



www.relainep.ufpr.br



PROPOSAL FOR CIRCULAR ECONOMY: REUSE OF MICROELETRONIC WASTE

PROPOSTA PARA A ECONOMIA CIRCULAR: REUSO DO RESÍDUO DA MICROELETRÔNICA

Antonio Sérgio Brejão¹✉, Oduvaldo Vendrametto¹, Marcos de Oliveira Morais¹

¹UNIP - Universidade Paulista, São Paulo, São Paulo, Brasil

✉ prof.sergiobrejao@uol.com.br

Recebido: 26 abril 2020 / Aceito: 05 maio 2020 / Publicado: 08 julho 2020

RESUMO.

Reaproveitar resíduos industriais está em consonância com as propostas para empresas que pretendem se adaptar às novas políticas ambientais de produção mais limpa e da economia circular. Esta pesquisa tem como objetivo o estudo e experimento empírico do reuso dos resíduos da produção de *chips* do setor da microeletrônica para a produção de artefatos de concreto não estrutural. Neste estudo, resíduos (efluente industrial) contendo pó de silício, obtido por meio do processo de lapidação e corte das lâminas de silício, foram adicionados ao material agregado de cimento para argamassa constituindo os corpos de prova. Em seguida avaliou-se a possibilidade de ganho na resistência à compressão da massa comparada à massa padrão que indicou uma possível aplicação em artefatos de concreto no contexto da economia circular.

Palavras-chave: Resíduo, Silício, Artefatos de Concreto, Economia Circular.

ABSTRACT.

Reusing industrial waste is in line with proposals for companies wishing to adapt to new environmental policies of cleaner production and circular economy. This research deals with the empirical study and experiment of the reuse of waste from the microelectronics sector chip production for the production of non-structural concrete artifacts. In this study, residues (industrial effluent) containing silicon dust, obtained by the process of cutting and cutting the silicon blades, were added to the mortar cement aggregate material constituting the specimens. Then, the possibility of gain in the compressive strength of the mass compared to the standard mass that indicated a possible application in concrete artifacts in the context of the circular economy was evaluated.

Keywords: Waste, Silicon, Concrete Artifacts, Circular Economy.



1. INTRODUÇÃO

No processo de produção de *chips* do setor da microeletrônica ocorre a etapa de lapidação e corte de lâminas de silício. Após este processo, é gerado um efluente industrial contendo pó de silício e água que, por consequência, gera um material com granulometria específica compondo um material pastoso em forma de lodo residuário.

Para se avaliar a possibilidade de reaproveitamento destes resíduos em outros processos industriais, optou-se por uma pesquisa empírica que avaliou a reutilização do efluente industrial como resíduo de silício e sua aplicação para o setor da construção civil como material agregado com objetivo de se obter uma produção mais limpa para o setor produtivo de *chips* e consequentemente a economia circular.

Inicialmente, entende-se que o objetivo da economia circular é a de fomentar positivamente a sustentabilidade e de propor ações que minimizem os impactos ambientais gerados ao longo da cadeia produtiva. Para uma melhor abordagem da aplicabilidade do resíduo conceitua-se a importância da economia circular.

De acordo com a Ellen MacArthur Foundation (2015), a economia circular é restaurativa e regenerativa por princípio. Seu objetivo é manter produtos, componentes e materiais em seu mais alto nível de utilidade e valor o tempo todo, distinguindo entre ciclos de nutrientes técnicos e biológicos. A economia circular é concebida como um ciclo contínuo de desenvolvimento positivo que preserva e aprimora o capital natural, otimiza a produtividade de recursos e minimiza riscos sistêmicos gerindo estoques finitos e fluxos renováveis. Ela funciona de forma efetiva em qualquer escala. Esse novo modelo econômico busca, em última instância, dissociar o desenvolvimento econômico global do consumo de recursos naturais finitos.

Em matéria divulgada no Portal da Indústria (2019), a economia circular é uma oportunidade para o uso mais eficiente dos recursos naturais e aumento da competitividade da indústria. Em setores como o têxtil, eletroeletrônico e plástico, já é possível encontrar exemplos de empresas que vêm investindo em novos modelos de negócios; na utilização cíclica de produtos e materiais, e no redesenho de processos e produtos. Os resultados são a redução do consumo de matéria prima, de desperdícios e de custos das empresas, além de ganhos sociais, ambientais e econômicos. O modelo econômico linear, baseado na extração de matéria prima, transformação, uso e descarte de resíduos, trouxe um crescimento econômico sem precedentes para a humanidade, mas está chegando ao seu limite.

Neste aspecto, alguma ação vem sendo implementada. Como exemplo, um caminho para a solução dos problemas relacionados com o lixo é apontado pelo Princípio dos 3R's - Reduzir, Reutilizar e Reciclar. Fatores associados com estes princípios devem ser considerados, como o ideal de prevenção e não geração de resíduos, somados à adoção de padrões de consumo sustentável, visando poupar os recursos naturais e conter o desperdício (MMA, 2019).

