

Reaproveitamento de Água Residuária com Silício da Indústria de Semicondutores na Indústria da Construção Civil: Um Método para Simbiose Industrial

Antonio Sérgio Brejão¹
Oduvaldo Vendrametto²
Marcos de Oliveira Morais³
Celso Affonso Couto⁴
Osmildo Sobral dos Santos⁵

Resumo

A proposta desta pesquisa é analisar a possibilidade de reaproveitamento da água residuária com silício para a produção de artefatos de concreto como possível aplicação na indústria da construção civil, objetivando-se simbiose industrial. Na metodologia, o pó de silício obtido através do processo do corte de cilindros de silício grau eletrônico foi caracterizado por microscopia ótica após separação da água residuária. O resíduo foi adicionado ao cimento portland constituindo corpos-de-prova. Na sequência, avaliou-se a possibilidade de ganho na resistência à compressão da argamassa comparada a argamassa convencional. Os resultados apresentaram um aumento de aproximadamente 25% da resistência da argamassa devido à redução da granulometria em mistura convencional, verificando-se assim, a possibilidade técnica da utilização do resíduo na produção de artefatos de concreto. Nos resultados, constatou-se que há a oportunidade de aplicação da simbiose industrial entre os setores da indústria de semicondutores e da construção civil e que a água residuária com silício apresenta-se como uma oportunidade de negócios.

Palavras-chave: Simbiose Industrial; Água residuária; Silício; Artefatos de Concreto.

Reutilization of Wastewater with Silicon from the Semiconductor Industry in the Construction Industry: A Method for Industrial Symbiosis

Abstract

The purpose of this research is to analyze the possibility of reuse of wastewater with silicon for the production of concrete artifacts as a possible application in the civil construction industry, aiming at industrial symbiosis. In the methodology, the silicon powder obtained through the cutting process of electronic grade silicon cylinders was characterized by optical

¹ Pesquisador, autor, palestrante, professor universitário e consultor empresarial. Experiência nas áreas de suprimentos e materiais em grandes empresas do setor metalúrgico, mineração, embalagem, petroquímico, projetos, consultoria entre outras. Mestre em Tecnologia, Doutorado em Engenharia de Produção.

² Possui graduação em Física pela Universidade de São Paulo (1970), mestrado em Física pela Universidade de São Paulo (1987) e doutorado em Engenharia (Engenharia de Produção) pela Universidade de São Paulo (1994).

³ Possui Graduação em Gestão da Qualidade, Pós-Graduado MBA em Gestão da Qualidade, em Engenharia de Produção, em Pedagogia empresarial e Educação Corporativa é Mestre em Engenharia de Produção, é Doutor em Engenharia de Produção.

⁴ Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Paulista, Mestre em Administração pela Universidade Paulista (2011), MBA em Gestão Estratégica pela Fundação Getúlio Vargas (2006), Professor Titular Universidade Estácio, Professor Convidado em Controladoria - Pós Graduação FGV (2000 - 2004).

⁵ Pós-Doutorando em Engenharia da Produção pela UNIP-Universidade Paulista; Doutor em Engenharia da Produção pela UNIP-Universidade Paulista; Mestre em Engenharia da Produção pela UNIP-Universidade Paulista; Graduado em Administração de Empresas pela UBC-Universidade Brás Cubas.

microscopy after separation of the wastewater. The residue was added to the portland cement constituting test specimens. In the sequence, the possibility of gain in the compressive strength of the mortar compared to the conventional mortar was evaluated. The results showed an increase of approximately 25% in the mortar resistance due to the reduction of the granulometry in conventional mixing, thus verifying the technical possibility of the use of the residue in the production of concrete artifacts. In the results, it was verified that there is an opportunity to apply the industrial symbiosis between the sectors of semiconductor industry and civil construction and that silicon wastewater presents itself as a business opportunity.

Keywords: Industrial Symbiosis; Waste water; Silicon; Concrete Artifacts.

