

Análise Cientométrica do Reaproveitamento de Resíduos Industriais para geração de novos materiais de Construção Civil

Stéphanie Abisag Sáez Meyer Piazza (Universidade Federal do Paraná) teffymeyer@hotmail.com

Vsévolod Mymrine (Universidade Tecnológica Federal do Paraná) seva6219@gmail.com

Urivald Pawlowsky (Universidade Federal do Paraná) pawl@terra.com.br

Resumo:

A problemática da gestão dos resíduos industriais e os impactos da má disposição geram uma crescente necessidade de se buscar fontes alternativas de destinação e aproveitamento destes materiais. Os resíduos industriais podem levar a impactos ambientais em grande escala e por isso deve-se buscar formas de agregar valor aos resíduos e o reinserir no processo produtivo. Uma forma de reinserção é a sua utilização como matéria-prima para a fabricação de materiais de construção civil. O objetivo deste estudo foi verificar na literatura, através da revisão sistematizada, quais os resíduos industriais estão sendo reaproveitados e quais as formas de reaproveitamento e características dos novos materiais produzidos, bem como verificar quais os ensaios são realizados no novo material quando a composição se dá por resíduos caracterizados como perigosos. Foram identificados 383 estudos na área, dos quais 26 foram analisados de acordo com uma revisão sistematizada no banco de dados do *Web of Science*, no período de 1987 a abril de 2017. Após a pesquisa foi descoberta que os principais resíduos que tem sido reaproveitados são: escórias, resíduos de mineração (carvão e cinzas), resíduos florestais (madeira, papel e celulose) e resíduos da fabricação de vidro. Após a formação dos novos produtos, os materiais foram caracterizados e apresentaram características de concreto e de cerâmica, principalmente. Para os resíduos considerados perigosos identificou-se a necessidade de realizar testes de solubilização e lixiviação garantindo que o contaminante tenha sido realmente inertizado e que não venha, por meio a intempéries, retornar ao meio ambiente provocando sérios danos ambientais.

Palavras chave: Resíduos industriais, Reaproveitamento, Materiais de construção civil.

Systematic Review of Industrial Waste Reapovement for new Civil Construction Materials

Abstract

A problematic of the management of the industrial residues and the impacts of its bad disposition, generate the growing need to look for alternative sources of destination and use of these materials. Industrial waste can lead to large-scale environmental impacts and therefore we must seek ways to add value to this waste and reinsert it into the productive process. One form of reinsertion is its use as raw material for the manufacture of civil construction materials. The objective of this study was to verify in the literature, through a systematized review, which industrial waste is being recycled and what forms of reuse and characteristics of the new materials produced, as well as to verify which tests are performed in the new material when the composition hazardous waste. A total of 383 studies were identified in the area, of which 26 were analyzed according to a systematic review in the Web of Science database, from 1987 to April 2017. After the research it was discovered that the main residues that have been reused are: Slag, mining waste (coal and ash), forest residues (wood, pulp and paper) and glass manufacturing waste. After the formation of the new products, the materials were characterized and presented concrete

and ceramic characteristics, mainly. For the residues considered to be hazardous, the need to carry out solubilization and leaching tests has been identified, ensuring that the contaminant has actually been inert and that it does not return to the environment through inclement weather, causing serious environmental damage.

Key-words: Industrial waste, Reuse, Building materials.

1. Introdução

Uma das necessidades enfrentada pela indústria é a minimização de resíduos, pois esta possibilita o desenvolvimento sustentável a partir da preocupação ambiental e a redução dos custos de produção (CRITTENDEN & KOLACZKOWSKI, 1995). Com medidas que evitam, eliminam ou reduzem os resíduos gerados na fonte, a minimização pode ainda permitir o reuso ou reciclagem de resíduos. Diminuindo assim seu gasto com tratamento e disposição, e ainda protegendo o meio ambiente. Dentre as vantagens que podem ser citadas estão: (i) redução de custos de monitoramento, controle, tratamento, gerenciamento e disposição de resíduos; (ii) redução do consumo de matérias-primas; (iii) redução de riscos de saúde e segurança dos funcionários expostos a resíduos perigosos; (iv) redução dos riscos ambientais que acarretam em uma facilidade maior em conseguir licenças e financiamentos, além de melhorar a imagem pública da empresa, a tornando com maior rentabilidade e eficiência (CENDOFANTI, 2005).

