). **Journal of Analytical Atomic Spectrometry**, v. 30, n. 1, p. 225-231, 2015.

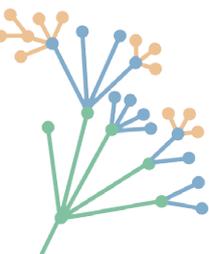
KOH, S. C. L.; GUNASEKARAN, A.; TSENG, C. S. Cross-tier ripple and indirect effects of directives WEEE and RoHS on greening a supply chain. **International Journal of Production Economics**, v. 140, n. 1, p. 305-317, 2012.

KUO, T. C.; CHU, C.-H. Risk management of hazardous substances in selection of green suppliers. **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing**, v. 14, n. 6, p. 1057-1063, 2013.

LAU, K. H.; WANG, Y. Reverse logistics in the electronic industry of China: a case study. **Supply Chain Management: an International Journal**, v. 14, n. 6, p. 447-465, 2009.

LÓPEZ-GAMERO, M. D.; MOLINA-AZORÍN, J. F.; CLAVER-CORTÉS, E. The potential of environmental regulation to change managerial perception, environmental management, competitiveness and financial performance. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 10, p. 963-974, 2010.

MALLIK, S. et al. Evaluating solder paste behaviours through rheological test methods and their correlation to the printing performance. **Soldering & surface mount technology**, v. 22, n. 4, p. 42-49, 2010.



MASKELL, P.; MALMBERG, A. Localised learning and industrial competitiveness. **Cambridge Journal of Economics**, v. 23, n. 2, p. 167-185, 1999.

MATTOS, K. M. C.; PERALES, W. J. S. Os impactos ambientais causados pelo lixo eletrônico e o uso da logística reversa para minimizar os efeitos causados ao meio ambiente. **Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, v. 28, 2008.

MIURA, T. et al. Precise determination of bromine in PP resin pellet by instrumental neutron activation analysis using internal standardization. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 303, n. 2, p. 1417-1420, 2015.

NAWROCKA, D. Environmental supply chain management, ISO 14001 and RoHS. How are small companies in the electronics sector managing? **Corporate Social Responsibility and Environmental Management**, v. 15, n. 6, p. 349-360, 2008.

NDZIBAH, E. CSR in Ghana? Diversity should not mean dumping. **Management of Environmental Quality: an International Journal**, v. 20, n. 3, p. 271-277, 2009.

OLIVEIRA, L. H.; SILVEIRA, M. A. Caracterização e análise da cadeia produtiva de PCs: uma contribuição para o aumento da competitividade da indústria nacional. In: SIMPÓSIO DE ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO, LOGÍSTICA E OPERAÇÕES INTERNACIONAIS – SIMPOI, 12, 2009, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2009.

OTENG-ABABIO, M. E-waste: an emerging challenge to solid waste management in Ghana. **International Development Planning Review**, v. 32, n. 2, p. 191-206, 2010.

PALOVIIITA, A.; LUOMA-AHO, V. Recognizing definitive stakeholders in corporate environmental management. **Management Research Review**, v. 33, n. 4, p. 306-316, 2010.

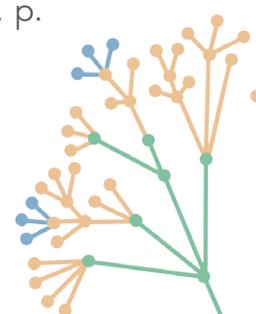
PECHT, M.; SHIBUTANI, T.; WU, L. A reliability assessment guide for the transition planning to lead-free electronics for companies whose products are RoHS exempted or excluded. **Microelectronics Reliability**, v. 62, p. 113-123, 2016.

PORTER, M. E. **Vantagem competitiva: criando e sustentando um desempenho superior**. Rio de Janeiro: Campus, 1992.

PORTER, M. E.; VAN DER LINDE, C. Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship. **The journal of economic perspectives**, v. 9, n. 4, p. 97-118, 1995.