Segundo o relatório da Ellen MacArthur Foundation de outubro de 2015, embora a análise de oportunidades e impactos da economia circular baseie-se em números e pressupostos da Europa, os desafios são universais e as conclusões também são aplicáveis a outras regiões. Ainda de acordo com o relatório há quatro questões a serem discutidas:

1. Qual é a oportunidade econômica?

Maior crescimento econômico, reduções substanciais do custo líquido em materiais, dissociação de crescimento e limitações ligadas às matérias primas e volatilidade de preços, geração de empregos e mais inovação.



2. Quais são as oportunidades ambientais e sistêmicas?

Diminuição das emissões e do consumo de materiais primários, preservação e aumento da produtividade da terra e redução das externalidades negativas.

3. Qual é a oportunidade para as empresas?

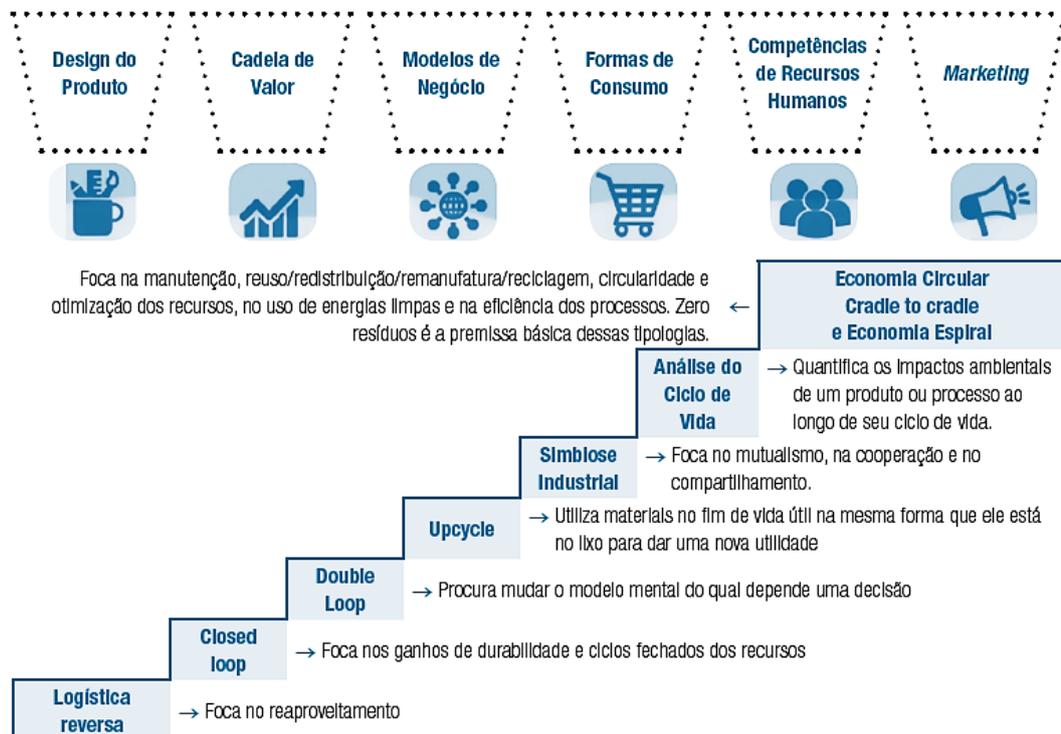
Conjuntos de novos e maiores lucros, maior segurança da oferta e nova demanda por serviços, com o conseqüente aumento da resiliência.

4. Qual é a oportunidade para os cidadãos?

Aumento da renda disponível, mais utilidade em consequência da ampliação do leque de opções, preços mais baixos e custo total de propriedade mais baixo.

Como forma de entender-se com mais profundidade os elementos que envolvem a economia circular, Sehnem e Pereira (2019) definem que todos os conceitos descritos na Figura 1 “Interfaces entre os conceitos que representam a economia circular”, podem ser aplicados em toda a cadeia de valor de um produto ou serviço, desde a sua concepção até a sua destinação final. Entretanto, a complexidade das práticas necessárias à aplicação ao longo de toda a cadeia de produção aumenta, assim como aumenta também a necessidade de inovações que viabilizem o desenvolvimento sustentável.