Para a implantação de ações de minimização de resíduos é necessário o conhecimento detalhado do processo produtivo da empresa e também as diferentes soluções ambientais para melhoria dos indicadores de resíduos ou os caminhos para obter soluções (SEIFFERT, 2011).

Além da questão de minimização dos resíduos, cabe destacar que a má disposição dos resíduos causa impactos irreversíveis ao meio ambiente, o que também impulsiona às indústrias a buscar novas formas de disposição e até mesmo reaproveitamento do resíduo gerado.

O reaproveitamento de resíduos permite adicionar a este resíduo um valor agregado que proporcione a formação de um produto comercial é vantajoso, pois diminui possíveis gastos com a disposição do mesmo e implica no ganho econômico pela sua venda a outros setores.

O objetivo deste estudo foi verificar quais são os resíduos industriais que tem sido reaproveitados para a fabricação de novos materiais de construção civil no período entre 1987 e 2017. Em conjunto verificou-se as características dos novos materiais formados e quais foram os testes realizados nos novos materiais, principalmente se os resíduos utilizados fossem classificados como perigosos, de acordo com a NBR 10.004 (ABNT, 2004). Cabe destacar que esta pesquisa tem como foco a verificação de fluxos mássicos no ambiente fechado pois está relacionado apenas com os resíduos gerados dentro da indústria.

2. Metodologia

As publicações foram pesquisadas na base de dados da *Web of Science* (WoS) no período de 1987 a 2017, caracterizando 31 anos. A pesquisa foi baseada em uma utilização simultânea de três campos de pesquisa WoS, sendo cada subtema relevante para o tema central. Apenas foram selecionados artigos publicados em inglês de forma em que os subtemas escolhidos foram escritos em inglês visando essa seleção e refinamento. Os subtemas utilizados foram: 1) tipo de resíduos: resíduos industriais, código de pesquisa: *industr* resid* OR industr* waste*; AND 2) tecnologia associada: reaproveitamento e fabricação de novos materiais, código de acesso: *materials manufact**; OR 3) área e tipo de material de interesse: construção civil, código de pesquisa: *construction materials*. Assim foram selecionados 383 artigos. Em seguida, refinamos a linha de pesquisa por meio de pesquisas nas categorias do WoS "*Engineering Civil*" + "*Engineering Environmental*", restando assim 154 artigos. Posteriormente foram

selecionados apenas os artigos publicados e em língua inglesa, excluindo os que estão em processo de publicação e revisões, restando 116 artigos. Por último, os artigos restantes foram avaliados quanto sua relevância levando em consideração a presença dos tópicos no título ou no resumo do artigo, e assim foram reduzidos a 26 artigos. O objetivo deste estudo foi encontrar os artigos com o tema de reaproveitamento de resíduos industriais para a construção de materiais de construção civil, sendo assim, após a pesquisa inicial os resumos e palavras chaves dos artigos foram analisados. Posteriormente as seguintes informações foram retiradas de cada artigo:

- A) Ano: os dados são fornecidos na coluna “ano de publicação” em WoS;
- B) Revista: foram selecionados apenas os artigos cuja publicação tenha sido em revista científica;
- C) País: foi considerado o país de origem correspondente com o endereço do primeiro autor;
- D) Tipo de resíduo industrial: foram analisados os tipos de resíduos oriundos de um determinado processo industrial que foram estudados para reaproveitamento;
- E) Classificação da periculosidade do resíduo: de acordo com a NBR 10.004 (ABNT, 2004) os resíduos utilizados foram analisados se eram considerados perigosos ou não;
- F) Característica do novo material fabricado (concreto, cerâmica, argamassa, agregados leves, clínquer, pigmentos e pavimentação);
- G) Análises das características do novo material obtido (resistência a água, resistência à compressão uniaxial, resistência à flexão, densidade, umidade, etc.);
- H) Testes de solubilização e lixiviação, caso os resíduos fossem considerados perigosos (classe I de acordo com a NBR 10.004).

