RESÍDUOS SÓLIDOS DE CERÂMICA VERMELHA NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL – ESTUDO DE CASO

Diego Valdevino Marques[1]
Izoé Daysi Pedroso[2]
Nathan Roberto Lohn Pereira[3]
Ana Regina de Aguiar Dutra[4]
Anelise Leal Vieira Cubas[5]
Rachel Faverzani Magnago[6]

http://dx.doi.org/10.19177/978-65-88775-08-0.95-118

1 INTRODUÇÃO

A evolução de uma civilização ao longo da História é mostrada sobretudo pelas riquezas culturais com as quais são feitas as construções. A arquitetura e a engenharia civil caracterizam o grau de tecnologia dos povos, consumindo recursos naturais, em grande parte não renováveis, e gerando quantidade significativa de resíduos de natureza diversificada[7].

1 Engenheiro de Produção, Universidade do Sul de Santa Catarina. E-mail: marques.dv87@outlook.com - https://orcid.org/0000-0003-4062-9922

2 Arquiteta e Urbanista, Universidade do Sul de Santa Catarina. E-mail: izoe13@gmail.com - https://orcid.org/0000-0001-9809-740X

3 Graduado em Química, Instituto Federal de Santa Catarina. E-mail: lohnnathan@gmail.com - https://orcid.org/0000-0003-4433-7871

4 Doutora em Engenharia de Produção, Universidade do Sul de Santa Catarina. E-mail: ana.dutra@unisul.br - https://orcid.org/0000-0002-0337-5639

5 Doutora em Química, Universidade do Sul de Santa Catarina. E-mail: anelisecubas@gmail.com - https://orcid.org/0000-0002-7124-9503

6 Doutora em Química, Universidade do Sul de Santa Catarina. E-mail: rachel.magnago@unisul.br - https://orcid.org/0000-0001-7306-7984

7 LINTZ, R. C. C.; JACINTO, A. E. P. G. A.; PIMENTEL, L. L.; GACHET-BARBOSA, L. A. Study of the reuse of construction residues in concrete employed by blocks manufacture. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 5, n. 2, p. 166-173, 2012.

Exemplificando, a produção do cimento, uma das principais matérias-primas da construção civil, consequentemente principal fonte de emissão de poluentes atmosféricos perigosos, como dioxinas e metais tóxicos (mercúrio, chumbo, cádmio, arsênio, antimônio e cromo), além de ser responsável por aproximadamente 3% das emissões mundiais de gases de efeito estufa e por cerca de 5% das emissões de CO2[8].

O ser humano sempre esteve e permanece em contato com o meio ambiente, tendo em vista que todos os recursos necessários para a sua sobrevivência provém da natureza[9]. Atualmente, o crescimento populacional e o aumento do consumo despertam debates mundiais a respeito da necessidade de preservação ambiental através do desenvolvimento sustentável[10,11,12,13]. Novas estratégias, planos ou programas para a conservação e a utilização sustentável da diversidade biológica, além de integrar, na medida do possível e conforme o caso, a conservação e a utilização sustentável dos recursos naturais, também proporciona sustentabilidade social e econômica[14,15,16,17].

Diante da problemática do consumismo e dos altos índices de resíduos de materiais pós-consumo, a inovação tecnológica auxilia na realocação de resíduos em novos produtos, agregando valor, tornando as indústrias menos predatórias e minimizando impactos ambientais negativos, como o descarte inadequado desses materiais. Do ponto de vista social, proporciona melhorias na qualidade de vida dos atores envolvidos através de oportunidades de

8 MAURY, M. B.; BLUMENSCHEIN, R. N. Produção de cimento: Impactos à saúde e ao meio ambiente. **Sustentabilidade em Debate**, Brasília, v. 3, n. 1, p. 75-96, 2012.