FIGURA 1: INTERFACES ENTRE OS CONCEITOS QUE REPRESENTAM A ECONOMIA CIRCULAR



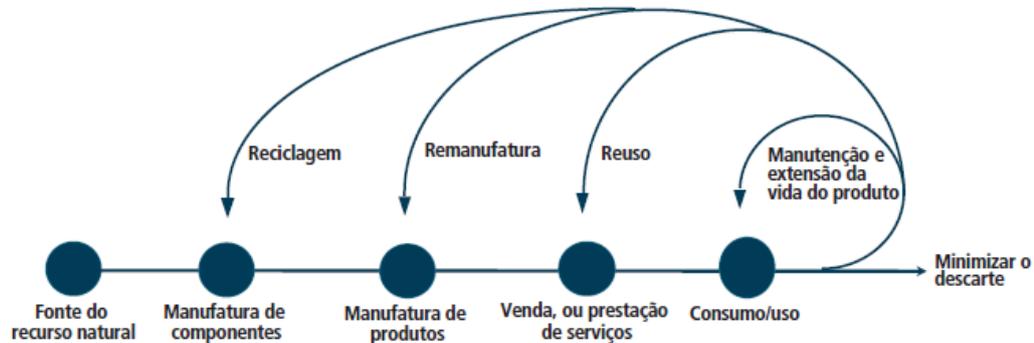
Fonte: SEHNEM e PEREIRA (2019).

Já para a Confederação Nacional da Indústria – CNI (2018) *apud* Ellen MacArthur Foundation (2014), a ideia da economia circular é manter o valor dos produtos pelo maior período possível e reincorporá-los à cadeia de consumo de outras formas, ao invés de descartá-los. A adoção de princípios de economia circular é uma solução de mercado para enfrentar esses problemas. Em resposta à expectativa de maior mudança na preferência dos consumidores e à expectativa de imposição de maiores regulações aos custos já crescentes de



alguns recursos naturais, um grupo expressivo de empresas vem gerando soluções tecnológicas para reduzir emissões, diminuir o descarte de resíduos e fazer melhor uso dos recursos naturais e a manutenção e recuperação de valor na economia circular, conforme demonstra a Figura 2.

FIGURA 2: MANUTENÇÃO E RECUPERAÇÃO DE VALOR NA ECONOMIA CIRCULAR



Fonte: Confederação Nacional da Indústria – CNI (2018) *apud* Ellen MacArthur Foundation (2014).

Observa-se que a economia circular está alinhada com os princípios e conceitos da produção mais limpa. A Produção Mais Limpa - PML é uma estratégia ambiental preventiva aplicada a processos, produtos e serviços para minimizar os impactos sobre o meio ambiente. Esse modelo de produção vem sendo desenvolvido pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente - PNUMA e pela Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial - ONUDI desde a década de 1980, dentro do esforço para instrumentalizar os conceitos e objetivos do desenvolvimento sustentável. A PML adota os seguintes procedimentos: quanto aos processos de produção conservando as matérias primas e a energia, eliminando aquelas que são tóxicas e reduzindo a quantidade e a toxicidade de todas as emissões e resíduos; quanto aos produtos reduzindo os impactos negativos ao longo do ciclo de vida do produto, desde a extração das matérias primas até sua disposição final, através de um *design* adequado aos produtos e quanto aos serviços incorporando as preocupações ambientais no projeto e fornecimento dos serviços (BARBIERI, 2007); (DIAS, 2009).

1.1 Setor da Microeletrônica e a Produção de *Chips*

Na fabricação dos componentes eletroeletrônicos, como os Circuitos Integrados – CI's, são produzidas centenas desses componentes em uma só lâmina e depois que a fabricação estiver completa, devem-se separar os *chips* (pastilhas ou retângulos na área da lâmina) (SWART, 2008).

Setores produtivos como o da microeletrônica “semicondutores” para produção de *chips*, já se utilizam do conceito de ecologia industrial e este conceito está em evidência devido às características de produção. O setor eletroeletrônico, nas últimas três décadas do século vinte teve como particularidade a diminuição das emissões de resíduos durante o ciclo de produção, mesmo com o aumento expressivo do consumo de bens de alto valor agregado, isto é, bens intrinsecamente ligados à produção de produtos eletrônicos (GAMEIRO, 2002); (QUEIROZ, 2006).

Entende-se que o fluxo logístico dos resíduos industriais tem um impacto acentuado no descarte no que tange a processos, inovação, legislação e a custos que podem ser reduzidos

