

RESÍDUOS COMO MATÉRIA-PRIMA ESTRATÉGICA: A INDUÇÃO DA GERAÇÃO DE EMPREGO E RENDA

Marcus Vinicius de Araujo Fonseca (UFRJ)

vfonseca@pep.ufrj.br

Tereza Raquel Taulois Campos (UFRJ)

tereza_raquel@pep.ufrj.br



Resumo: A poluição ambiental preocupa todas as esferas da sociedade, o que tem servido como um estímulo para transformar a percepção do mundo de negócios no que diz respeito aos conceitos de meio ambiente. Questões ambientais são vistas atualmente como oportunidade de vantagem competitiva a ser alcançada por empresas em qualquer segmento. É uma mudança de visão em relação ao conceito de poluição e o uso de estratégias ambientais para alcançar maior legitimidade social perante todos os atores envolvidos. À medida que estudos sobre como reduzir e não gerar poluição iniciaram a ser feitos, as organizações começaram a perceber os vários benefícios atrelados a isso - custos menores no longo prazo, diminuição da vulnerabilidade regulatória e vantagens no reuso de insumos - e reconhecem que reduzir impactos ambientais é uma forma de criar novos negócios e produtos. Nesse contexto, esse trabalho apresenta um exemplo de empreendimento para o reaproveitamento de rejeitos industriais: um material construtivo único, para habitação de interesse social, associado à sustentabilidade e geração de emprego e renda.

Abstract: The environmental pollution is a concern for all levels of the society, so it has been an incentive to transform the perception of the business world regarding the environmental concepts. Environmental issues are currently seen as an opportunity of competitive advantage to be achieved by companies in any segment. It is a new vision of the pollution concept and the use of environmental strategies to achieve more social legitimacy in the eyes of all parts involved. As studies began to be carried out on how to reduce and not generate pollution, organizations started noticing several benefits connected to this matter - long-term lower costs, reduction of regulatory vulnerability and advantages of reusing inputs - as well as they become aware that the reduction of environmental impacts generates new business and products. Within this context, this paper presents a model of enterprise for reusing industrial wastes: a unique constructing material for low income housing, associated to sustainability and generation of employment and income.

Palavras-chaves: reaproveitamento de rejeitos industriais, inovação, sustentabilidade, novo material. (keywords: reuse of industrial waste, innovation, sustainability, new material).

1. Apresentação

Os avanços que se sucedem visando ao desenvolvimento sustentável, além de revelarem a busca permanente para a melhoria da convivência humana, servem também como contribuição para o aprimoramento do uso dos recursos que são oferecidos pela natureza. É evidente o crescente nível de consciência da sociedade pela valorização de tecnologias mais limpas, que fortaleçam o uso adequado de novas alternativas para a indústria e um posicionamento frente ao governo e setor privado ganha contornos mais consistentes.

A preservação dos recursos naturais e o tema *saúde pública* sugerem que a gestão integrada de resíduos sólidos faça parte do conceito de desenvolvimento sustentável, como diretriz para os rumos do desenvolvimento global. Esses são assuntos cada vez mais tratados pela sociedade no processo de construção de um futuro atento à questão ambiental.

A carência de uma legislação que norteasse a ação governamental no estabelecimento de uma política que conferisse à matéria o tratamento adequado foi, felizmente, superada com a sanção da Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

A nova lei indica avanços no gerenciamento dos resíduos sólidos no país e tem como intuito traçar ações estratégicas que viabilizem processos capazes de agregar valor aos rejeitos, aumentando a capacidade competitiva do setor produtivo. Nos parâmetros definidos por tal legislação, sobressai a valorização de tecnologias que fortaleçam o uso adequado de novas alternativas para a indústria e o reconhecimento dos resíduos sólidos – reutilizáveis e recicláveis – como bem econômico e de valor social, por estarem associados à geração de emprego e renda.

O segmento de resíduos sólidos, que até 2010 não tinha sido reconhecido como de grande importância, representa um laboratório inexaurível para as inovações que se preconiza. A Rede 5Rs (FONSECA 2000), que se caracteriza por ações como reduzir, reprojeter, reciclar, reutilizar e reaproveitar, mostra como tal área pode ser focalizada sob diferentes perspectivas de abordagem. Estas últimas podem ser evidenciadas no seu aspecto conceitual, como êmulo propulsor à geração de emprego e renda, na competição empresarial, no avanço tecnológico advindo de inovações tecnológicas e sociais e, principalmente, como indutor de procedimento em defesa do meio ambiente, pelo desenvolvimento sustentável – que é seu mote.

Nesse contexto, foi desenvolvido o **Vikaflex®**, novo material cerâmico leve. Seu teor de inovação é caracterizado pela transformação de rejeitos da industrialização do xisto. Um material único em nível global, de grande potencial para a construção civil, naval e moveleira.

Esse novo produto, ajuda a eliminar de uma maneira útil, sustentável e rentável um rejeito que, atualmente, consome recursos consideráveis para seu descarte. Além disso, seu uso em habitações populares traz benefícios sociais. Considerando suas propriedades de isolamento acústico e térmico, imputrescibilidade, incombustibilidade e baixa densidade, uma habitação construída com o novo material representa uma melhoria da qualidade de vida para seus moradores. É a demonstração efetiva de que ciência e tecnologia podem interagir sistemicamente com a indústria, gerando inovações e benefícios sociais expressivos no Brasil (FONSECA, 2011).

Assim, o objetivo desse artigo é demonstrar, através do **Vikaflex®** como inovação social, uma concepção precursora na criação de mercados para produtos gerados, tendo o resíduo sólido

como matéria-prima e que associa inovação (tecnológica e social) e sustentabilidade à geração de emprego e renda.

2. Síntese do Cenário

A sociedade industrial gera mais rejeito industrial do que a massa de produtos consumidos. Os produtos desenvolvidos pela sociedade tendem a se tornar obsoletos, acelerando a geração de resíduo pós-consumo (RIBEIRO; MORELLI, 2009).

Com o intuito de reduzir os impactos ambientais, é importante que as indústrias e empresas inovem sua concepção e comecem a adotar o conceito de imobilização e aproveitamento de rejeitos no contexto da ecologia industrial (FONSECA, 2000).

Capra (2002) propõe uma mudança de rumo da nova economia e da estrutura da sociedade para avançar rumo ao desenvolvimento sustentável. O autor ressalta a importância de reunir as dimensões social, ambiental e econômica de maneira sistêmica para mudar o modelo hegemônico capitalista. Um dos aspectos que focaliza é o de criação de projetos ecológicos, que são processos nos quais os objetivos humanos são inseridos, com cautela, na grande rede de padrões e fluxos do mundo natural. Tais projetos redefinem as estruturas físicas, cidades, tecnologias e indústria, de modo a torná-las ecologicamente sustentáveis.