Realizou-se ainda uma análise gráfica para identificar mais facilmente as tendências das publicações e as correlações com os itens pesquisados.

3. Resultados

A pesquisa resultou em 383 artigos, dos quais 154 passaram na primeira triagem (Figura 1). Destes, apenas 116 estavam relacionados as áreas de “*Engineering Civil*” e “*Engineering Environmental*”. Um total de 26 artigos preencheram o critério de inclusão na terceira sessão e estão listados nas referências deste trabalho.

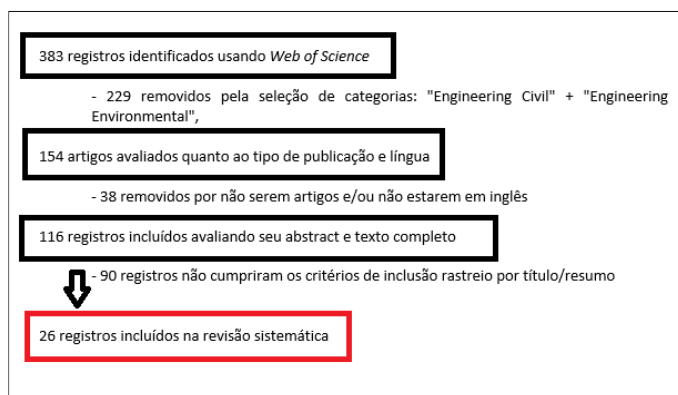


Figura 1 – Fluxograma detalhando o processo de coleta de registros e eliminação do estudo para a revisão sistematizada

O primeiro artigo foi publicado no ano de 2001 e a partir de então pode-se observar um aumento considerável em 2012, a partir desta data observou-se que o número de publicações tem se mantido constante, na ordem de 3 publicações por ano. Esse aumento de pesquisas ao longo dos anos indica um potencial crescimento de interesse do uso da tecnologia de reaproveitamento como forma de tratamento ou disposição de resíduos industriais (Figura 2). Cabe salientar que apenas foram inseridos artigos até o mês de abril de 2017, e que possivelmente após esta data haverá mais publicações.

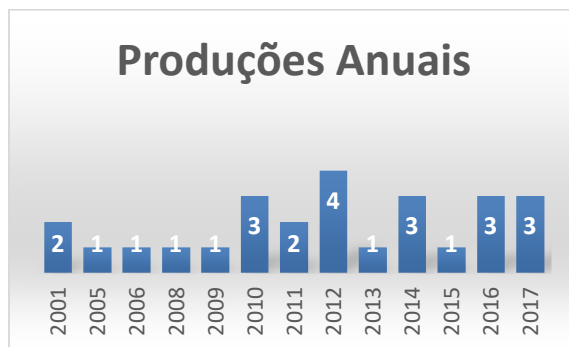


Figura 2 – Evolução temporal do número de artigos publicados

Com relação a distribuição espacial dos locais onde os artigos foram produzidos verificou-se uma alta concentração de artigos publicado nos países como Espanha, EUA e China, os quais detêm juntos 46% dos 26 estudos analisados nesta pesquisa. Das publicações analisadas, 15,4% foram realizados na América (EUA), 19,2% na Ásia (Malásia e China), 38,5% na Europa (Rússia, Polônia e Espanha), 7,7% na Oceania (Austrália) e 0% na África. (Figura 3).