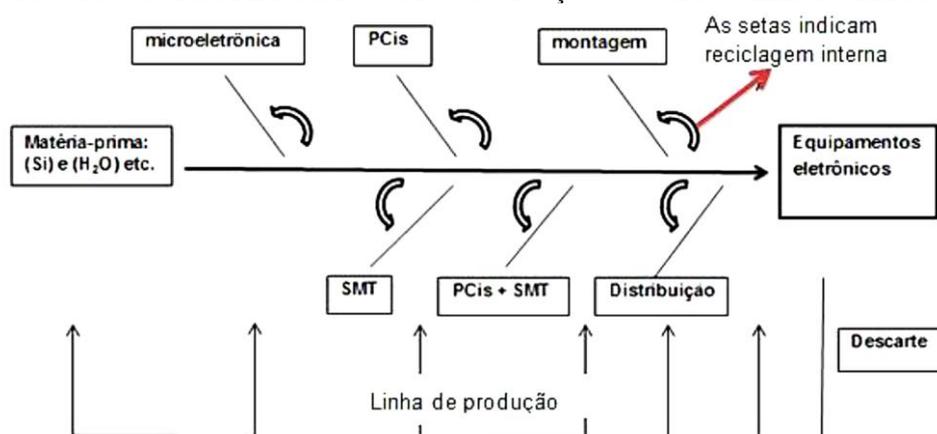


com a adoção de Pesquisa e Desenvolvimento – P&D. Por meio do reuso, esses resíduos podem ser tratados como insumos para outros processos industriais.

Por fim, o uso da logística em conjunto com conceitos de ecologia industrial foi explorado por Limad (2010), que encontrou vantagens competitivas nessa abordagem, novamente por formação de ciclos fechados de produção, também neste caso, em uma grande empresa do setor eletroeletrônico.

Para um maior entendimento do setor da microeletrônica, Queiroz (2006) representa uma descrição simplificada, conforme Figura 3, que sintetiza a indústria de base do setor (a microeletrônica) trabalha com grandes volumes de produção e consome grandes volumes de água e reagentes químicos. Devido às exigências de baixa contaminação, os dois insumos (água e reagentes químicos) podem ser facilmente reaproveitados em outras empresas, especialmente as galvânicas e as de circuitos impressos, que demandam menor pureza. Após a fabricação dos CI's estes são acoplados a placas de circuito impresso ou em superfície (*Surface Mounting Technology - SMT*). As empresas que fazem a montagem eletrônica já estão mais disseminadas e o consumo de seus resíduos fica muito dependente de parcerias, principalmente com os fornecedores. No diagrama de Ishikawa, Figura 3, as flechas indicam possibilidades de montagem de ecossistemas industriais internos ou externos ((Placa de Circuito Impresso – PCI), (*Surface Mounting Technology – SMT*)).

FIGURA 3: DIAGRAMA DE ISHIKAWA DA PRODUÇÃO NO SETOR ELETROELETRÔNICO



Legenda: (PCI - Placa de Circuito Impresso); (SMT - *Surface Mounting Technology*).

Fonte: Adaptado de Queiroz (2006).

Atualmente a ecologia industrial encontra-se em uma etapa de construção, mas já é percebido seu potencial frente aos problemas ambientais. A nova gestão empresarial composta por engenheiros e administradores pode encontrar nesse conceito um vasto campo para ação e para estudos numa área em que novas soluções são necessárias, se não obrigatórias e a ecologia industrial propõe, portanto, fechar os ciclos, considerando que o sistema industrial não apenas interage com o ambiente, mas que é parte dele e dele depende (ALMEIDA et al., 2006).

As inovações ambientais são implementações organizacionais, com diferentes graus de novidade, podendo ser apenas melhorias incrementais, que intensificam o desempenho de algo já existente, ou radical, que promove algo completamente inédito, cujo principal objetivo é reduzir os impactos ambientais da empresa. Em adição, a inovação ambiental pode ser causa ou efeito de uma gestão ambiental proativa (ANGELO et al., 2011).



Novos processos de produtivos fazem parte da nova gestão empresarial em que as organizações devem se preocupar com a gestão dos resíduos gerados ao final dos processos de produção.

2. MÉTODOS

2.1 Aplicação dos resíduos do efluente industrial na produção de artefatos de concreto não estrutural.

A pesquisa tratou de um experimento empírico com água potável e a mistura da água residuária contendo pó de silício e da água pós-tratamento (lodo residuário) para produção de argamassa de concreto não estrutural com o objetivo de verificar sua aplicação como material agregado em concreto. Estimou-se que os resíduos como agregados poderiam ser um diferencial quando misturado à argamassa de cimento para a fabricação de artefatos de concreto não estrutural.

Como a água é um insumo estratégico na cadeia produtiva de *chips*, seu reaproveitamento pode gerar redução de custos operacionais.

O desenvolvimento das sociedades humanas é dependente da disponibilidade de água com qualidade adequada e quantidades, para uma variedade de usos que variam de doméstico para fornecimentos industriais e industrialização rápida, impactando o meio ambiente global (HANGARGEKAR et al., 2015).

A diminuição do impacto ambiental gerado pelos resíduos está inserida na gestão estratégica das organizações como uma nova linha de inovação industrial. Seguindo esta filosofia, observa-se que com um fluxo dos resíduos estrategicamente desenhados pretende-se chegar a um fechamento do ciclo, que pode ser obtido pela formação de ecossistemas industriais, no qual o consumo de energia e materiais é otimizado e os resíduos de um processo produtivo podem servir como matéria prima para outros processos produtivos (COSTA et al., 2012).