Uma visão do futuro, na qual empresários investem no presente, é a de fornecer produtos e serviços que a população necessita, reduzindo os impactos ambientais e favorecendo o desenvolvimento sustentável. É necessário olhar o negócio como um todo e, de acordo com a realização de seus escopos, as organizações avaliam, por diferentes perspectivas, os indicadores de sustentabilidade relevantes (BAROULAKI; VESHANGN, 2007).

Assim, um modo de estimular cada vez mais as organizações, indústrias e empresas (OIEs) a mudar seus processos em busca de tecnologia de produção mais limpa é seguir a legislação. No Brasil, a PNRS vai ao encontro da Constituição Federal, tanto no capítulo que faz referência ao meio ambiente quanto àquele destinado à ciência e tecnologia. No primeiro, estabelece que todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações. No segundo, é exposto que o Estado promoverá e incentivará o desenvolvimento científico, a pesquisa e a capacitação tecnológicas para a solução dos problemas brasileiros e para o desenvolvimento dos sistemas produtivos nacional e regional.

Hoje, respondendo às pressões legais, as OIEs são cada vez mais obrigadas a procurar um gerenciamento eficiente de redução e eliminação de rejeitos industriais, adotando o conceito da sustentabilidade. A fim de satisfazer às reais necessidades do mercado, é primordial que elas inovem a sua estratégia, buscando a harmonia com o meio ambiente (BAROULAKI; VESHANGN, 2007). A propósito, no Brasil, um dos objetivos da PNRS é adotar, desenvolver e aprimorar tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais.

Smith (2001) e Jones *et al.* (2001) têm registrado algumas pesquisas sobreecoinovação – a integração da sustentabilidade ambiental nas atividades empresariais. O principal benefício da ecoinovação é o aumento da competitividade e a criação de novos mercados para produtos ambientalmente desejáveis. A proposta inovadora, como salientam Baroulaki e Veshangn (2007) e Fonseca (2000), seria colocar a pesquisa e o desenvolvimento sustentável como uma

atividade estratégica para desenvolver soluções alternativas ao descaminho do desenvolvimento industrial em nível global.

A ecoeficiência (produção sustentável de bens e serviços úteis à sociedade, agregando valor por meio da busca pela redução de consumo de recursos naturais e da minimização/não geração de qualquer tipo de poluição – Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável (WBCSD)) de uma OIE é avaliada pela sua capacidade de reduzir, reutilizar e reciclar seus produtos, minimizando, assim, os impactos no meio ambiente. Fonseca (2000) acrescenta aos 3Rs da ecoeficiência a necessidade de reprojeter e reaproveitar, como forma inovadora no desenvolvimento de produtos e serviços a partir de rejeitos industriais, o que está em perfeita sintonia com alguns dos princípios básicos da PNRS – o desenvolvimento sustentável; a ecoeficiência e o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania. Soma-se, ainda, um dos seus objetivos, que é o estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços.

Do ponto de vista de Capra (2002), o capitalismo, tal qual é concebido hoje, é incompatível com a sustentabilidade do meio ambiente. A ênfase que era dada ao produto, ao preço e à comunicação é modificada no Ambiente 21 (ARARIPE, 2005) e surge como nova tendência para o desenvolvimento da criatividade das pessoas, a melhoria da qualidade das comunidades e os desafios dos processos de inovação voltados para a sustentabilidade ecológica no planejamento estratégico empresarial. Hoje, os novos recursos de produtividade e competitividade, nas organizações preocupadas com o desenvolvimento sustentável, são a inovação, a geração de conhecimento, a capacidade de processar informações e de se relacionar.

Como tendência mundial, as organizações buscam maior afinidade com seus clientes, principalmente no que tange à responsabilidade social, visto que a sociedade começa a despertar fortemente para esse assunto. Se os clientes puderem escolher entre dois produtos, de preço e qualidade similares, certamente suas preferências recairão sobre aquele que não fira ou cause dano ao meio ambiente em que a OIE se insere. OIE e consumidores precisam mudar sua postura de consumo. Propõe-se a mudança de consciência e valores fundamentais que hoje sustentam o sistema econômico mundial, contabilizando e destacando no ciclo de vida de produtos e serviços os custos sociais e ambientais das atividades econômicas (HOCHLEITNER, p. 27, 2006).

O contexto de responsabilidade social interage com o de inovação social, que abrange um campo muito amplo de possibilidades. As inovações sociais não se restringem a processos sociais de inovação e a inovações de interesse social, mas englobam o empreendedorismo de interesse social como suporte da ação inovadora. Tais inovações são orientadas mais por mudanças de comportamento do que por mudanças tecnológicas ou de mercado – e, normalmente, emergem por meio de processos organizacionais “de baixo para cima”, em vez daqueles “de cima para baixo”. No entanto, é possível ver que decisões “de cima para baixo” (*top-down*) e interações “entre pares” (*peer-to-peer*) são, frequentemente, necessárias para ajudar a nascer e a manter as inovações sociais (MANZINI, 2008).

As comunidades criativas (inovações sociais de base na vida cotidiana) podem contribuir para expandir o conceito restrito de economia do conhecimento (uma economia de mercado em

que o produto é o “conhecimento”) para outro, mais profundo: uma economia que faz parte de um sistema em que o conhecimento e a criatividade devem ser visualizados de forma difundida por toda a sociedade, e não limitados ao conhecimento “formal” e às empresas criativas. Uma sociedade que tem como alicerce o conhecimento tende a tornar-se a espinha dorsal de uma futura sociedade sustentável, baseada no conhecimento.

Com efeito, algumas invenções desenvolvidas pelas comunidades criativas são consideradas de vanguarda dos processos de inovação sistêmicos, socialmente conduzidos, nos quais tecnologias de informação e de comunicação são utilizadas como facilitadores para criar sistemas e organizações totalmente novos (MANZINI, 2008).

Considerando que as organizações são sistemas complexos, que interagem com diferentes dimensões da sociedade, Fonseca (2000) propõe a indução de Rede 5Rs como uma estratégia inovadora para garantir vantagens competitivas nas OIEs, bem como assegurar a reposição e manutenção dos recursos natural e humano. Evidencia a importância de considerar a visão sistêmica na gestão dos resíduos sólidos. Tal visão considera as variáveis ambiental, social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública, o que está, mais uma vez, em perfeita harmonia com a PNRS, cujos objetivos são, entre outros: a articulação entre as diferentes esferas do poder público e destas com o setor empresarial, com vistas à cooperação técnica e financeira para a gestão integrada de resíduos sólidos; e o incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos rejeitos.

No Brasil, há vários grupos de P&D (vinculados a empresas ou no âmbito das universidades e centros de pesquisa) que desenvolvem estudos na área de rejeitos industriais. O capital intelectual brasileiro, nesse segmento, tem atuado em nichos de mercado divididos por tipo de rejeito (rede 5Rs), setor industrial, proposta ambiental, área do conhecimento etc. Sua abrangência e nível de conteúdo são capazes de agregar competitividade a novos negócios atuantes nesse setor (FONSECA, 2000).