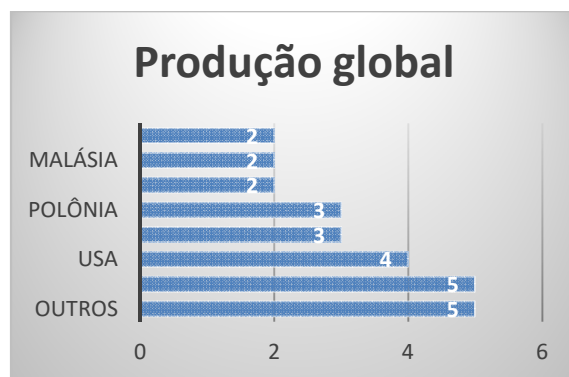


Figura 3 – Distribuição global dos artigos analisados

Dentre as categorias do *Web of Science* que mais se destacaram nesse assunto de pesquisa de reaproveitamento está a “*Environmental Sciences*” com 34% nos artigos selecionados, seguida da “*Engineering Environemntal*” com 22% e da “*Materials Science Multidisciplinary*” com 14%, conforme apresentado na Figura 4 a seguir.

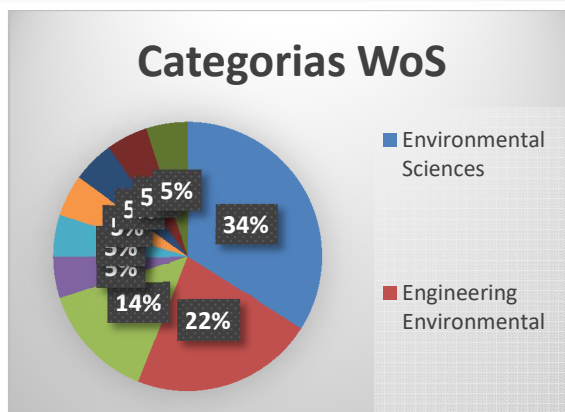


Figura 4 – Gráfico das publicações de acordo com as categorias do *Web of Science*

Na Figura 5 foram elencados os tipos de resíduos que tem sido reaproveitados de acordo com os artigos analisados. Há um destaque maior para as escórias (de níquel, de magnésio, de ferro, de dessulfuração e de fogos artifício), resíduos de mineração (carvão e cinzas), resíduos florestais (madeira, papel e celulose) e resíduos da fabricação de vidro. Os demais resíduos apresentados foram evidenciados em apenas 1, 2 ou 3 artigos analisados.



Figura 5 – Tipos de resíduos industriais reaproveitados

Fazendo uma comparação dos artigos verificou-se que dos 26 artigos analisados 21 descreveram as propriedades características dos novos materiais desenvolvidos a partir dos resíduos industriais, dos quais 42,9% formaram materiais com característica de concreto (9 artigos), 33,3% com características de cerâmica (7 artigos), 9,5% com característica de argamassa e agregados leves (2 artigos) e 14,3% com outros tipos de características (como clínquer, material para pavimentação de estradas ou pigmentos), conforme demonstrado na Figura 6.

Característica do material desenvolvido



Figura 6 – Características dos novos produtos formados

Com relação as análises e parâmetros avaliados nos novos materiais produzidos foram evidenciados que 12 artigos não informaram nenhuma análise de caracterização, enquanto os outros 14 artigos realizaram diferentes testes conforme apresentado na Figura 7.