Para dar sustentabilidade à pesquisa, um experimento foi realizado por Lee e Liu, (2009) com o resíduo desidratado proveniente do tratamento de água da indústria da microeletônica para substituir de 5 a 20% em peso do cimento portland em argamassa. Constatou-se que a resistência à compressão foi maior que a do cimento comum após três dias de cura. No caso da substituição de 10% em peso, a resistência à compressão aumentou de 25 a 35% após cura de 7 a 90 dias.

Por ser um material de granulometria muito fina, as partículas da sílica são esféricas, com diâmetro cem vezes menor que as partículas do cimento e por ser mais fina que as do cimento, as partículas da sílica geram uma estrutura com homogeneidade, reduzindo os vazios da estrutura (FONSECA, 2010).

A possibilidade de reuso dos resíduos industriais na fabricação de *chips* foi avaliada com a produção de corpos de prova cilíndricos para ensaios de compressão. Para estes ensaios foram confeccionados quatro lotes de corpos de prova (A, B, C e D) contendo cinco amostras cada, conforme Figura 4. A metodologia deste estudo é essencialmente empírica e, quando necessário, orientada pelas normas ABNT NBR 7215/96, relacionada à determinação da resistência à compressão, norma ABNT NBR 5739/07, relacionada ao ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos e norma ABNT NBR 5738/03, relacionada ao procedimento para moldagem e cura dos corpos de prova.

FIGURA 4: CORPOS DE PROVA DE CONCRETO PARA ENSAIO DE COMPRESSÃO



Fonte: Os autores

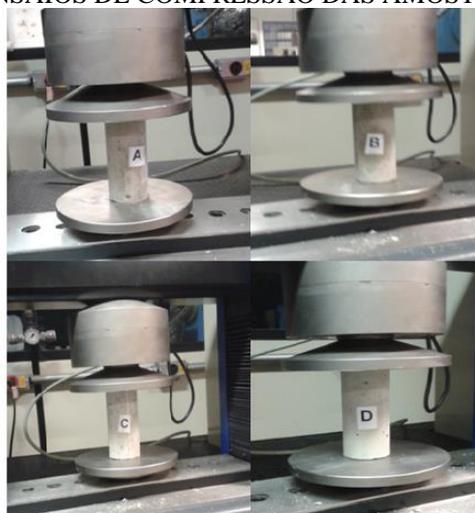
As letras A, B, C e D nas amostras referem-se aos lotes com materiais, ou seja, traços que se referem à mistura padrão e específica a formulação do material e as Tabelas 1, 2, 3 e 4, indicam as proporções em massa da mistura em cada lote. Os ensaios ocorreram em fevereiro de 2016 e a resistência à compressão medida após sete dias da cura das amostras. O ensaio de compressão foi executado no laboratório de processamento e caracterização de materiais da Faculdade de Tecnologia de São Paulo com o equipamento universal para ensaios de compressão modelo EMIC DL-10000, com capacidade máxima de 100 Kilonewtons (kN), conforme Figura 5.

A Resistência Característica do Concreto à Compressão (f_{ck} - *feature compression know*) é um dos parâmetros utilizados no cálculo estrutural (Portal do Concreto, 2019).

De acordo com a literatura, a dimensão de uma estrutura de concreto é baseada no projeto, considerando-se variáveis como o fator de resistência característica do concreto à compressão (f_{ck}). A força característica da compressão indicada por (f_{ck}) é uma das entradas usadas para o projeto arquitetônico (NEVILLE, 2015).

Para os ensaios de compressão, a grandeza avaliada é a tensão crítica ou de ruptura de um corpo de prova sob efeito de compressão. A tensão de compressão é medida em MPa (Mega Pascal), sabendo-se que 1 Pascal (Pa) corresponde à unidade de pressão exercida por uma força de 1 Newton, uniformemente distribuída sobre uma superfície plana de 1 m² de área, perpendicular à direção da força ($1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa} = 10,1972 \text{ kgf/cm}^2$).

FIGURA 5: ENSAIOS DE COMPRESSÃO DAS AMOSTRAS A, B, C, D.