QUI, Y.; TANNOCK, J. D. T. Dissemination and adoption of quality management in China: case studies of Shanghai manufacturing industries. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 27, n. 9, p. 1067-1081, 2010.

RACKWITZ, V. et al. Performance of μ -XRF with SEM/EDS for trace analysis on the example of RoHS relevant elements-measurement, optimisation and prediction of the detection limits. **Journal of Analytical Atomic Spectrometry**, v. 28, n. 9, p. 1466-1474, 2013.



RIOS-MORALES, R.; BRENNAN, L. The emergence of Chinese investment in Europe. **EuroMed Journal of Business**, v. 5, n. 2, p. 215-231, 2010.

SARKIS, J.; ZHU, H. Information technology and systems in China's circular economy: Implications for sustainability. **Journal of Systems and Information Technology**, v. 10, n. 3, p. 202-217, 2008.

SCHENKEL, E. A. et al. Estudo de adesivos condutivos isotrópicos utilizados para a fixação de componentes eletrônicos. **Revista Matéria**, v. 11, n. 4, p. 420-426, 2006.

SHARMA, S.; VREDENBURG, H. Proactive corporate environmental strategy and the development of competitively valuable organizational capabilities. **Strategic management journal**, p. 729-753, 1998.

SPACK, J. A. et al. It's easy being green: the effects of argument and imagery on consumer responses to green product packaging. **Environmental Communication: a Journal of Nature and Culture**, v. 6, n. 4, p. 441-458, 2012.

STEPHAN, K. D. Counterfeit Electronics: coming to a store near you: how bad is it, and what can be done? **IEEE Consumer Electronics Magazine**, v. 5, n. 2, p. 112-113, 2016.

SUMITA, T. Intellectual assets based management for innovation: lessons from experiences in Japan. **Journal of Intellectual Capital**, v. 9, n. 2, p. 206-227, 2008.

TONG, X.; SHI, J.; ZHOU, Y. Greening of supply chain in developing countries: diffusion of lead (Pb)-free soldering in ICT manufacturers in China. **Ecological Economics**, v. 83, p. 174-182, 2012.

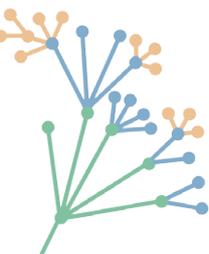
WALKER, J. C. RoHS recast just around the corner: are you ready. **SMT: Surface Mount Technology**, v. 26 n. 2, p. 18, Feb. 2011.

WANG, K.-J.; LESTARI, Y. D. Firm competencies on market entry success: evidence from a high-tech industry in an emerging market. **Journal of Business Research**, v. 66, n. 12, p. 2444-2450, 2013.

WEINHOLD, M. The importance of standards for PCBs when doing business in Europe. **Circuit World**, v. 33, n. 3, p. 35-37, 2007.

WILL, M. Talking about the future within an SME? Corporate foresight and the potential contributions to sustainable development. **Management of Environmental Quality: an International Journal**, v. 19, n. 2, p. 234-242, 2008.

WONG, S. K.-S. The influence of green product competitiveness on the success of green product innovation: Empirical evidence from the Chinese electrical and electronics industry. **European Journal of Innovation Management**, v. 15, n. 4, p. 468-490, 2012.



YANG, T.-T.; LI, C.-R. Competence exploration and exploitation in new product development: the moderating effects of environmental dynamism and competitiveness. **Management Decision**, v. 49, n. 9, p. 1444-1470, 2011.

YANG, W. Regulating electrical and electronic wastes in China. **Review of European Community & International Environmental Law**, v. 17, n. 3, p. 335-344, 2008.

ZHOU, C. et al. Optimization research of RoHS compliance based on product lifecycle. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, p. 1-9, 2015.

ZHU, Q.; LIU, Q. Eco-design planning in a Chinese telecommunication network company: Benchmarking its parent company. **Benchmarking: an International Journal**, v. 17, n. 3, p. 363-377, 2010.