Parâmetros analisados nos novos materiais

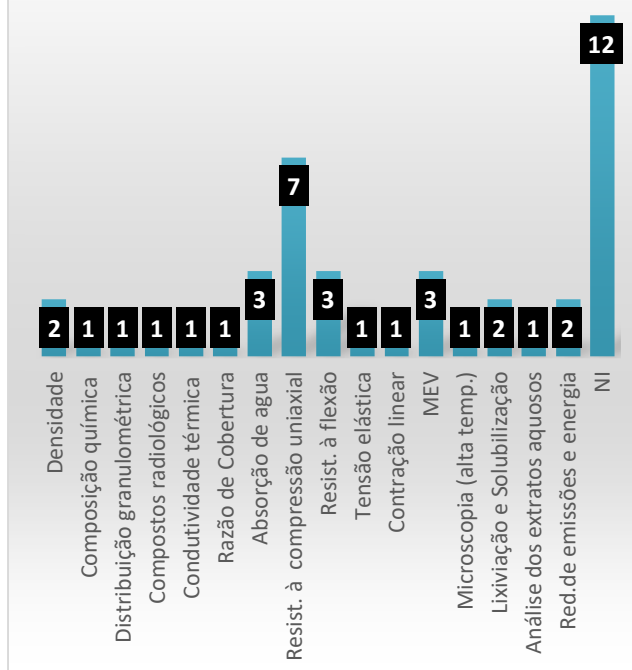


Figura 7 – Análise dos materiais formados

O destaque maior se dá para as análises de resistência de compressão uniaxial, para as quais há normas específicas para a avaliação conforme a norma brasileira NBR 7170 e 7171, de 1983 e 1992, respectivamente.

Dos resíduos considerados perigosos apenas 2 artigos mostram que realizaram análises de solubilização e lixiviação em seus novos materiais fabricados (OTHMAN *et al.*, 2016;

PINHEIRO & HOLANDA, 2010). Estes ensaios são importantes para garantir que ao longo do tempo os resíduos perigosos permaneçam inertizados, ou seja, que o material não irá se deteriorar fazendo com que o contaminante retorne ao meio ambiente causando graves impactos.

4. Discussão

Esta pesquisa demonstrou estar sob um campo emergente, ou seja, em fase crescimento visto as necessidades ambientais quanto a busca de novas formas de tratamento e disposição de resíduos. Desde o ano de 2012 tem sido evidenciado um aumento de incentivos de pesquisas nessa área e isso está relacionado a uma maior preocupação mundial quanto a sustentabilidade e reutilização de resíduos. Dentre as influências para a mudança de atitude está a assinatura, em 1992, da Agenda 21 por 179 países, na qual os países se comprometeram a buscar um planejamento para a construção de sociedades sustentáveis, ou seja, tomando medidas de precaução para que haja o crescimento econômico e social, porém, mantendo as boas e adequadas condições ambientais para as futuras gerações (MMA, 2017).

O número de publicações em países como (Espanha, EUA e China) indicam como estes países estão avançados em pesquisas quando comparados com os demais países. E isso está diretamente relacionado com a porcentagem de investimento que as pesquisas recebem em seus respectivos países.

Um fator que corrobora para o investimento de novas formas de disposição e tratamento de resíduos industriais está também relacionado com o tamanho do território e a disponibilidade de áreas para o descarte de seus resíduos (aterros). Quanto menor o país mais problemas quanto à disposição são evidenciados e por isso a busca por dar valor agregado ao resíduo se torna um aspecto interessante sobre o ponto de vista social, econômico e ambiental.

Com relação aos resíduos industriais utilizados nas pesquisas de reaproveitamento verifica-se que os resíduos estão diretamente relacionados com o tipo de processos produtivos e industriais existentes em cada país. Na Espanha, por exemplo, o destaque industrial está relacionado as indústrias químicas, de metalurgia e cerâmica, fato este evidenciado nos artigos analisados neste estudo.

Segundo Makela *et al.* (2012) a política de resíduos da União Europeia baseia-se na hierarquia de resíduos, que apoia fortemente a reciclagem e a reutilização de resíduos. Por isso acredita-se haver mais pesquisas nesta área de reaproveitamento o que permitirá uma maior utilização de resíduos, melhorando a eficiência do uso de materiais nos processos industriais e contribuindo para a utilização sustentável dos recursos naturais.

Porém sabe-se que na União Europeia o setor de construção civil é responsável por 40% do consumo global de energia contribuindo consideravelmente com emissões de CO₂, e o consumo de energia para extrair matérias-primas contribui significativamente para a poluição e para a degradação ambiental (COSTA *et al.*, 2017). Por isso medidas e análises do ciclo de vida dos materiais vêm ganhando espaço no território europeu na busca pelo desenvolvimento sustentável que visa minimizar os impactos ambientais.