Com o intuito de desenvolver esse artigo de forma esclarecedora no âmbito de seu objetivo, focalizaremos a seguir o contexto da inovação **Vikaflex®** - um novo material cerâmico -, seus impactos futuros no mercado e na sociedade. Em seguida serão abordadas as ações empreendedoras, alinhadas às discussões relacionadas ao meio ambiente, conteúdo tecnológico, impacto econômico e responsabilidade social, materiais novos para construção civil e perspectivas futuras.

3. O contexto da inovação **Vikaflex®**

No Brasil, a tecnologia de produção de materiais cerâmicos é bem desenvolvida e inovações em *design*, menores espessuras e melhor desempenho já se destacam. No entanto, as iniciativas de inovação das indústrias de cerâmica nunca incluíram o uso aprimorado de rejeitos industriais como matéria-prima desses processos.

O estabelecimento da Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) – instituída pela Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010, e regulamentada em dezembro de 2010 – constitui um grande arsenal de oportunidades, principalmente para reverter esse quadro, uma vez que o processamento cerâmico é responsável pela estabilização e imobilização de rejeitos incorporados aos diversos insumos utilizados por esse setor. Alinha-se à PNRS, o Plano Brasil Maior, que focaliza o estímulo à inovação e à produção nacional, sobretudo no setor de

construção civil – que é um importante segmento da economia brasileira na geração de emprego e renda.

A proposta desse novo material cerâmico é acelerar o processo construtivo e, portanto, reduzir o custo global de construção de habitações de interesse social, utilizando exclusivamente como matéria-prima um resíduo industrial (xisto retortado) gerado em quantidade considerável (210.000 toneladas/mês), hoje, no País (São Mateus do Sul – Paraná).

Desde a década de 1970, no Brasil, estudos fomentaram o aproveitamento integral dos resíduos da industrialização do xisto no Brasil.

O caráter inovador do **Vikaflex®** justifica a sua introdução no mercado. Além de ser ecológico, apresenta peculiaridades desejáveis em um material moderno, flexível e “sustentável”, alcançando as necessidades do mercado que não são encontradas em seus concorrentes. A construção civil não dispõe de um material resistente, extremamente leve, isolante termoacústico, impermeável, imputrescível e não inflamável. As características do novo material proporcionarão alcançar menor peso da estrutura, economia da energia em ambientes refrigerados, paredes corta-fogo, maior privacidade, redução de umidade e infiltração e longa duração em razão do seu elevado potencial de aplicação.

A missão tecnológica derivada da utilização do novo material na construção civil reside na melhoria da qualidade de vida das famílias adquirentes de uma habitação popular, construída com o novo material, pois o conforto térmico, acústico e ambiental será amplamente melhorado. De fato, é um caso típico de que a busca por soluções concretas possibilita reforçar o tecido social, gerando e colocando em prática ideias novas e mais sustentáveis de bem-estar.

É significativa para a estratégia de implantação de uma visão empreendedora nas universidades brasileiras e latino-americanas a importância dessa inovação. Sua consolidação como organização geradora de soluções tecnológicas ambientalmente corretas para imobilização e aproveitamento de rejeitos industriais devem se configurar em efetiva geração de emprego e renda. Quando se pensa em desenvolvimento tecnológico, é um erro atrelá-lo só a poder aquisitivo elevado. As classes sociais menos favorecidas merecem, por muitas vezes, o direcionamento do foco do progresso a seu favor. Só assim a América Latina crescerá como um conjunto integrado de Nações maiores, plenas na responsabilidade social, conscientes da indispensabilidade do respeito ao meio ambiente e gerentes da adequada aplicação do conhecimento (FONSECA, 2011, p.9).

4. Impactos futuros no mercado e na sociedade

Uma vez que os novos materiais são produzidos a partir, exclusivamente, de rejeito industrial, o impacto social dessa inovação na política de preços, no setor da construção civil, será nítida.

Materiais cerâmicos convencionais (de revestimento, colados com argamassa, por exemplo), se desejado, podem ser acoplados ao **Vikaflex®**. Assim, o bloco, painel e divisórias modulares poderão ser comercializados já revestidos, garantindo economia considerável na construção (Figura 1).



Figura 1 - Placas do novo material revestidas com materiais convencionais

Sucintamente, os módulos do novo material desenvolvido provocarão impacto significativo no mercado de tijolos, placas cimentícias, blocos pumex (blocos de concreto extremamente leves, resultantes do tratamento que confere aparência de espuma endurecida. Seu peso por metro cúbico fica em torno de 550 kg contra 1400 kg do tijolo comum) e painéis drywall (um material de construção usado em montagens e edificações, utilizando placas de gesso fixadas sobre estruturas metálicas). O aumento da competitividade no setor dará um salto, tanto pelo reconhecimento da qualidade dessa inovação, como pela convicção de que a efetiva união da ciência, tecnologia e indústria traz benefícios sociais significativos ao Brasil.

O novo material construtivo garantirá uma redução no *déficit* habitacional brasileiro para famílias de baixa renda (5 a 6 milhões de moradias), o que contribuirá no aumento de 50% de produtividade do setor da construção civil e na redução de perdas a zero, tanto na produção como na obra em si. Todo e qualquer excedente de uma obra que utilize esses materiais servirá como adição ativa ao cimento/argamassa utilizado nas edificações para união dos blocos, painéis e placas.

CARACTERÍSTICA	DESCRIÇÃO
Acabamento	Aceita qualquer acabamento convencional (pintura, tecido, papel de parede, emboço e cerâmica)
Custo	Redução de 20% da construção em razão da leveza do material (baixa densidade)
Estrutura Predial	Economia de 30% de concreto e 35% de ferro, gerando uma redução de 25%
Risco de incêndio	Incombustível
Reaproveitamento integral de material excedente	Incorporação nas argamassas e no concreto (atividade pozolânica)
Paredes	Espessura flexível em razão da autoaderência ou fácil colagem de blocos modulados e painéis
Peso	Comparado com cerâmica de 5mm, tem uma redução de 70%/m ² ; comparado com parede cimentícia de 12mm – e com peso de 20.4 kg/m ² – o produto pesa 11,2 kg/m ² – o que corresponde a menos 45%.

Fonte: Fonseca (2011)

Tabela 1: Vantagens do **Vikaflex®**

A proposta de industrialização do novo produto em ciclo aberto (industrialização de componentes construtivos modulados destinados ao mercado) e sua fabricação, alinhada à coordenação modular decimétrica, contribuirá significativamente para racionalizar a produção de novas habitações. A partir da produção industrial de um lote pioneiro, o mercado de divisórias, blocos, forros e painéis construtivos será fortemente influenciado pelo novo produto.