9 JOHNSON, C. N.; BALMFORD, A.; BROOK, B. W.; BUETTEL, J. C.; GALETTI, M.; GUANGCHUN, L.; WILMSHURST, J. M. Biodiversity losses and conservation responses in the Anthropocene. **Science**, v. 356, n. 6335, p. 270-275, 2017.

10 UNITED NATIONS. Department of Economic and Social Affairs, P. D. W. **World Population Prospects The 2017 Revision**, n.1385**,** p. 302, 2017.

11 SACHS, I. **Ecodesenvolvimento**. IV Bienal Internacional do Livro de Alagoas, 2009.

12 FOLADORI, G.; TAKS, J. Um olhar antropológico sobre a questão ambiental. **Mana**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 2, p. 324-348, 2004.

13 MEADOWS, D. H.; MEADOWS, D. L.; RANDERS, J.; BEHRENS III, W. W. **Limites do Crescimento**: Um relatório para o projeto do Clube de Roma sobre o dilema da humanidade. São Paulo: Editora Perspectiva, 1973.

14 LENTON, T. M; LATOUR, B. Gaia. 2.0. **Science**, p. 4-7, 2018.

15 SACHS, op. cit.

16 VIEIRA, P.H.F. Gestão de recursos comuns para o ecodesenvolvimento**.** In: VIEIRA, P.H.F.; SEIXAS, C.S.; BERKES, F. (Orgs.). **Gestão Integrada e Participativa de recursos naturais**. Florianópolis: APED, 2005. p. 333-377.

17 CASAGRANDE JR., E. F. Inovação Tecnológica e Sustentabilidade: Possíveis Ferramentas para uma Necessária Inferface. **Revista EDUCAÇÃO & TECNOLOGIA**, 2004.

novos negócios, geração de emprego e inclusão social[18,19,20,21.] Neste sentido cresce o interesse por parte da sociedade quanto ao uso sustentável dos recursos naturais[22,23]. Assim, como desafio tem-se a inserção de resíduos em um novo processo produtivo, onde haja abordagem de aspectos ambientais, econômicos e sociais[24,25,26,27,28,29].

A reutilização de resíduos, além de ser uma forma de diminuir impactos ambientais negativos, resulta em economia de recursos naturais, água e energia, incorporando a indústria na Agenda 2030, onde se adota o documento "Transformando o nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável", priorizando os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) para proteger o planeta, acabar com a pobreza e garantir a prosperidade no presente e no futuro para todos[30]. Nessa direção, destaca-se o papel da economia circular, com um modelo de exploração econômica dos recursos que prevê sua reutilização, tornando o uso dos recursos mais racional e eficiente[31,32].

18 AHMED, L.; ZHANG, B.; HATANAKA, L. C.; MANNAN, M. S. Application of polymer nanocomposites in the flame retardancy study. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 55, n. May, p. 381-391, 2018.

19 ZHANG, J.; WU, Q.; LI, G.; LI, M. C.; SUN, X.; RING, D. Synergistic influence of halogenated flame retardants and nanoclay on flame performance of high density polyethylene and wood flour composites. **RSC Advances**, v. 7, n. 40, p. 24895-24902, 2017.

20 TEUBER, L.; OSBURG, V.S.; TOPOROWSKI, W.; MILITZ, H.; KRAUSE, A. Wood polymer composites and their contribution to cascading utilisation. **Journal of Cleaner Production**, v. 110, n. 1, p. 9-15, 2016.

21 YAM, R. C. M.; MAK, D. M. T. A cleaner production of rice husk-blended polypropylene eco-composite by gas-assisted injection moulding. **Journal of Cleaner Production**, v. 67, p. 277-284, 2014.

22 LENTON; LATOUR, op.cit.

23 ACQUAYE, A.; FENG, K.; OPPON, E.; SALHI, S.; IBN-MOHAMMED, T.; GENOVESE, A.; HUBACEK, K. Measuring the environmental sustainability performance of global supply chains: A multi-regional input-output analysis for carbon, sulphur oxide and water footprints. **Journal of Environmental Management**, v. 187, 2017.