Já com relação aos estudos realizados nos EUA, estima-se que 4,6 bilhões de toneladas de resíduos sólidos não perigosos são produzidos anualmente (FONSECA *et al.*; 2005) no solo americano. Porém a possibilidade de utilizar os mesmos como materiais para a construção de rodovias e estradas tem sugerido benefícios valiosos devido a este alto potencial de reaproveitamento.

No caso da China, em especial, há bastante estudos na cidade de Hong Kong visto que a mesma

é escassa em recursos naturais, o que acarreta na produção de cimento com elevadas emissões de CO₂, contribuindo para os altos impactos ambientais na indústria de construção (HOSSAIN *et al.*, 2017). Sendo assim, pesquisas de reaproveitamento vêm se destacando neste país pois além de reduzir custos com a extração de matérias-primas, se reduz os custos inerentes a destinação de resíduos pois os mesmos podem ser reaproveitados como materiais-prima de baixo custo, porém com elevada capacidade de uso.

Outro setor industrial de grande impacto mundial é a indústria de petróleo. O mesmo gera resíduos muito perigosos, como as grandes quantidades de lodo oleoso gerados durante o processo de extração de petróleo e gás. Mas Pinheiro & Holanda (2010) demonstraram que este material antes considerado perigoso (classe I) (ABNT, 2004) pode ser estabilizado através da mistura com argila, obtendo-se um como resíduo de petróleo encapsulado. Esse novo material, que antes era perigoso, foi classificado como resíduos classe II-A (não perigoso e não inerte), o que nos remete a possibilidade de seu uso para a fabricação de produtos cerâmicos para construção civil, por exemplo.

Gonzalez-Coto *et al.* (2008) apontam que a sociedade moderna se orienta para conseguir um desenvolvimento sustentável que minimize a produção dos resíduos, o que a obriga a buscar soluções que poderiam evitar a geração dos mesmos ou até mesmo reaproveitá-los para a produção de novos materiais.

Além da questão de formação de novos produtos uma nova análise pode ser feita relacionando o nível de aceitação das pessoas sobre matérias providas de resíduos industriais ao invés de matérias-primas retiradas diretamente dos recursos naturais. A aceitação por parte da sociedade também é um caminho que deve ser analisado. Além da aceitação, análises quanto à periculosidade devem sempre ser realizadas a fim de garantir que um problema não tenha sido apenas movido para outro compartimento, mas que determinado dano seja efetivamente resolvido e seu grau de periculosidade minimizado ou excluído.

5. Conclusão

A metodologia de revisão cientométrica ou revisão sistemática oferece a oportunidade de caracterização de como esta as pesquisas a nível mundial e indicar os possíveis próximos passos para o crescimento científico, por isso esse tipo de pesquisa deve ser valorizado devido a suas vantagens. Sem dúvidas os resultados refletem ainda a restrição de apenas terem sido selecionados publicações na língua inglesa, o que poderia indicar uma maior produção de pesquisas em outros países.

O aumento de pesquisas ao longo dos anos indica um potencial crescimento de interesse do uso da tecnologia de reaproveitamento como forma de tratamento ou disposição de resíduos industriais. O maior crescimento desse tipo de uso de tecnologia está sendo evidenciado nos últimos 5 anos e com tendência ao crescimento visto que as pesquisas seguem sendo realizadas. Os países que mais tem publicado sobre o assunto são a Espanha, a China e os EUA.

Esta pesquisa demonstrou que existe uma variedade de resíduos que podem ser reaproveitados a fim de formar novos materiais de construção civil com características de concreto e cerâmica, principalmente. Sendo assim é possível destinar os resíduos de maneira adequada buscando evitar ao máximo os impactos ao meio ambiente.

Referências

ABAGIU, A.T.; VOLCEANOV, E.; PREDEANU, G.; et al. *Physical-Chemical Characteristics Of Some Industrial Wastes Arguments For Their Use In The Field Of Building Materials Manufacturing*. Conferência: 13th International Multidisciplinary Scientific Geoconference, SGEM 2013. Anais... Local: Albena, BULGARIA Data: JUN 16-22, 2013. Geoconference on Energy and Clean Technologies, série de livros: International Multidisciplinary Scientific GeoConference-SGEM, p. 409-416, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7170: Tijolo maciço cerâmico para alvenaria*. Rio de Janeiro, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7171: Blocos cerâmicos para alvenaria*. Rio de Janeiro, 1992.