Os novos materiais desenvolvidos são compatíveis aos processos construtivos e às estruturas tradicionais de fixação. Podem ser combinados entre si de vários modos e receber variados revestimentos (argamassas, laminados, tecidos, etc.), satisfazendo uma escala variada de exigências funcionais e estéticas. A ideia é a de expandir no Brasil o conceito IKEA (empresa sueca de móveis, exemplo de sucesso de inovação no setor), unido ao conceito LEGO (empresa dinamarquesa de brinquedos modulados de montar, exemplo de sucesso em inovação no setor): casas com montagem modular. A proposta é ressignificar a construção de habitações de interesse social, tornando-a um mega LEGO-IKEA, apoiada em ciência e tecnologia, associada à sustentabilidade e geração de emprego e renda (FONSECA, 2011).

5. A sustentação da proposta

É uma proposta sustentada em tecnologias estimuladas pela PNRS e que se caracteriza pela aplicação do conceito 5Rs – reduzir, reprojeter, reciclar, reaproveitar e reutilizar – na produção de bens e serviços para a sociedade. Tal encaminhamento radicaliza os interesses empresariais e se enquadram no contexto de responsabilidade social diante das comunidades regionais.

As considerações mais importantes do empreendimento são (FONSECA, 2011):

5.1. Preservação do meio ambiente

Tendo como premissa que o referido projeto possibilita o reaproveitamento de rejeitos industriais, gerados em grandes quantidades, dando consistência a produtos utilizáveis e consumíveis, julga-se ser este um dos principais méritos do empreendimento.

5.2. Conteúdo tecnológico

Um empreendimento de elevado conteúdo tecnológico, com alto nível de competitividade presente no Ambiente 21, deve contar com um aprimorado trabalho de P&D.

5.3. Impacto econômico e responsabilidade social

Esse projeto, que contribui para o melhor aproveitamento de rejeitos, em consonância com a estratégia de desenvolvimento industrial no país – e com a divulgação da PNRS –, se configura, hoje, como uma oportunidade de mercado, contribuindo com o aumento de oferta de emprego e da atividade econômica.

5.4. Materiais novos para a construção civil

Esse empreendimento favorece a criação de novos processos e produtos no setor de materiais cerâmicos, capazes de contribuir com a capacidade produtiva do Brasil. Trata-se de um método produtivo convencional, executado de forma inovadora, utilizando operações características do setor cerâmico.

5.5. Perspectivas futuras

Com efeito, a grande novidade do empreendimento é a produção de novos materiais com aplicabilidade em áreas ainda não atendidas da arquitetura e construção civil. É possível concretizar a implantação de unidades produtivas e similares nas Regiões Sudeste, Nordeste e Norte do Brasil e em outros países da América Latina, baseados no conhecimento já disponível a partir de outros rejeitos industriais e materiais argilosos.

6. Considerações Finais

As novas tendências da expansão industrial, pela utilização de tecnologias de produção mais limpa, é cada vez mais evidente e observa-se um crescente nível de preocupação da sociedade pela preservação ambiental e ecológica, rumo ao desenvolvimento sustentável.

Os materiais **Vikaflex®** são produtos que podem ser considerados como inovadores, em razão de suas características e propriedades (leveza, resistência, isolamento térmico e acústico, incombustibilidade, imputrescibilidade e impermeabilidade, reunidas em único material) e dos benefícios sociais de sua utilização em moradias populares. O processo, já desenvolvido e patenteado, de imobilização do rejeito industrial ajuda a eliminar de maneira útil, sustentável e rentável um resíduo que consome recursos significativos para seu descarte.

No contexto de Negócio Social, os novos materiais desenvolvidos exemplificam um modelo de empreendimento criado para promover a transformação social, que favorece, sobretudo, a população de baixa renda. Apoiado justamente na lógica da competitividade e da ecoeficiência, e com respaldo tecnológico, é capaz de resolver problemas sociais críticos da sociedade contemporânea.

Será imediato o benefício causado pelo surgimento desses novos produtos, que alcançarão o mercado global por suas qualidades intrínsecas e, notoriamente, por possuir ampla aplicação sustentável no panorama mundial, contribuindo para a defesa do meio ambiente e por enquadrar-se dentro dos anseios da sociedade na busca de convivência mais digna.

7. Referências

ARARIPE, G. P. F. Proposta de um modelo de comunicação para um ambiente universitário do século XXI. 2005. 227f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) —COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

BAROULAKI, E.; VESHANGN, A. Eco-Innovation: product design and innovation for the environment. **Advances in Life Cycle Engineering for Sustainable Manufacturing Business**, Part 2, A1, 17-22, 2007.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. 44 ed. São Paulo: Saraiva, 2010.

BRASIL. Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa; e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 23 dez. 2010. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ Ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm>. Acesso em: 02 ago. 2011.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 02 ago. 2010. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em: 02 ago. 2011.

CAPRA, F. **As conexões Ocultas: ciência para uma vida sustentável**, São Paulo: Ed. Cultrix, 2002.

FONSECA, M. V. A. **Rede 5Rs: uma inovação de contexto no desenvolvimento de produtos e serviços a partir de rejeitos industriais no Brasil**. In: Seminário Nacional sobre Reuso/Reciclagem de Resíduos Sólidos Industriais, 2000. São Paulo: Secretaria de Estado de Meio Ambiente de SP / Cetesp, 2000.

FONSECA, M. V. A. **Vikaflex®: um novo material para a construção da América Latina**. 2011. Trabalho não publicado, submetido ao Prêmio Inovadores de América 2011. Inscrição Disponível em:

<<http://inovadoresdeamerica.org/app/do/participants.aspx?m=&c=&t=&country=3&category=&status=&p=1>>. Acesso em: 02 ago. 2011.

HOCHLEITNER, M. L. **Orientando a organizações para o capital humano e natural: o desafio da inovação no Ambiente 21**. 2006. 162f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) —COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

JONES, E.; HARRISON, D.; McLAREN, J. Managing Creative Eco-innovation: structuring outputs from eco-innovation projects. **The Journal of Sustainable Product Design**. v. 1, n. 1, p. 27-39, mar. 2001.

MANZINI, E. **Design para a inovação social e sustentabilidade: comunidades criativas, organizações colaborativas e novas redes projetuais**. Rio de Janeiro: E-papers, 2008.

RIBEIRO, D. V.; MORELLI, M. R. **Resíduos sólidos: problema ou oportunidades**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2009.

SMITH, M. T. Eco-innovation and market transformation. **The Journal of Sustainable Product Design**, v. 1, n. 1, p. 19-26, mar. 2001.