Reaproveitamento de Água Residuária com Silício da Indústria de Semicondutores na Indústria da Construção Civil: Um Método para Simbiose Industrial

1 Introdução

A proposta desta pesquisa é analisar a possibilidade de reaproveitamento da água residuária com silício para a produção de artefatos de concreto como possível aplicação na indústria da construção civil, objetivando-se simbiose industrial.

Com a inovação dos processos, compreender o impacto nestes setores para fechamento de ciclo poderá se caracterizar em ganhos econômicos e ambientais. Em função da adoção de novos processos produtivos e métodos de inovação tecnológica, as empresas devem se preocupar com a gestão dos resíduos gerados ao final dos processos de produção.

O avanço tecnológico no setor de eletroeletrônicos direciona para um aumento da comercialização destes equipamentos e por consequência, do aumento na extração e no consumo de silício (Si) que é a matéria-prima utilizada na produção de semicondutores.

Durante o processo de produção dos semicondutores, ocorre a etapa de corte do silício em lâminas extremamente finas onde é gerado o resíduo caracterizado por pó de silício e água o que compõe o lodo residuário. Para um melhor entendimento, conforme definido na Lei 12305/2010 da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) no Capítulo II - Artigo 3 - XVI - resíduos sólidos são: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010).

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).

Atualmente a ecologia industrial encontra-se em 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).

2 Fundamentação Teórica

As inovações nestes setores dependem de estratégias para um ecossistema empresarial que pressupõe uma simbiose industrial adequada para o fechamento de ciclo, ou seja, o que é resíduo para uma indústria poderá servir de matéria-prima para outras.

Para um entendimento da proposta entre a indústria de semicondutores e a indústria da construção civil é necessário descrever o que é simbiose industrial. De acordo com o Programa Brasileiro de Simbiose Industrial (PBSI), trata-se da troca física de recursos - materiais, serviços, conhecimento, energia e/ou subprodutos. Materiais não utilizados por uma empresa podem se tornar materiais de valor para outras. A redução de custo e ganhos ambientais facilita a colaboração na utilização de ativos, logística reversa e troca de capacidade técnica entre as empresas (PBSI, 2012).

O empreendedorismo ambiental apesar de suas peculiaridades tende a exigir do profissional da área as mesmas características de um empreendedor comum, dentre as quais podemos citar: inovação, criatividade e capacidade de enxergar lacunas a serem exploradas. O profissional desta área também deve possuir conhecimentos sobre as tendências de políticas ambientais globais, procurando estar sempre um passo a frente das demais empresas, criando valores socioambientais que possam justificar eventuais custos superiores em relação aos produtos tradicionais (AIRES, 2013).

A ecoeficiência também faz parte das novas filosofias de inovação e empreendedorismo. Isso fica claro quando a *United Nations Environment Programme* define o termo como a entrega de produtos e serviços que satisfaçam as necessidades humanas e tragam qualidade de vida a preços competitivos, reduzindo progressivamente o impacto ecológico e a intensidade de recursos ao longo do ciclo de vida, a um nível de conformidade com a capacidade de carga estimada da Terra. O termo ecoeficiência foi criado pelo Conselho

Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável - *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD) em 1992 (UNEP, 2016).

Enquanto o empreendedorismo tem seu foco na criação de valor, o empreendedorismo sustentável amplia esse objetivo e engloba também o desenvolvimento sustentável e seus benefícios sociais e ambientais. O conceito do empreendedorismo sustentável envolve, portanto, identificação, criação e exploração de novos negócios que encontrem, no desenvolvimento econômico, a solução de um problema ambiental e social (BOSZCZOWSKI et al., 2012).

Neste sentido, para alguns autores tem-se que em muitos setores produtivos, como exemplo o de semicondutores, a utilização do conceito de ecologia industrial está em evidência devido às características de produção. No período entre os anos 1980 e 2000, o setor teve como característica a redução das emissões de resíduos durante o processo de produção, mesmo com o aumento expressivo do consumo de equipamentos eletroeletrônicos (GAMEIRO, 2002; QUEIROZ, 2006; BORCHARDT et al., 2007; TOPORCOV, 2009).