24 XUAN, D.; TANG, P.; POON, C. S. MSWIBA-based cellular alkali-activated concrete incorporating waste glass powder. **Cement and Concrete Composites**, v. 95, p. 128-136, 2019.

25 STOLZ, J.; BOLUK, Y.; BINDIGANAVILE, V. Mechanical, thermal and acoustic properties of cellular alkali activated fly ash concrete. **Cement and Concrete Composites**, v. 94, p. 24-32, 2018.

26 AL-QADI, I.; OZER, H.; VÉLEZ-VEGA, E.; MURRELL, S. Airfield and Highway Pavements**. Pavement Innovation and Sustainability**, 2017.

27 ACQUAYE et al., op.cit.

28 IBRAHIM, W. M. W.; HUSSIN, K.; ABDULLAH, M. M. M. A. B.; KADIR, A. A. Geopolymer lightweight bricks manufactured from fly ash and foaming agent. **AIP Conference Proceedings**, v. 1835, 2017.

29 HUYSMANA, S.; DE SCHAEPMEESTER, J.; RAGAERT, K.; DEWULF, J.; DE MEESTER, S. Performance indicators for a circular economy: A case study on post-industrial plastic waste. **Resources, Conservation and Recycling**, n. 120, p. 46-54. 2017.

30 UNITED NATIONS. **Transforming our world**: the 2030 Agenda for Sustainable Development. 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>. Acesso em: 4 abr. 2019.

31 LENTON; LATOUR, op. cit.

32 LAURINDO, M. **A viabilidade da economia circular à luz da política nacional de resíduos sólidos**: Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010. 2016.

Uma constante preocupação acerca do esgotamento dos recursos naturais e o aumento da responsabilidade social e ambiental estão fazendo com que as empresas saiam do método de economia linear para um método de economia circular, deste modo, mantém-se o valor dos recursos extraídos e produzidos através de cadeias produtivas integradas[33,34,35].

O desenvolvimento sustentável, juntamente com a economia circular, são abordagens que visam aplicar métodos que minimizem os impactos ambientais negativos dos sistemas de produção e de consumo, promovendo melhor qualidade de vida, estimulando a gestão sustentável e o uso eficiente dos recursos e insumos, possibilitando o reuso de materiais descartados de forma a aumentar o ciclo de vida e agregar valor. Essas abordagens contribuem também para a conservação dos recursos naturais e dos ecossistemas no intuito de possibilitar o crescimento econômico sem que haja degradação do meio ambiente.

Sendo assim, o artigo tem como objetivo indicar possibilidades de reuso dos resíduos gerados pela Indústria da Construção Civil e de outros segmentos, como matéria-prima para produtos que possam ser utilizados na indústria, contribuindo para o desenvolvimento sustentável da Indústria da Construção Civil. Também se buscou mensurar, mediante um estudo de caso em uma obra de construção localizada no município de Governador Celso Ramos (SC), a quantidade de resíduo gerada na obra, em especial de cerâmica vermelha.

2 RESÍDUOS NA INDÚSTRIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL

2.1 IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Historicamente a origem e o processamento da matéria-prima utilizada nas construções seguem basicamente três padrões. Em primeiro lugar, o processo de industrialização aplicado a alguns materiais (tais como a alvenaria de pedra, a madeira ou o vidro), sem alterar significativamente a sua natureza. Em segundo lugar, a crescente utilização do tijolo de cerâmica vermelha e depois do cimento, que conduziram

33 ACQUAYE et al., op.cit.

34 PAULI, G. U. The road to zero emissions: More jobs, more income and no pollution. **Routledge**, 2017.

35 GREGSON, N.; CRANG, M.; FULLER, S.; HOLMES, H. Interrogating the circular economy: the moral economy of resource recovery in the EU. **Economy and Society**, v. 44, n. 2, p. 218-243, 2015.

uma rápida substituição dos materiais tradicionais. Finalmente, a mais importante influência foi protagonizada pelos materiais estruturais: o aço e o concreto armado[36].