Reverse logistics: a route that only makes sense when adopting a systemic vision

T. R. T. Campos¹, M. V. A. Fonseca¹ & R. M. N. Morais²

¹Alberto Luiz Coimbra Institute for Graduate Studies and Research in Engineering, Federal University of Rio de Janeiro, Brazil

²National Institute of Metrology, Quality and Technology (Inmetro), Brazil

Abstract

The Solid Waste National Policy (SWNP) established by Law No. 12.305/2010 and regulated by Federal Decree No. 7404/2010 indicates advances in solid waste management in Brazil. The main one is the implementation of shared responsibility for the life cycle of products, operationalized through the Reverse Logistics system. This system seeks the restitution of solid waste to the business sector for reusing in the production chain or for environmentally appropriate disposal. The challenge and successful implementation of the SWNP requires the government's strategic vision and a change in the behaviour of the Brazilian population. This process needs to be built through social debate and engagement of all stakeholders, from the social and economic inclusion of waste pickers in the recycling chain to the real commitment of entrepreneurs, transforming degrading jobs in entrepreneurship, combined with innovation. Despite the fact that the SWNP and other regulatory instruments generically indicate a stimulus to the incorporation of non-virgin raw materials in the production process of Electrical and Electronic Equipment (EEE), no concrete step in this direction has been found yet. The complex nature of the productive chain of electrical and electronic products gives an indication of the interlinked network of inter-relationships of the industrial system involved in it, once it depends on the integration of several industries. In this context, it is important to structure a management model for the reuse of industrial waste, based on the creation of a network – 5Rs Network – that allows to Reduce, Redesign, Recycle, Reuse and Repurpose the waste generated throughout the production cycle of the EEE in the country. This paper reveals which industrial sectors are related to the EEE



productive chain, focusing on why only with a systemic and holistic view – 5Rs Network – will the Reverse Logistics become effective.

Keywords: industrial waste, reverse logistics, waste electrical and electronic equipment, industrial symbiosis, network.

1 Introduction

In manufacturing operations, considerable attention has been given to the minimization of the environmental impacts on process development and design due to the demands of the increasing costs of compliance and environmental regulations that have emerged in recent decades. The focus on the productive chain management abandons, therefore, the perspective of the specific cost approach and adopts a more holistic view of sustainable development [1].

Fonseca [2] defines the productive chain as “a network of inter-relationships between several actors of an industrial system that allows the identification of the flow of goods and services across sectors that are directly committed, from the sources of raw materials to the final consumption of the product”.

The importance of balancing the social, environmental, technological and economic objectives on the sustainable development of industries has aroused greater concern in the sustainable design and planning of supply chains in recent years. The combination of environmental management and supply chain management, within a simple structure, led to the emergence of a new discipline called “Green” Supply Chain Management, which includes sustainable design and sustainable operating practices in the productive chain [3–5].

In this context, certain fundamental aspects are commonly considered: process wastes; efficient use of energy sources; greenhouse gases emission; efficient use of capacity and resources (eco-efficiency); and legal and environmental factors. In fact, the regulations and growing consumer pressure increase the need for integrating environmentally sound choices with the research and practice of productive chain management [1].

In Brazil, with the implementation of the Solid Waste National Policy (SWNP) [6], these questions become relevant, especially with regard to the obligation of shared responsibility for the lifecycle of products, exploited by the Reverse Logistics system.

In this paper, we will focus on the waste originated from industrial processes involved in the electrical and electronic industry sector, addressing the concept of eco-efficiency, supported by the principles and objectives of the SWNP.

2 Green management of the productive chain

Sustainability requires the integration of processes that extend beyond the fundamental aspects of the supply chain management, such as product design, manufacture of by-products, by-products produced during the product’s use, product lifespan, end of its useful life, and recovery processes at the end of its



useful life. In order to design and optimize supply chains, with respect to environmental principles, it is necessary to ensure energy conservation and waste management throughout the stages of the supply chain [1].

2.1 Challenges

The projects of environmentally sound industrial processes should be developed with a systemic view, adopting a strategy that considers environmental issues as key objectives in order to achieve better performance, both economic and environmental.

The design of the environmentally sound product involves the integration of an environmental vision from its conception to delivery and final disposal of the product [1]. Considering these issues in the early stages of the development process, however, increases the complexity of designing tasks, which is further complicated by the need to consider different conflicting criteria as well as the various sources of uncertainty, demand and prices [1, 7].

A sustainable decision making is often made, considering only inventory management, production planning, product recovery, etc. Nikolopoulou and Ieraperitou [1] suggest that integrated methodologies that combine two or more of these approaches are examined by both the academic community and the industry in order to have a more realistic analysis of the systems under investigation.

This holistic approach allows for the definition of responsibilities in the management of solid wastes to be structured, identifying innovative business opportunities.

3 The SWNP and the shared environmental responsibility

The SWNP established by Law no. 12.305/2010 [6], regulated by Federal Decree no. 7.404/2010 [8], indicates significant improvements in the management of solid wastes in Brazil. The main one is the shared responsibility for the lifecycle of products, operationalized through the Reverse Logistics system. This instrument is identified by some environmentalists as one of the main resistance points of the long course of the bill in Congress, which took 20 years to be approved.

The challenge and successful implementation of the SWNP requires the government's strategic vision and a change in the behaviour of the Brazilian population. This process needs to be built by means of social debate and engagement of all stakeholders, from the expansion of opportunities for social and economic inclusion of waste pickers in the recycling chain, to the real commitment of entrepreneurs, transforming degrading jobs in entrepreneurship, allied to innovation, besides the opportunity of promoting and establishing the new concept of green economy.

Reverse Logistics is defined in the law as the "economic and social development instrument characterized by a set of actions, procedures and means



to enable the collection and recovery of the solid waste to the business sector, for reuse, in its cycle or other production cycles, or other environmentally appropriate disposal". Therefore, Reverse Logistics is also seen as a way of ensuring the return of the products post-consumption or post-sale. This is because the concern of this system is to make any material, which cannot be reused, return to its productive cycle, or to another industry, as input, protecting the nature resources and favouring an environmentally correct disposal.

It is worth noting the existence of other regulations prior to the SWNP that already dealt with the Reverse Logistics: tires, pesticide containers, used or contaminated lubricating oil, and batteries. The law (Art. 33) broadens the scope of the obligation to structure and implement Reverse Logistics systems for other productive chains, such as fluorescent lamps, sodium and mercury vapour and mixed lighting lamps and electrical and electronic products and their components.

The Decree no. 7404 [8] created the Interministerial Committee of the SWNP and the Steering Committee for the Implementation of Reverse Logistics systems (CORI), both with the intention to support the structuring and implementation of the law by coordinating bodies, governmental entities and civil society.

The Interministerial Committee created five working groups (WG) to enable compliance with the determinations and goals provided by the law: WG01 – Implementation and accompaniment of Solid Waste Plans and creation of the SINIR – National System for Information on the Management of Solid Waste; WG02 – Energy Recovery from Urban Solid Waste; WG03 – Finance and credit lines, tax exemption for recyclable and reusable products; WG04 – Hazardous Waste – Management Plan for Hazardous Waste and Decontamination of Orphan Areas and WG05 – Environmental Education.