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).

Para se produzir os Circuitos Integrados (CI's) utiliza-se o silício com alto grau de pureza. De acordo com Neto (2015), o (CI – *Integrated Circuit*) é uma pequena pastilha (*chip*), que contém em seu interior milhares de componentes eletrônicos (transístores, díodos, resistências, capacitores e suas interligações).

Para produzi-lo, este material é crescido como um cristal na forma de tarugo maciço de 10 a 30 centímetros de diâmetro por 1 metro de comprimento com característica e coloração cinza-metálico. Na sequência, é cortado em lâminas de 10 a 30 centímetros de diâmetro com espessura de 400 a 600 micrômetros. A superfície da lâmina é polida até ficar espelhada e esta técnica é denominada polimento mecânico-químico e os circuitos são separados por cortes, dando origem às pastilhas ou *chips* (SEDRA et al., 2000).

O silício grau eletrônico, possui grau de pureza de 99,999999999%, tendo como aplicação a fabricação de componentes eletrônicos (FARIAS, 2013).

Na fabricação dos componentes como os (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). É exatamente neste processo que é gerado uma grande quantidade de resíduo (água e pó de silício) formando o lodo residuário de silício.

3 Metodologia

Para se avaliar a possibilidade de aplicação do resíduo em questão na indústria da construção civil a fim de se obter uma possível simbiose industrial entre os setores, testes em laboratório foram executados por Brejão (2012) com a água residuária contendo silício.

Em estudo anterior, a dispersão foi caracterizada como partículas de silício dispersas em água. Ainda nesta pesquisa constatou-se que o tamanho das partículas foi determinado e relatado como da ordem de 5 microns (GAMEIRO, 2002). Para os testes, foram executados os procedimentos:

- Análise por microscopia do material particulado; secagem em estufa da água residuária e determinação do percentual em massa do resíduo sólido.
- Análise da agregação do material particulado por aquecimento; aquecimento em mufla do pó obtido em estufa. Depois, análise por microscopia óptica e tratamento térmico. As temperaturas envolvidas no processo foram de 300°C, 500°C, 700°C e 1300°C.
- Análise da agregação do material particulado por reação; mistura da água residuária com insumos básicos (traços) para produção de corpos-de-prova de concreto.

3.1 Testes e Aplicação com os Resíduos

Testes realizados em laboratório comprovaram que quando adiciona-se água residuária nos corpos-de-prova de concreto, estes apresentaram maior resistência e a incidência de menos vazios na estrutura, como será demonstrado nos resultados.

Na Figura 1 é possível visualizar a água residuária do processo de corte dos cilindros de silício sendo direcionada para tratamento que após processo de precipitação gera o lodo residuário contendo silício.

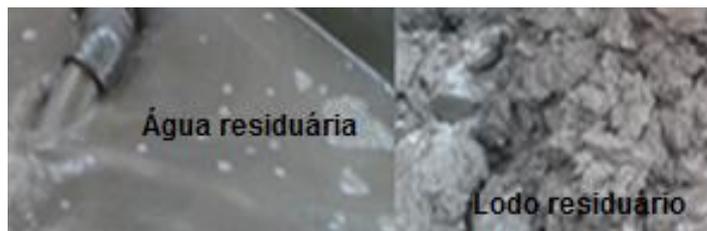


Figura 1: Água e Lodo residuários da operação de corte do cilindro de silício
Fonte: Os autores

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).

O dióxido de silício, areia e argila são importantes constituintes do concreto e azulejos, sendo empregadas na produção do cimento portland (ALVES, 2015). Para reforçar os conceitos, um experimento foi realizado 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 de cimento e 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 (LEE; LIU, 2009).