Fonte: Os autores



Para efeito de análise comparativa, as amostras foram divididas em lotes (A, B, C e D) e produzidas seguindo os traços descritos nas Tabelas 1, 2, 3 e 4:

Tabela 1: Amostras Lote (A)		Tabela 3: Amostras Lote (C)	
Materiais/traços	Quantidade	Materiais/traços	Quantidade
Areia	1,371 kg	Areia	0,685 kg
Cimento	0,392 kg	Cimento	0,392 kg
Água potável	0,117 kg	Lodo Residuário (Si)	0,685 kg

Tabela 2: Amostras Lote (B)		Tabela 4: Amostras Lote (D)	
Materiais/traços	Quantidade	Materiais/traços	Quantidade
Areia	1,371 kg	Areia	1,097 kg
Cimento	0,392 kg	Cimento	0,392 kg
Água Residuária (Si)	0,117 kg	Lodo Residuário (Si)	0,274 kg
		Água potável	0,117 kg

Fonte: Os autores

3. RESULTADOS

Os valores de carga apresentados nas Tabelas 5, 6, 7 e 8 referem-se às cargas de ruptura à compressão das amostras. Nos ensaios, observou-se a propagação de trincas ao longo do tronco dos corpos de prova ensaiados.

Em cada lote de corpos de prova selecionou-se a amostra que apresentou maior tensão crítica (ou de ruptura) à compressão, conforme Tabelas 5, 6, 7 e 8:

- Amostra 4 do lote A
- Amostra 2 do lote B
- Amostra 5 do lote C
- Amostra 3 do lote D



Amostra (A)	Carga Aplicada (N)	Fcj	MPa
1	22743,97	7 dias	11,4
2	19063,58	7 dias	9,56
3	23084,33	7 dias	11,57
4	23577,38	7 dias	11,82
5	21630,63	7 dias	10,84

Amostra (B)	Carga Aplicada (N)	Fcj	MPa
1	18510,09	7 dias	9,28
2	23036,62	7 dias	11,55
3	12816,15	7 dias	6,42
4	15011,02	7 dias	7,52
5	14654,75	7 dias	7,35

Amostra (C)	Carga Aplicada (N)	Fcj	MPa
1	6457,38	7 dias	3,24
2	4507,44	7 dias	2,26
3	5818	7 dias	2,92
4	8413,68	7 dias	4,22
5	8525,01	7 dias	4,27

Amostra (D)	Carga Aplicada (N)	Fcj	MPa
1	9189,83	7 dias	4,61
2	10166,39	7 dias	5,1
3	12319,91	7 dias	6,18
4	9698,79	7 dias	4,86
5	11540,58	7 dias	5,78

Fonte: Os autores

Para efeito comparativo, foi selecionada a amostra que indicou a maior resistência à tensão de compressão. Ressalta-se que o Fcj (tempo de cura) foi de sete dias. Os ensaios foram com o Fcj que se refere à resistência à compressão do concreto prevista para a idade de “j” dias, em MPa (ARAUJO, 2009).

Relacionou-se a tensão de compressão crítica expressa no Sistema Internacional (SI) com seu valor em kgf/cm² por meio da Equação 1:

$$\tau^* = f\tau \quad (1)$$

onde τ^* é a tensão de compressão crítica para cada grupo de amostras ensaiadas, expressa em kgf/cm², τ é a tensão crítica de compressão de cada grupo de amostras expressa no SI, em MPa e $f = 10,1972 \text{ kgf/cm}^2/\text{MPa}$ é o fator de conversão entre τ e τ^* .

Conforme Tabela 9, os valores máximos de tensão crítica à compressão para cada lote, após conversão de unidades são:

Tabela 9 - Tensão de compressão crítica das amostras.

Amostras	τ (MPa)	τ^* (kgf/cm ²)
A	11,82	120,530
B	11,55	117,777
C	4,27	43,542
D	6,18	63,018

Fonte: os autores



Sabendo-se que a amostra “A” corresponde à produção dos corpos de prova com traço padrão para argamassa (concreto não estrutural), os ensaios em laboratório demonstraram que ao adicionar-se os resíduos nas demais amostras, estas tiveram uma variabilidade na resistência à compressão chegando-se à uma diferença de tensão de compressão crítica de aproximadamente 2% menor na amostra 2 do lote “B” em relação à amostra 4 do lote “A”, que é a amostra produzida somente com a água potável.