The Steering Committee has the following responsibilities: establish the strategic direction of the implementation of Reverse Logistics systems; define the methodological guidelines to evaluate the social and economic impacts of the Reverse Logistics systems; promote studies and propose tax exemption measures for supply chains subject to Reverse Logistics. In addition, the 5th article of the Decree establishes that the responsibility for the effectiveness of the SWNP lies upon all members of the supply chain (manufacturers, importers, distributors, traders, consumers and holders of cleaning services and solid waste management) that provide or help in the generation of waste. Those responsible are involved since the initial links of this chain – activities of extraction and obtainment of raw materials – ,passing, in the case of industrial supply chains, through the steps of processing or manufacturing, until the final links of distribution and consumption of finished products.

The decree establishes in Title V – the participation of waste pickers. According to the 40th article "the system of selective collection of solid waste and the Reverse Logistics prioritize the participation of cooperatives or other forms of association of waste pickers consisting of low-income individuals".

It is important to mention that the decree gives special attention to Reverse Logistics and defines three different tools that could be used for its implementation: regulations, sectoral agreements and term sheet. By allowing



large social participation, the sectoral agreements have been chosen by the Steering Committee, as the preferred instruments for the implementation of Reverse Logistics.

In order to build the Reverse Logistics system, Thematic Working Groups (TWG) were created with the participation and involvement of different stakeholders to discuss with the government the modelling proposals for Reverse Logistics' five priority supply chains: packaging of lubricating oils; fluorescent lamps, sodium and mercury vapour and mixed lighting lamps, electrical and electronic products and their residues, general packaging and disposal of medicines.

These groups were intended to establish the modelling proposals of Reverse Logistics and the subsidies for the Request for Proposals of Sectoral Agreements, as well as collecting information for studies of technical and economic viability in order to support the Steering Committee in making decisions relevant to the topic. The broad debate with the participation of relevant stakeholders was important to consolidate a negotiation over the final text for the sectoral agreement. A sectoral agreement is defined in the SWNP as "a contractual act, signed between the government and manufacturers, importers, distributors or dealers, with a view to implement shared responsibility for the lifecycle of the product".

Recently the SWNP was the theme of the 4th National Conference on the Environment organized by the Ministry of Environment, aiming to promote a broad debate to contribute to the implementation of the policy with a focus on: sustainable production and consumption, reducing environmental impacts, generation of work, employment and income, and environmental education. This process mobilized more than 200,000 people in 65% of Brazilian municipalities, which discussed and approved different proposals that were analysed and voted upon at the National Conference. There were 643 municipal and 179 regional conferences to reach the national stage [9].

3.1 Electrical and electronic waste

The TWG concluded their work in November 2013 and, according to the SINIR, the ten proposals concerning the implementation of the Reverse Logistics of electrical and electronic products and their residues have been considered by the Ministry of Environment (MMA) and are under discussion with the proponents [10].

The technological advances and rapid incursions of electrical and electronic products require increasingly complex studies of these markets, in particular of their supply chains, especially the management of their waste.

The Basel Convention has set the as theme of its high-level segment at the eighth Conference of the Parties (COP-8) in 2006, creating innovative solutions through the Basel Convention for the environmentally sound management of electrical and electronic wastes. The choice of the theme reflected the worldwide concern over the large waste flow of electrical and electronic equipment and the increasing export of this equipment to developing countries, coupled with the vulnerability of these countries to ensure an environmentally appropriate



management of such wastes, and thereby increasing the risk associated with the uncontrolled import of these products.

The Brazilian market for electrical and electronic equipment has been growing strongly in recent years. According to the Brazilian Association of Electrical and Electronics Industry [11], the exports are expected to grow 5%, to US\$8.1 billion, while imports will increase 8%, reaching US\$43.6 billion. Therefore, the trade deficit in the sector, in 2013, should be 9% higher than in 2012, totaling US\$35.5 billion (Table 1).

Given that the provisions of the SWNP are being introduced gradually, by the issuance of license regulations by the federal government and the compliance of state and municipal governments, the market for treatment of electrical and electronic equipment waste (EEEW) tends to expand.

It is not possible to carry out a sectoral planning without taking into account the ramifications along the production chain. Therefore, a detailed analysis of the flow of materials or study on the generation of waste in the entire production chain of Electrical and Electronic Equipment (EEE) is critical to support the part of the legislation that addresses the EEEW and the development of new policies.

Table 1: Projections of key indicators of the sector in Brazil.

	2012	2013	2013 x 2012
Sales revenue (US\$ million)	73,931	76,491	3%
Exports (US\$ million)	7,719	8,100	5%
Imports (US\$ million)	40,222	43,600	8%
N° of employees (1000)	183	187	2%

Source: ABINEE [11].

One conclusion of the study conducted by Araújo *et al.* [12], for example, was to identify the need for further research in modeling the generation of EEEW, in order to collect data on the production and collection of EEEW flow. These data would be used to support stakeholders to establish an efficient policy of EEEW in the country, which, however, will depend on a number of critical factors which include: creation of a specific legislation on EEEW, with regulations that are suitable for the regional market with different conditions; establishment of effective and safe controls; structuring a flow of Reverse Logistics, for each type of product that are competitive and at the same time, environmentally and technologically well-structured; and promotion of reuse, renovation and recycling markets.

4 Eco-efficiency and eco-industrial parks

In the current scenario of the 21 Environment – contemporary context, characterized by the acceleration of technological, market and values change [13] – the role of technology is to provide solutions, revolutionizing the current organization paradigm of production and consumption. This is a discussion that has encouraged the academia to diligently investigate possible ways to overcome, especially, the scarcity of natural resources and reduction of



environmental impacts. One of the alternatives found is the creation of a production-consumption system with organization and functioning that are similar to the mechanisms of food webs of living organisms. Comparing industrial processes and the processes of nature, it is noticed that the main difference lies in the fact that, in these last, the total balance of waste is zero. In the cyclical characteristic of nature, waste is food.

It is in this context that the concept of industrial ecology or industrial symbiosis, introduced by Frosch and Gallopoulos [14], emerges. The authors propose the development of industrial symbiosis (IS), in which the Organizations, Industries and Businesses (OIB) should seek to optimize their activities through the reuse of energy and materials throughout the various stages of production and consumption. It is a model based on a concentrated group of industries with the objective to eliminate wastage and reuse all natural resources, free of pollution and toxic residues, different from the traditional industry.

The eco-efficiency (sustainable production of goods and services that are useful to society, aggregating value through the pursuit of the lower consumption of natural resources and minimization/non-generation of environmental impacts – World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) [15]) of an OIB is evaluated by its ability to reduce, reuse and recycle its products, thus minimizing the impacts on the environment. To the 3Rs of eco-efficiency, the need to redesign and repurpose are added as innovative ways of developing products and services from industrial waste [16], which are perfectly aligned with some of the basic principles of the SWNP – sustainable development, eco-efficiency and recognition of reusable and recyclable solid waste as an economic and social value as well, generating employment and income and promoting citizenship. Yet, one of its goals, which are to encourage the adoption of sustainable patterns of production and consumption of goods and services, is also added.