Para o uso de materiais como aço, vidro e alumínio na construção civil é necessário o processo de mineração, atividade causadora de grandes impactos ambientais, como desmatamento, poluição dos recursos hídricos e do solo, além da perda da biodiversidade[37,38]. O ferro comercial provém da mineração da hematita[39,40], para a produção do vidro tem-se a mineração da sílica[41], e mineração de bauxita é necessária para produzir alumínio[42].

A partir das inserções desses materiais estruturais à construção civil que se desenvolveu novas formas de edificação, que por sua vez responderam às novas necessidades de um mundo em modernização e em ascensão populacional. A aceleração das atividades antropogênicas vem crescendo ao longo dos anos com o crescimento exponencial da população mundial. Os seres humanos, cada vez mais, impactam os sistemas naturais da terra, colaborando para a perda de cobertura florestal e esterilidade da terra nas áreas de mineração de recursos para produção de materiais usados na indústria da construção civil[43,44]. Fatos causadores de consequências negativas para o ciclo natural de desenvolvimento e sobrevivência das espécies do bioma[45,46,47].

36 TOSTÕES, Ana. **Construção moderna**: as grandes mudanças do século XX. Disponível em: <http://www.4eetcg.uepg.br/oral/22_1.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2018.

37 MIOLA, D. T. B.; MARINHO, A. P.; DAYRELL, R. L. C.; SILVEIRA, F. A. O. Silent loss: Misapplication of an environmental law compromises conservation in a Brazilian biodiversity hotspot. **Perspectives in Ecology and Conservation**, p. 1-6, 2019.

38 RANJAN, R. Assessing the impact of mining on deforestation in India. **Resources Policy**, v. 60, n. July 2018, p. 23-35, 2019.

39 LIU, B.; ZHANG, Y.; LU, M.; SU, Z.; LI, G; JIANG, T. Extraction and separation of manganese and iron from ferruginous manganese ores: A review. **Minerals Engineering**, v. 131, n. 248, p. 286-303, 2019.

40 YOUNG, N. J.; COLEY, M. D.; GREENAWAY, A. M. Mineralogical investigations of Jamaican hematite-rich and goethite-rich bauxites using XRD and solid state 27 Al and 31 P MAS NMR spectroscopy. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 200, n. January, p. 54-76, 2019.

41 ZVARIVADZA, T. Sustainability in the mining industry: An evaluation of the National Planning Commission's diagnostic overview. **Resources Policy**, v. 56, n. November 2017, p. 70-77, 2018.

42 WANG, S.; LI, X.; WANG, S. Three-dimensional mineral grade distribution modelling and longwall mining of an underground bauxite seam. **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences**, v. 103, n. February, p. 123-136, 2018.

43 MIOLA et al., op. cit.

44 RANJAN, op. cit.

45 LENTON; LATOUR, op. cit

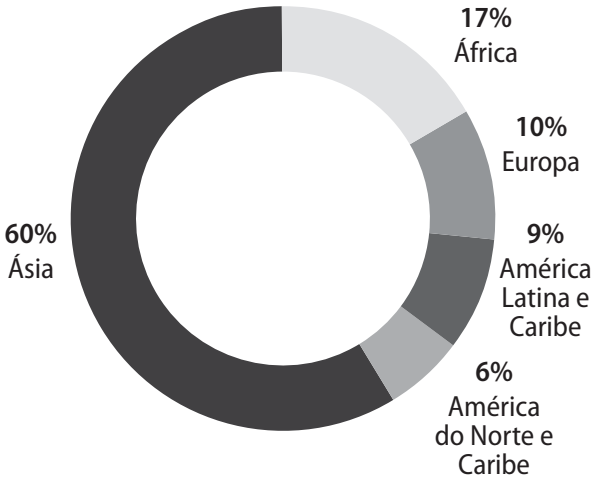
46 JOHNSON et al., op. cit.