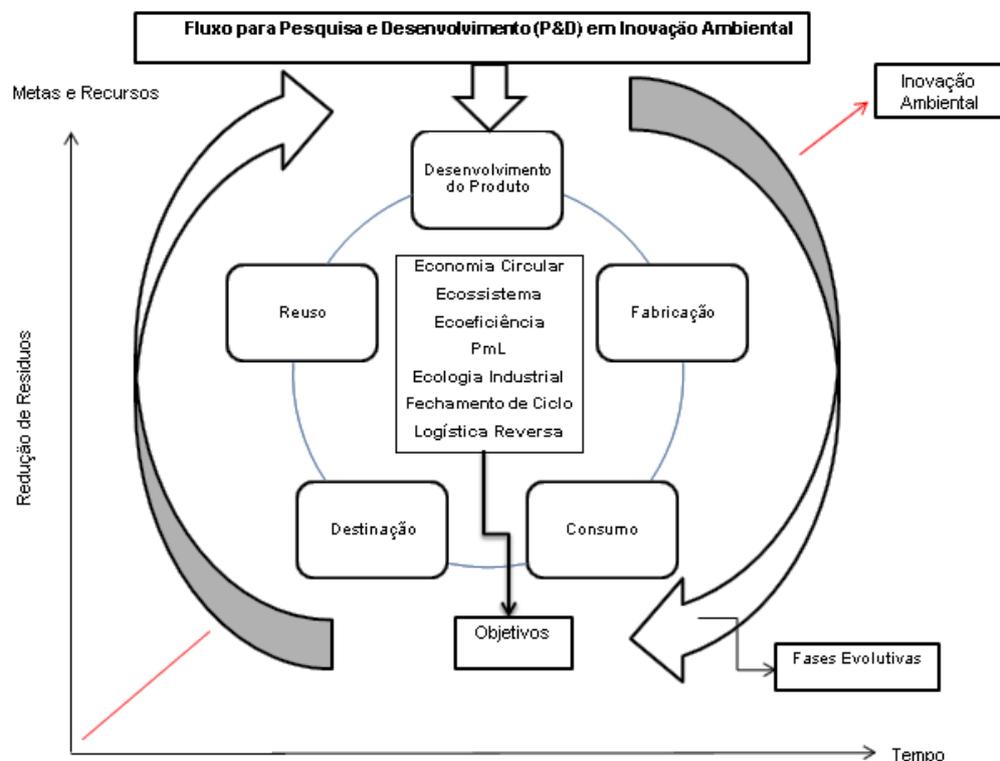
Como as amostras dos lotes “C e D” apresentaram uma diferença significativa em tensão crítica à compressão, estas não foram avaliadas.

A pesquisa propôs um processo de inovação para reuso de resíduos industriais. Neste sentido, se faz necessário definir um plano de metas com a aplicação de recursos financeiros, tecnológicos e mão de obra especializada, bem como propor gestão do tempo para atingir um padrão de inovação sustentável onde a aplicação do efluente industrial contendo pó de silício poderá, a princípio, ser empregada na composição de artefatos de concreto não estrutural.

Na Figura 6, é representada uma possível estratégia de redução do impacto do descarte de resíduos industriais, observando-se a necessidade de gestão através de indicadores em cada fase evolutiva dos processos.

Entende-se que para a obtenção dos resultados, o fluxo da inovação ambiental deverá ser analisado desde o desenvolvimento do produto até a destinação final “descarte e reuso”. Esta evolução será possível desde que estratégias de P&D em inovação ambiental sejam tratadas como diferencial competitivo pelas empresas que as adotam.

FIGURA 6: ESTRATÉGIA DE REDUÇÃO DO IMPACTO DO DESCARTE DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS



Fonte: Os autores



4. CONCLUSÃO

Os ensaios indicaram que o resíduo oriundo do processo de lapidação e corte de lâminas de silício da produção de *chips* do setor da microeletrônica pode ser útil à construção civil como agregado em argamassa para produção de artefatos de concreto não estrutural desde que haja uma proporção adequada do resíduo ao traço desejado.

Ao adicionar os resíduos nas amostras, estas tiveram uma variabilidade na resistência à compressão. Os ensaios demonstraram que a resistência à compressão chegou a uma diferença de tensão crítica de aproximadamente 2% menor na amostra 2 do lote “B” em relação à amostra 4 do lote “A”, que é a amostra produzida com a água potável.

A análise da agregação do resíduo como composto em argamassa para produção de artefatos de concreto não estrutural foi processada de acordo com as normas para teste de argamassa. Na literatura, testes com resíduos de silício indicam que ocorre uma melhora na resistência à compactação em corpos de prova feitos com tais resíduos. A provável explicação para este comportamento é a remoção de vazios na mistura da argamassa pela adição do material composto de pó de silício. Em vista das possibilidades da aplicação do efluente industrial em artefatos de concreto não estrutural, sugere-se a continuidade das pesquisas.

5. AGRADECIMENTOS

A Universidade Paulista – UNIP (Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia de Produção).

Ao PROSUP (Programa de Suporte à Pós-Graduação de Instituições de Ensino Particulares - CAPES/PROSUP).

Ao Laboratório de Processamento e Caracterização de Materiais da Faculdade de Tecnologia de São Paulo (FATEC São Paulo).

REFERÊNCIAS

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5739/07** Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, RJ, 2007.

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5738/03** Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, RJ, 2003.

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7215/96** Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, RJ, 1996.

ALMEIDA, Cecília M.V.B. de; GIANNETTI, Biagio F. **Ecologia industrial: Conceitos, ferramentas e aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher, 2006.