Chertow [17] defined the industrial symbiosis as “engaging traditionally separate industries in a collective approach to competitive advantage involving physical exchange of materials, energy, water, and by-products. The keys to industrial symbiosis are collaboration and the synergistic possibilities offered by geographic proximity”.

The motivations for industrial symbiosis are, for example, conventionally commercial – the sharing of resources can reduce costs and/or increase revenues. On another level, the industrial symbiosis can increase the security of resources in the long run, increasing the availability of essential resources such as water, energy or certain raw materials by means of contracts. In some cases, companies persist in the symbiosis as a response to the pressure of regulatory instruments, which demand industrial operators to increase the efficiency in the use of resources, reduce emissions, and/or eliminate wastage. The benefits occur in clusters included in a single sector, such as the petrochemical, pharmaceutical, as well as the “multi-industries”, such as the Kalundborg’s, in Denmark [18].

Identifying and promoting emerging industrial ecosystems offers the promise of many benefits, particularly environmental. It is essential, however, to lead public and private stakeholders through the possibilities of sharing resources in



geographically related industrial areas, of diversified industrial sectors, by selecting projects with demonstrable nuclei of self-organization that can emerge as more fully viable industrial ecosystems. And the interrelationship of various types of industries involved in the production chain of the electrical and electronics sector represents an excellent opportunity for market creation in the context of products and services in the environmental area, particularly with regard to industrial waste.

5 Sustainable Reverse Logistics

Logistics activities involve the material flow forward, through the supply chain, while the Reverse Logistics addresses the return flows from the user and includes reprocessing it to a usable product [19].

By-products and residues are potentially valuable inputs in several industrial processes. The markets are being developed to capitalize on waste, acknowledging the value of the use and reuse of these materials as inputs, creating the Reverse Logistics as a research area. There are justifications, economic and political, which highlight the need for investment in this area of research [20, 21].

It is noted that the processing of waste materials and end-of-life products, rather than using virgin raw materials, saves money, since less virgin raw material and less final disposal are used [22].

The literature on the analysis of Reverse Logistics focuses primarily on product recovery systems at the end of its useful life. Only a few previous works, such as Mondschein and Schilkrut [23], addressed the process of recovering waste/by-product in exchange networks between industries that share a considerable amount of waste.

Alternatively, Fleischmann *et al.* [19] conducted a study in another setting. They have used the principle that the efficient execution of closed-loop supply chains requires the creation of appropriate logistics structures for the flows derived from used and recovered products. They have considered a logistics network project in the context of Reverse Logistics. Presented a generic model of installation and discussed differences between traditional logistics such as steel, civil construction waste, electrical and electronics and carpet recycling. Moreover, they have used the model developed by them to analyze the impact of the return of the product flowing in logistics networks. It was shown that the influence of product recovery is very dependent on the context. While in many cases the product recovery can be efficiently integrated in the existing logistics structures, other examples require a more comprehensive approach to redesign a logistics network of companies in an integral way.

As evidenced in the previous sections, the corporate practice focused on sustainability can be inspired by production cycles that reduce the waste materials to the maximum. Although the SWNP and other regulatory instruments generically indicate the stimulus to the incorporation of non-virgin raw materials in the production process of the EEE, no concrete step in this direction has yet been found. It is essential to evaluate the problems derived from electrical and



electronic wastes, from its process of industrial production to its reuse. The complex nature of the productive chain of electrical and electronic products indicates the interwoven network of inter-relationships of the industrial system involved in it, because it depends on the integration between various industries (plastics and rubber; mining and metallurgy; machinery; pulp and paper – packaging; chemical industry; glass; basic electrical materials; electronic – semiconductors, boards, circuits, other – ; software; and mechanical components). Given this situation, it is important to structure a management model for the reuse of industrial waste formed in the entire production cycle of EEE, based on the creation of a network – 5Rs Network – that allows to Reduce, Redesign, Recycle, Reuse and Repurpose the industrial waste generated in the country [16].

The conceptual map in Figure 1 shows the systemic view of Reverse Logistics of electrical and electronic waste.

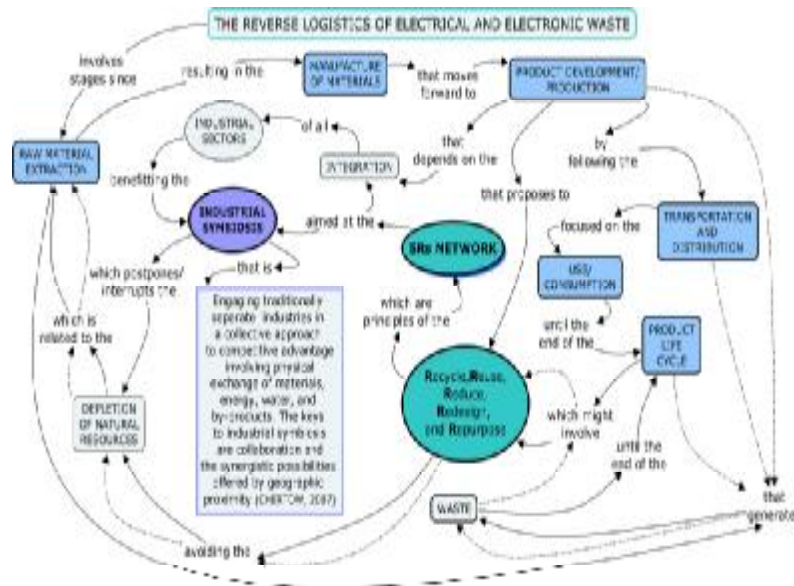


Figure 1: Systemic view of the Reverse Logistics of waste.

6 The Reverse Logistics and the boundaries of companies – a unique opportunity

The Reverse Logistics, characterized here by a systemic view that involves leveraging the opportunity to reframe the whole production chain of the electrical and electronics industry, is configured as an opportunity for new businesses development.

Companies can obtain the revenues derived from the conquest of markets by expanding its boundaries. The four main boundaries are: SCALE, SCOPE,

EXTENTION and SPEED. Companies change their boundaries over time. For innovation, it is important to know the geography of the company's boundaries! As the SCALE is associated with the production capacity – usually measured in terms of output per day or per year and characterized by the horizontal consolidation and growth of the company – the increased production and consumption of electrical and electronic products alone represents a real possibility of establishing a myriad of new business upstream and downstream the availability of consumer products. Whether considering the production of metals – widely used in the manufacture of parts, spare parts and components (PSP&C) of all kinds – from mining activities at the beginning of the chain, or considering the recovery of these metals from these same PSP&Cs on the products “discarded” by the yesterday's user, a set of demands for solutions that require SCALE would be created in order to configure them as profitable, associated with the principles of sustainability.

The range of products produced by the company is associated with the SCOPE, characterized by the lateral consolidation and diversification of the company. If every company that produces those same PSP&Cs, associated or not with those that incorporate them in their products, gives rise to a number of startups or spin-offs related to recycling, repurposing or reusing components that integrate PSP&Cs, a consistent perspective of generating employment and income at the national level is created.