Essa particularidade do resíduo pode ser um diferencial quando misturado à argamassa de cimento para a fabricação de artefatos de concretos. Para avaliação como agente estrutural foram produzidos corpos-de-prova, sendo seis com água residuária e seis com água para consumo, como mostrado nas Tabelas 1 e 2. O experimento seguiu as normas para testes de resistência à compressão de cimento conforme as NBR's 5733 e 7215 - cimento portland de alta resistência inicial - determinação da resistência à compressão, com análise ocorrendo 28 dias da produção dos corpos-de-prova.

Tabela 1 - Resistência à compressão dos corpos-de-prova ensaio com cimento, areia e água para consumo

CP N°	Diam. (mm)	Carga (Kgf)	Carga (N)	Área (mm ²)	Fcj 28 (MPa)
1	50,2	8850	86791,95	1979,23	43,9
2	50,2	7350	72081,45	1979,23	36,4
3	50,2	7000	68649	1979,23	34,7
4	50	7980	79259,86	1963,5	39,9
5	50,4	6140	60214,98	1985,04	30,2
6	50,2	6720	65903,04	1979,23	33,3
				Fcmédio1	36,4
				Fcmédio2	34,9
				Fcmédio3	33,6
				Fcmédio4	34,8
Resistência característica do concreto em laboratório (Fcj 28 = 34,8 MPa)					

Fonte: Os autores

Tabela 2 - Resistência à compressão dos corpos-de-prova ensaio com cimento, areia e água residuária

CP N°	Diam. (mm)	Carga (Kgf)	Carga (N)	Área (mm ²)	Fcj 28 (MPa)
1	50,1	7750	76004,25	1971,36	38,6
2	50,2	8750	85811,25	1979,23	43,4
3	50,1	8600	84340,2	1971,36	42,8
4	50,1	7120	69825,84	1971,36	35,4
5	50,1	9080	89047,56	1971,36	45,2
6	50,2	8560	83947,92	1979,23	42,4
				Fcmédio1	41,3
				Fcmédio2	42,5
				Fcmédio3	43,4
Resistência característica do concreto em laboratório (Fcj 28 = 43,4 MPa)					

Fonte: Os autores

A resistência à compactação do material (R) pode ser calculada por:

$$R = \frac{R^{(a)}}{R^{(b)}} = 24,71\%$$

onde R^(a) é a resistência característica do concreto em laboratório com água residuária (Fcj 28 = 43,4 Mpa) e R^(b) é a resistência característica do concreto em laboratório com água de consumo (Fcj 28 = 34,8 Mpa). As amostras apresentaram uma composição “teste de sólidos totais” em massa entre 0,08 a 0,1%, como apresentado na Tabela 3.

Tabela 3: Composição em Massa das Amostras - Teste de Sólidos Totais a 80° C por 24 horas

Nº da Amostra	Massa de Amostra (gramas)	Massa de Sólido (gramas)	% em Massa de Sólido
1	105,69	0,110	0,100
2	100,32	0,080	0,079
3	93,3	0,070	0,086

Fonte: Os autores

A Figura 2 apresenta imagens típicas do material após secagem. As partes claras da imagem são devidas ao material utilizado para a agregação, o que foi comprovado pela facilidade de dissolução do material seco em ácido nítrico diluído.

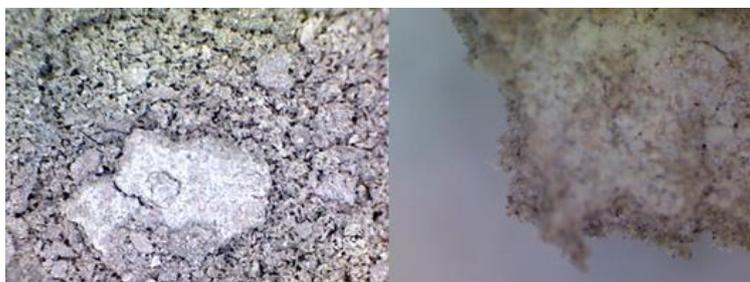


Figura 2: Imagens típicas do pó de silício na água residuária após a secagem

Fonte: Os autores

As partes escuras e com aparência granulada, que correspondem às partículas de silício, indicam que tais partículas têm de 1 a 5 microns, o que é consistente com o obtido por (GAMEIRO, 2002). Com o aquecimento do material particulado possibilita-se a agregação das partículas de silício a partir de temperaturas de 1300°C, como se observa nas imagens por microscopia na Figura 3. O aumento em massa por aquecimento, apresentado na Tabela 4, pode ser um indicativo de oxidação, provavelmente das partículas de silício.