47 ROCKSTRÖM, J.; STEFFEN, W.; NOONE, K.; PERSSON, A.; CHAPIN, F. S.; LAMBIN, E. F.; FOLEY, J.A. A safe operating space for humanity. **Nature**, v. 461, n. 7263, p. 472-475, 2009.

A degradação dos ecossistemas para exploração de recursos naturais apresenta ganhos secundários imediatos, sobretudo relativo crescimento econômico, mas também tem representado males significativos sob a forma de degradação da biodiversidade planetária e de danos a grupos populacionais tradicionais. Destacam-se as ameaças ao meio ambiente em terras indígenas, como mineração e garimpo, extração de madeira, arrendamento de terras e parcerias agropecuárias, espécies exóticas invasoras, entre outros[48,49,50,51].

Segundo o relatório das Nações Unidas[52], as pessoas são atores principais para o desenvolvimento sustentável, afinal a vida na terra depende de nossas ações no presente e no futuro. Em 2017, o planeta comportava 7,5 bilhões de pessoas, e dessas, a maior parte concentrava-se em regiões mais vulneráveis, como mostra a Figura 1[53,54].

Figura 1 – Porcentagens de habitantes em cada continente



Fonte: Adaptado de United Nations, 2017.

48 LENTON; LATOUR, op. cit.

49 JOHNSON et al., op. cit.

50 ABI-EÇAB, P. C. Principais ameaças ao meio ambiente em terras indígenas. **Revista Internacional de Direito Ambiental e Políticas Públicas Macapá**, n. 3, p. 1-17, 2011.

51 ROCKSTRÖM et al., op. cit.

52 UNITED NATIONS, op. cit.

53 LENTON; LATOUR, op. cit.

54 ROCKSTRÖM et al., op. cit.

Observa-se na Figura 1 que 60% da população mundial encontra-se no continente asiático, em países como China com 19% da população mundial e Índia com 18%, os quais concentram 1,4 bilhões e 1,3 bilhões de habitantes respectivamente, reconhecidos como os países mais populosos do mundo. O relatório ainda prevê que a população total dos países menos desenvolvidos, cerca de 1 bilhão em 2017, aumente 33% entre 2017 e 2030 e chegue a 1,9 bilhão de pessoas em 2050[55]. Estimativas indicam que a população mundial pode chegar a 11 bilhões em 2100, como mostra a Tabela 1. A tendência de crescimento populacional reforça a urgência do uso consciente dos recursos finitos, pois é fundamental manter a biodiversidade planetária, e, por conseguinte, os sistemas reguladores que dão suporte à vida[56,57].

Tabela 1 – Estimativa de crescimento populacional para 2100.

	População em Milhões			
Continente	**2017**	**2030**	**2050**	**2100**
Mundo	7,550	8,551	9,772	11,184
África	1,256	1,704	2,528	4,468
Ásia	4,504	4,947	5,257	4,780
Europa	742	739	716	653
América Latina e Caribe	646	718	780	712
América do Norte	361	395	435	499
Oceania	41	48	57	72

Fonte: United Nations, 2017.

Conforme a Tabela 1, a maior parte da população mundial vive na Ásia com 4,5 bilhões de pessoas e projeções apontam para a manutenção da quantidade até o fim do século em torno de 4,7 bilhões. Já a África, que apresenta o montante de 1,2 bilhão de pessoas, passará a ter mais de 4,4 bilhões até o fim do século. A população da Europa totaliza 742 milhões, da América Latina e do Caribe, 646 milhões, da América do Norte, 361 milhões e da Oceania, em

55 UNITED NATIONS, op. cit.

56 LENTON; LATOUR, op. cit.

57 ROCKSTRÖM et al., op. cit.

torno de 41 milhões, não apresentam crescimento tão significativo ao comparar com continente africano[58].