The EXTENTION refers to the number of vertical stages of production, distribution and marketing that are undertaken by the company. This boundary is associated with the production sequence, vertical consolidation and vertical integration. An extensive look at all stages of the PSP&Cs production processes opens huge perspectives for the innovative entrepreneurship, reaching from the processing of ores, including their materials and equipment, to the system of its post-consumer collection.

The most riveting frontier – SPEED – related to the pace of innovation, dynamic consolidation and accelerated innovation, is perfectly aligned to the Reverse Logistics in the moment that induces, in practice, a permanent set of actions that are meant to challenge conventional knowledge with the objective of creating for the unknown.

7 Conclusion

With the implementation of the SWNP, the 5Rs Network is now an imminent operational model of sustainable development for the repurpose of industrial waste, particularly in the electronics sector. It is important to identify that, because of the multi, trans- and interdisciplinarity, typical of the WEEE, the association between the SWNP and the 5Rs Network will reframe the Reverse Logistics of this waste. The benefit caused by the emergence of new products and businesses that will reach the regional and global market by having wide sustainable application in the global scene will be immediate.

Recognizing that it is extremely difficult for many companies to keep moving when everything seems to work well, treating Reverse Logistics in a systemic



manner, allied with the aspects that favor the expansion of the companies' boundaries, will finally aggregate value to the national product, favoring the regional development. Involving the generation of employment and income to sustainable development – this is the way.

References

- [1] Nikolopoulou, A. & Ierapetritou, M.G. Optimal design of sustainable chemical processes and supply chains: A review. *Computer and Chemical Engineering*, **44**, pp. 94-103, 2012.
- [2] Fonseca, M. V. A. Rede 5Rs: uma inovação de contexto no desenvolvimento de produtos e serviços a partir de rejeitos industriais no Brasil. *Proc. of the Seminário Nacional sobre Reuso/Reciclagem de Resíduos Sólidos Industriais*, São Paulo: Secretaria de Estado de Meio Ambiente de SP/ Cetesp, 2000 (in Portuguese).
- [3] Srivastava, S.K. Green supply-chain management: A state-of-the-art literature review. *International Journal of Management Reviews*, **9** (1), pp. 53-80, 2007.
- [4] Zhu, Q. & Cote, R.P. Integrating green supply chain management into an embryonic eco-industrial development: a case study of the Guitang Group. *Journal of Cleaner Production*, **12**, pp. 1025-1035, 2004.
- [5] Barbosa-Póvoa, A.P. Progresses and challenges in process industry supply chains optimization. *Current Opinion in Chemical Engineering*, **(1)**, pp. 446-453, 2012.
- [6] Brazil. Law 12.305, dated August 2, 2010. Institutes The Solid Waste National Policy. Official Gazette [of] the Federative Republic of Brazil. Brasilia, DF 02 August 2010. Available at: www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305 (Accessed on October 20, 2013) (in Portuguese).
- [7] Linton, J.D., Klassen, R. & Jayaraman, V. Sustainable supply chains: An introduction. *Journal of Operations Management*, 2007. Available at: www.sciencedirect.com.
- [8] Brazil. Decree No. 7,404, dated December 23, 2010. Regulate The Solid Waste National Policy. Official Gazette [of] the Federative Republic of Brazil. Brasilia, DF 23 December 2010. Available at: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007/2010/2010/Decreto/D7404.htm (Accessed on October 20, 2013) (in Portuguese).
- [9] <http://www.conferenciameioambiente.gov.br/wp-content/uploads/2013/02/RESULTADO-FINAL-4CNMA1.pdf> (Accessed on December 15, 2013) (in Portuguese).
- [10] SINIR, <http://www.sinir.gov.br/web/guest/logistica-reversa> (Accessed on December 15, 2013) (in Portuguese)
- [11] ABINEE – Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (Brazilian Electrical and Electronic Producers Association), 2013. Desempenho Setorial (Sector Performance). São Paulo, Brasil. Available at: www.abinee.org.br (in Portuguese).



- [12] Araújo, M.G., Magrini, A., Mahler, C.F. & Bilitewski, B. A model for estimation of potential generation of waste electrical and electronic equipment in Brazil. *Waste Management*, **(32)**, pp. 335-342, 2012.
- [13] Araripe, G.P.F. *Proposed communication model for a college environment of the XXI Century*. 2005. 227 pages. Thesis (Master of Science in Production Engineering) – Alberto Luiz Coimbra Institute for Graduate Studies and Research in Engineering, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil, 2005, (in Portuguese).
- [14] Frosch, R.A. & Gallopoulos, N.E. Strategies for Manufacturing – Waste from one industrial process can serve as the raw materials for another, thereby reducing the impact of industry on the environment. *Scientific American*, **261 (3)**, pp.144-152, 1989.
- [15] World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). Available at: <http://www.wbcsd.org/home.aspx>. Accessed on October 10, 2013.
- [16] Campos, T.R.T & Fonseca, M.V.A. Rede 5Rs: a base estratégica para a operacionalização da SWNP, no âmbito industrial (5Rs network: the strategic basis for the operationalization of SWNP, in the industrial sector). *Proc. of the XXXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção /ENEGEP (National Meeting of Production Engineering)*. Bento Gonçalves (RS), 2012. (in Portuguese).
- [17] Chertow, M.R., “Uncovering” Industrial Symbiosis. *Journal of Industrial Ecology*, **11(1)**, pp. 11-30, 2007.
- [18] Ehrenfeld, J. & Gertler, N. Industrial Ecology in Practice. The Evolution of Interdependence at Kalundborg. *Journal of Industrial Ecology*, **1(1)**, pp. 67-79, 1997.
- [19] Fleischmann, M., Bloemhof-Ruwaard, J.M., Dekker, R., Van der Laan, E., Van Nunen, J.A.EE. & Van Wassenhove, L.N. Quantitative models for reverse logistics: a review. *European Journal of Operational Research*, **103**, pp.1-17, 1997.
- [20] Corbett, C.J. & Kleindorfer, P.R. Environmental Management and Operations Management: Introduction to part 1 (Manufacturing and Ecologicalistics). *Production and Operations Management*, **10 (2)**, pp.107-111, 2001.
- [21] Corbett, C.J. & Kleindorfer, P.R. Environmental Management and Operations Management: Introduction to part 2 (Integrating Operations and Environmental Management Systems). *Production and Operations Management*, **10 (3)**, pp.225-227, 2001.
- [22] Pourmohammadi, H., Rahimi, M. & Dessouky, M. Sustainable Reverse Logistics for Distribution of Industrial Waste/Byproducts: A joint optimization of operation and environmental costs. *Supply Chain Forum, An International Journal*, **9 (1)**, pp. 2-17, 2008.
- [23] Mondschein S.V. & Schilkut A. Optimal Investment Policies for Pollution Control in the Copper Industry. *Interfaces*, **27 (6)**, pp.69-87, 1997.