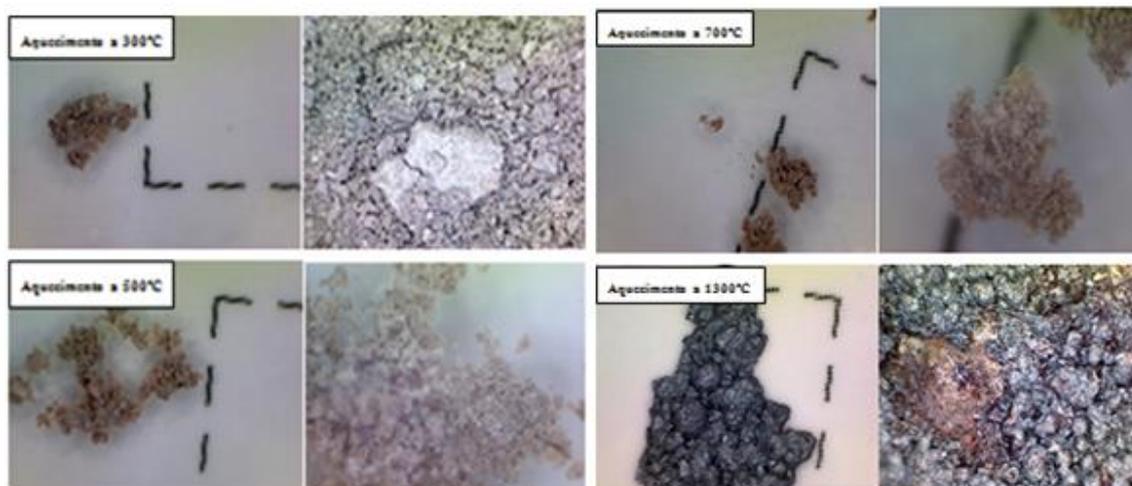


Figura 3: Imagens por microscopia após aquecimento do material particulado em temperaturas de 300°C, 500°C, 700°C e 1300°C. (Obs.: A escala corresponde a 1 milímetro).

Fonte: Os autores

Tabela 4: Massa do material particulado na água residuária após aquecimento (Comportamento Térmico do Material Sólido)

Nº da amostra	Massa do Cadinho antes do aquecimento (gramas)	Massa do Cadinho após aquecimento (gramas)	Temperatura do Processo
1	23,0879	23,1794	700° C
2	24,9559	25,0343	500° C
3	24,9137	25,0056	300° C

Fonte: Os autores

As imagens dos corpos-de-prova, por microscopia (Figura 4 (a) e (b)) comprovam que a utilização da água residuária na mistura para argamassa torna-a mais homogênea e resistente à propagação de descontinuidades por trincas. De maneira geral, a aparência é de um material mais compacto com menor ocorrência de espaços vazios.

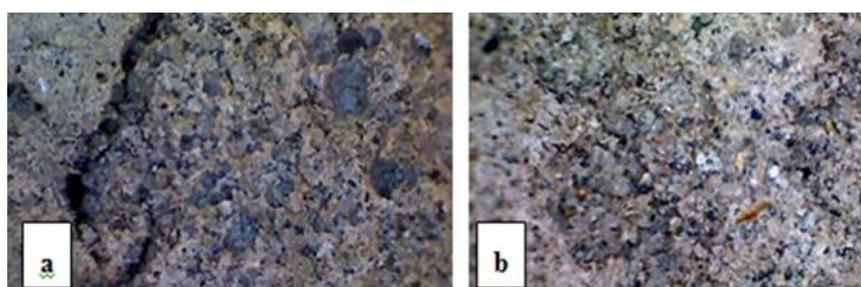


Figura 4: Microscopia da argamassa produzida com (a) água para consumo e (b) água residuária.