ANGELO, Fernanda Dias; JABBOUR, Charbel José Chiappetta; GALINA, Simone Vasconcelos Ribeiro. **Inovação ambiental: das imprecisões conceituais a uma definição comum no âmbito da Gestão Ambiental proativa**. GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas – Ano 6, nº 4 out-dez/2011, p. 143-155 - Disponível em:



www.relainep.ufpr.br



www.revista.feb.unesp.br/index.php/gepros/article/download/898/436 Acesso em 07 nov. 2019.

ARAÚJO, Janaína. **Dosagem e Controle de Concretos (Fcj)** - Pontifícia Universidade Católica de Goiás - PUC - Goiás, 2009.

BARBIERI, José Carlos. **Gestão Ambiental Empresarial: conceitos, modelos e instrumentos**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2007.

Confederação Nacional da Indústria - CNI. **Economia circular: o uso eficiente dos recursos / Confederação Nacional da Indústria**. – Brasília: CNI, 2018. ISBN 978-85-7957-203-6 - 36 p.: il. – (Propostas da indústria eleições 2018; v. 12)

COSTA, M. I. L.; SILVA, E. R; MATTOS, U. A. O., **20 anos de Eco-eficiência no Brasil: de estratégia de negócios a princípio de Política Pública**. Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional, 2012.

DIAS, Reinaldo. **Gestão Ambiental: responsabilidade social e sustentabilidade**. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

Ellen MacArthur Foundation (2015). **O que é a economia circular? - Circular Economy 100 Brasil (CE100 Brasil)** - Brasil, novembro de 2015. Disponível em: <http://www.ellenmacarthurfoundation.org/pt/economia-circular-1/conceito> Acesso em 05 nov. 2019.

Ellen MacArthur Foundation (2015). Relatório “Towards a circular economy: business rationale for an accelerated transition” (**Rumo à economia circular: um racional de negócio para a transição acelerada**), outubro de 2015. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/our-work/activities/ce100> Acesso em 05 nov. 2019.

FONSECA, G. C., **Adições minerais e as disposições normativas relativas à produção de concreto no Brasil: uma abordagem epistêmica**. Tese, Universidade Federal de Minas Gerais - programa de pós-graduação em construção civil, Belo Horizonte, 2010.

GAMEIRO, J., **Desenvolvimento de Tecnologias Mais Limpas Aplicadas à Microeletrônica**. Dissertação, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2002.

HANGARGEKAR, P. A; TAKPERE, K. P. A. **Case Study on Waste Water Treatment Plant, CETP (Common Effluent Treatment Plant)** International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering (IJRAE) ISSN: 2349-2163 Issue 11, Vol. 2 – nov., 2015.

LEE, Tzen Chin; LIU, Feng Jiin. **Recovery of hazardous semiconductor-industry sludge as a useful resource**. Journal of Hazardous Materials - Volume 165, Issues 1–3 pg. 359 – 365 – Elsevier, 2009.

LIMAD, W. G. N. **Utilização de Conceitos e Ferramentas da Logística para a Melhoria da Sustentabilidade: Um Estudo de Caso**. 2010. 148f. Dissertação, (Mestrado em



www.relainep.ufpr.br



Tecnologia: Gestão, Desenvolvimento e Formação) – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza - CEETEPS, 2010.

MMA – Ministério do Meio Ambiente (2019) Brasil - **Consumo Consciente - O que é o Princípio dos 3R's?**. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/producao-e-consumo-sustentavel/consumo-consciente-de-embalagem/principio-dos-3rs.html> Acesso em 14 nov. 2019.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do Concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

Portal da Indústria (2019). **A Economia Circular é uma oportunidade para o uso mais eficiente dos recursos naturais e aumento da competitividade da indústria**. Disponível em: <http://www.portaldaindustria.com.br/cni/canais/industria-sustentavel/temas-de-atuacao/economia-circular/> Acesso em 02 nov. 2019.

Portal do Concreto (2019). **Significado de MPa**. – Disponível em: <http://www.portaldoconcreto.com.br/cimento/concreto/fck.html> Acesso em 07 nov. 2019.

QUEIROZ, E. F., **Melhoria de Processos pelo Levantamento de Indicadores Ambientais via Software**. Dissertação, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

SEHNEM, Simone; PEREIRA, Susana Carla Farias. **Rumo à Economia Circular: Sinergia Existente entre as Definições Conceituais Correlatas e Apropriação para a Literatura Brasileira**. Revista Eletrônica de Ciência Administrativa - DOI: <http://dx.doi.org/10.21529/RECADM.2019002> - ISSN: 1677-7387 - IBEPES | Curitiba-PR, Brasil - RECADM v.18 n.1 p.35-62 Jan-Mar 2019.

SWART, Jacobus W. **Semicondutores: fundamentos, técnicas e aplicações**. Campinas: Editora da Unicamp, 2008.