AHMADI, B; AL-KHAJA, W. *Utilization of paper waste sludge in the building construction industry*. Resources Conservation and Recycling, v.32, ed.2, p.105-113, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10.004: Classificação de resíduos sólidos*. Rio de Janeiro, 2004.

CENDOFANTI, A. C. *Minimização de resíduos de uma fábrica de carvão ativado e de goma resina*. 96f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental). Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

CHEN, Y.; LI, C. *Optimization of value system of the residential industry*. Conferência: International Conference on Construction and Real Estate Management Local: Orlando, FL Data: OCT 05-06, 2006. International Conference on Construction & Real Estate Management, v.1-2: collaboration and development in construction and real estate, p.1602-1604, 2006.

CONTRERAS, M.; GAZQUEZ, M.J.; PEREZ-MORENO, S. M.; et al. *Management and Valorisation of Wastes and Co-products from the TiO₂ Pigment Industry*. Conferência: 3rd International Conference on Sustainable Solid Waste Management. Local: Greece, Jul 02-04, 2015. Waste and Biomass Valorization, v.7, ed.4, ed. especial: SI, p.899-912, 2016.

COSTA, C.; MONTEIRO, M.; RANGEL, B.; et al. *Industrial and natural waste transformed into raw material*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part L - Journal of materials, design and applications, v.231, ed.1-2, p.247-256, 2017.

CRITTENDEN, B.; KOLACZKOWSKI, S. *Waste minimization: a practical guide*. Rugby: Institution of Chemical Engineers, 81p., 1995.

EASTIN, I.L; SHOOK, S.R; FLEISHMAN, S.J. *Material substitution in the US residential construction industry, 1994 versus 1998*. Forest Products Journal, v.51, ed.9, p.30-37, 2001.

FONSECA, D.J; RICHARDS, E.; WILLIAMSON, D.; et al. *A knowledge-based system for the recycling of non-hazardous industrial residuals in civil engineering applications*. Expert Systems, v.22, ed.1, p.1-11, 2005.

GONZALEZ-COTO, F.; MARINA-SANCHEZ, M.; SIERRA, C.; et al. *Using Industrial And Mining Wastes As Raw Materials To Produce Light Aggregates*. Conferência: 8th International Scientific Conference on Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection. Local: Sofia, Bulgaria, Jun 16-20, 2008. 8th International scientific conference, v.2, Conference proceedings, p.219, 2008.

HAYWARD, K. M. J. *Identifying geological materials from nineteenth-century residential and industrial properties in south Glasgow: the M74 excavations*. Scottish Journal of Geology, v.51, p.81-94, parte 1, 2015.

HOSSAIN, MD. UZZAL; POON, CHI SUN; LO, IRENE M. C.; et al. *Comparative LCA on using waste materials in the cement industry: A Hong Kong case study*. Resources Conservation and Recycling, v.120, p.199-208, 2017.

JUAN VALDES, A.; MEDINA MARTINEZ, C.; GUERRA ROMERO, M. I.; et al. *Re-use of construction and demolition residues and industrial wastes for the elaboration or recycled eco-efficient concretes.* Spanish Journal of Agricultural Research, v.8, ed.1, p.25-34, 2010.

KENDALL, S. *Developments Toward a Residential Fit-Out Industry.* Open House International, v.36, ed.1, p.86-94, 2011.

KINUTHIA, J. M.; NIDZAM, R. M. *Towards zero industrial waste: Utilisation of brick dust waste in sustainable construction.* Waste Management, v.31, ed.8, p.1867-1878, 2011.

KOSK, I. *Complex Management Of Chalcedonite Waste Fractions From Inowlodz Mine Clarifiers In Environment Prevention And In Building Materials Industry.* Gospodarka Surowcami Mineralnymi-Mineral Resources Management, v.26, ed.1, p.5-22, 2010

KSIAZEK, M. *The experimental investigations of propriety and applies in the building special coating - Sulfur polymer composite as the industrial waste material.* Composites Part B-Engineering, v.58, p.378-385, 2014.