Fonte: Os autores

4 Resultados

Resultados preliminares apresentaram possível utilização do material residuário como agregado em argamassa de cimento. Testes indicaram uma possibilidade de melhora na resistência à compactação de aproximadamente 25%. Este resultado torna a água residuária útil na fabricação de artefatos de concreto não estrutural. Observa-se que o material sólido é cerca de 1% em massa, valor bem abaixo dos normalmente utilizados para reforço de cimento, que é da ordem de 5% e utiliza material conhecido como microsíllica.

Na Tabela 1 observou-se que a resistência característica (F_{cj28}) dos corpos-de-prova obteve uma média de 34,8 Mpa quando utilizada água de consumo na composição da argamassa.

Na Tabela 2 verificou-se possível melhoria da resistência estrutural da argamassa dos corpos-de-prova com a adição da água residuária com silício. A resistência característica (F_{cj28}) dos corpos-de-prova obteve uma média de 43,4 MPa.

A diferença média entre os corpos-de-prova foi de 8,6 MPa o que indica que a adição do resíduo altera a resistência da argamassa. Nos corpos-de-prova analisados após a compactação, observou-se a redução de vazios na mistura da argamassa pela adição da água residuária como demonstrado nas imagens dos corpos-de-prova, obtidas por microscopia (Figura 4 (a) e (b)).

De modo geral, provavelmente o resíduo pode ser útil para aplicação em artefatos de concreto não estrutural. Contudo, o material particulado apresenta alta pureza, é inerte e apresenta grande volume.

Como os resultados referentes a resistência dos corpos-de-prova foram promissores, implementar um sistema para melhorar as possibilidades de redução de custos, rentabilidade e sustentabilidade no processo de tratamento de água e de geração de co-produto pode se caracterizar como uma simbiose estratégia para as empresas.

5 Considerações finais

A pesquisa indicou que os resíduos identificados anteriormente na área de produção do setor de semicondutores por outros autores (GAMEIRO, 2002) e (ARBUCIAS, 2008) são os mesmos, contudo, pela formação de simbiose industrial e principalmente pelo uso da logística é possível a destinação correta de tais resíduos como insumos para outras indústrias. Isto tem

um impacto positivo na sustentabilidade que, em conjunto com outras ações, pode se caracterizar como inovação industrial e impactar positivamente nas estratégias empresariais.

Os testes indicaram que o resíduo oriundo da operação de corte das lâminas de silício pode ser útil como aditivo na argamassa para produção de artefatos de concreto. Este resultado evidencia a utilidade do resíduo quanto à melhora das propriedades de resistência mecânica na fabricação de artefatos para a indústria da construção civil.

O objetivo desta pesquisa foi propor a transformação e o reaproveitamento do resíduo (água residuária com silício) da indústria de semicondutores na indústria da construção civil, tendo-se assim uma proposta inovadora de simbiose industrial. Neste sentido, sugere-se a continuidade das análises para a utilização do resíduo como matéria-prima “agregado” para artefatos de concreto não estrutural.

6 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).

Referências

AIRES, Gustavo Paiva. **Empreendedorismo ambiental - O que é?** 2013 Disponível em: <http://www.portaleducacao.com.br/administracao/artigos/47573/empreendedorismo-ambiental-o-que-e-#ixzz41s2iKP4b> Acesso em 03 mar. 2016.

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

ALVES, Nilton P. **Silício** – Disponível em: <http://www.quimlab.com.br/guiadoselementos/silicio.htm> Acesso em 05 mar. 2016.

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.revista.feb.unesp.br/index.php/gepros/article/download/898/436 Acesso em 03 mar. 2016.

ARBUCIAS, Janaina Gameiro. **Melhoria da Sustentabilidade pela Aplicação do Conceito de Ecologia Industrial: Estudo de Caso no Setor Eletroeletrônico.** 162 p. Tese (Doutorado) apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para o título de Doutor em Engenharia. São Paulo: 2008.

BORCHARDT, M.; SELBITTO, M. A.; PEREIRA, G. M.; POLTOSI, L. A. C., **Implementação do ecodesign: um estudo de caso na indústria eletrônica**. XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP 2007, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 09 a 11/10/2007. Disponível em:

<<http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2007_TR670485_9203.pdf> Acesso em 29 e abr. 2015.

BOSZCZOWSKI Anna Karina, TEIXEIRA, Rivanda Meira. **O EMPREENDEDORISMO SUSTENTÁVEL E O PROCESSO EMPREENDEDOR: EM BUSCA DE OPORTUNIDADES DE NOVOS NEGÓCIOS COMO SOLUÇÃO PARA PROBLEMAS SOCIAIS E AMBIENTAIS** - Revista Economia & Gestão – v. 12, n. 29, maio./ago. 2012. E&G - REVISTA ECONOMIA E GESTÃO ISSN 1984-6606 PUC/Minas Disponível em:

<http://periodicos.pucminas.br/index.php/economiaegestao/article/view/P.1984-6606.2012v12n29p109/4540> Acesso em 03 mar. 2016.

BREJÃO, A. S. **POSSÍVEL IMPACTO DA LOGÍSTICA REVERSA NA MELHORIA DA SUSTENTABILIDADE: UM ESTUDO DE CASO DO SETOR ELETROELETRÔNICO**. 148 p. Dissertação de Mestrado – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, 2012.

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.

FARIAS, David Berto. **ESTUDO DO PROCESSO DE PURIFICAÇÃO DO SILÍCIO GRAU METALÚRGICO NA FABRICAÇÃO DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS**. CENTRO UNIVERSITÁRIO FUNDAÇÃO SANTO ANDRÉ - FACULDADE DE ENGENHARIA CELSO DANIEL - ENGENHARIA ELETRÔNICA – ÊNFASE EM ELETRÔNICA INDUSTRIAL - Relatório apresentado ao Programa de Iniciação Científica do Centro Universitário Fundação Santo André – PIIC, 2013.

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.

LEE, Tzen-Chin; LIU, Feng Jiin, **Recovery of hazardous semiconductor-industry sludge as a useful resource**. Journal of Hazardous Materials 165 (359–365), 2009.

NETO, Adão de Melo. **CIRCUITOS INTEGRADOS**. (2015) Disponível em: <https://www.ime.usp.br/~adao/ci.pdf> Acesso em 16 jan. 2019.

PBSI – Programa Brasileiro de Simbiose Industrial. **O que é Simbiose Industrial?**. Workshop: Conectando Empresas, criando oportunidades: 2012. Federação das Indústrias de Minas Gerais - Disponível em: <http://www.fiemg.org.br/admin/BibliotecaDeArquivos/Image.aspx?ImgId=34396&TabId=10710&portalid=59&mid=22078> Acesso em 13 jan. 2016.

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

SEDRA, Adel S.; SMITH, Kenneth C. **Microeletrônica** - 4 ed. São Paulo: Makron Books, 2000.

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

TOPORCOV, V. P. **Eco-Eficiência e Eco-Efetividade como Direcionadores de Geração de Valor em Projetos. Uma aplicação em uma empresa no Brasil**. Dissertação, Escola de Administração de Empresas da Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2009, 88 p. Disponível em:

<<http://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/5807/68060200616.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> Acesso em 29 abr. 2015.

UNEP - United Nations Environment. **Programme Division of Technology, Industry, and Economics - Eco-Efficiency**. Disponível em:

<http://www.unep.fr/scp/cp/understanding/concept.htm> Acesso em 13 jan. 2016.

Leis

BRASIL. LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm Acesso em 16 jan. 2019.