LIS, T.; NOWACKI, K.; MALYSA, T. *Utilization of metallurgical waste in non-metallurgical industry.* Editado por: Mendala, J; Gradon, P. Conferência: 21st Conference on Technologies and Properties of Modern Utility Materials (TPMUM). Local: Silesian Univ Technol, Fac Mat Engn, Katowice, POLAND Data: MAY 17, 2013. Anais... Technologies And Properties Of Modern Utility Materials XXI, srie de livros: Solid State Phenomena, v.212, p.195-200, 2014.

MAKELA, M.; HARJU-OKSANEN, M.; WATKINS, G.; et al. *Feasibility assessment of inter-industry solid residue utilization for soil amendment-Trace element availability and legislative issues.* Resources Conservation and Recycling, v.67, p.1-8, 2012.

MEFFRE, A.; OLIVES, R.; PY, X.; et al. *Design And Industrial Elaboration Of Thermal Energy Storage Units Made Of Recycled Vitrified Industrial Wastes.* Conferência: ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition (IMECE). Local: Denver, CO Data: NOV 11-17, 2011. Anais... Proceedings Of The Asme International Mechanical Engineering Congress and Exposition, 2011, v.4, PTS A and B, p.757-762, 2012.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. *Agenda 21.* Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21>>.

MONTERO, M. A.; JORDAN, M. M.; ALMENDRO-CANDEL, M. B.; et al. *The use of a calcium carbonate residue from the stone industry in manufacturing of ceramic tile bodies.* Applied Clay Science, v.43, ed.2, p.186-189, 2009.

MUELLER, J.R.; BOEHM, M.W.; DRUMMOND, C. *Direction of CRT waste glass processing: Electronics recycling industry communication.* Waste Management, v.32, ed.8, p.1560-1565, 2012.

OTHMAN, U.M.; RAHMAT, M.N. *Fabrication of Unfired Bricks From Industrial Scheduled Waste (WWTS).* Journal Teknologi, v.78, ed.5-2, p.43-48, 2016.

PINHEIRO, B. C. A.; HOLANDA, J. N. F. *Chemical-Environmental Characterization of Waste Coming From Petroleum Industry for Application in Clay Ceramics.* Conferência: 7th International Latin-American Conference on Powder Technology Local: Atibaia, BRAZIL Data: NOV 10, 2009. Advanced Powder Technology VII, série de livros: Materials Science Forum, v.660-661, p.1053-1057, 2010.

SALAKHOV, A. M.; ASHMARIN, G. D.; MOROZOV, V. P.; et al. *Ceramic Materials from Low-Melting Clays Modified by Industrial Wastes from a Glass-Fiber Plant.* Glass and Ceramics, v.71, ed.3-4, p.77-80, 2014.

SEIFFERT, M.E.B. *Sistemas de Gestão Ambiental (SGA – ISO 14001): Melhoria contínua e produção mais limpa na prática e experiência de 24 empresas brasileiras.* 1ª Ed. Ed. Atlas. São Paulo-SP. 2011.

SUGRANEZ, RAFAEL; CRUZ-YUSTA, MANUEL; MARMOL, ISABEL; et al. *Use of Industrial Waste for the Manufacturing of Sustainable Building Materials.* Chemsuschem, vol.5, ed.4, p.694-699, 2012.

TKACH, E. *Development of ecologically safe technology of recycling of industrial waste in the production of modified non-autoclave aerated concrete.* Conferência: 5th International Scientific Conference on Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education (IPICSE). Anais... Série de livros: MATEC Web of Conferences, v.86, 2016.

ZHANG, Z.; ZHU, Y.; YANG, T.; et al. *Conversion of local industrial wastes into greener cement through geopolymers technology: A case study of high-magnesium nickel slag.* Journal of Cleaner Production, v.141, p.463-471, 2017.