A extração do calcário utilizado para a fabricação do cimento é uma atividade extremamente impactante ao meio ambiente na extração da matéria-prima para produção do cimento, segundo Ez-zaki, e colaboradores[59] e Li e colaboradores[60], e cerca de 10 bilhões de toneladas de concreto são produzidas a cada ano, contribuindo para a degradação da vegetação, perda de água, erosão do solo, ocupação do meio ambiente e poluição gerada com emissão de CO2 na atmosfera durante o processo de fabricação do clínquer.

A produção mundial de cimento para o ano de 2012 chegou a 3,7 bilhões de toneladas, enquanto que em 2016, segundo a associação europeia de cimento, foi de 4,65 bilhões, ocasionando aumento de 17,21% na produção do cimento mundial em 4 anos. O maior produtor mundial, a China com 51,9% do total, consequentemente onde concentra a maior população mundial como apresentado na Tabela 1 e Figura 1[61,62].

2.2 REUTILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL

A Indústria da Construção Civil é um dos setores mais importantes da economia brasileira, gerando emprego e renda, contribuindo para a circulação de riquezas e para o desenvolvimento do país[63]. Estima-se que o setor gere investimentos superiores a US$ 90 bilhões por ano, desempenhando importante papel social, contribuindo diretamente para a redução do *deficit* de habitações e de infraestruturas, o que é essencial para o progresso nacional[64].

58 UNITED NATIONS, op. cit.

59 EZ-ZAKI, H.; DIOURI, A.; KAMALI-BERNARD, S.; SASSI, O. Composite cement mortars based on marine sediments and oyster shell powder. **Materiales de ConstruCCión**, v. 66, n. 321, 2016.

60 LI, G.; XU, X.; CHEN, E.; FAN, J.; XIONG, G. Properties of cement-based bricks with oyster-shells ash. **Journal of Cleaner Production**, v. 91, p. 279-287, 2015.

61 CEMBUREAU (Europa). **Cembureau**. Key facts. 2017. The European Cement Association. 2017. Disponível em: <https://cembureau.eu/cement-101/key-facts-figures/>. Acesso em: 4 abr. 2019.

62 SNIC (Brasil). Relatório Anual 2013. **Sindicato Nacional da Indústria do Cimento,** p. 40, 2013.

63 SCHERRER, A.; DA SILVA, J. L. G.; DE BRITO, L. A. P. F. Estudo da influência do crescimento da construção civil na deposição de resíduos sólidos: estudo de caso no município de Caraguatatuba. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 10, n. 2, p. 243-263, 2014.

64 PASCHOLIN FILHO, J.A.; STOROPOLI, J.H.; DIAS, A.J. Evaluation of compressive strength and water absorption of soil-cement bricks manufactured with addition o PET (polyethylene terephthalate). **Acta Scientiarum Technology**, v. 38, n. 2, p. 163-171, 2016.

Segundo Wang e colaboradores[65], a quantidade de resíduos de construção produzidos na China equivale de 2 a 3 bilhões de toneladas por ano. O Brasil gerou cerca de 45 milhões de toneladas em 2015, o que equivale a 57% do total de resíduos sólidos produzidos no país[66].

As gerações de resíduos da construção civil impactam o meio ambiente, sobretudo por meio do alto consumo de energia para produção das matérias-primas, na quantidade de resíduos sólidos gerados, em danos relacionados à poluição e emissões de gases de efeito estufa. Apesar da existência da Lei n° 12.305/10[67], sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, ainda ocorrem descartes incorretos de resíduos da construção civil em locais públicos que acabam degradando a paisagem, além de poderem contaminar o solo e a água com materiais perigosos, como amianto e compostos orgânicos voláteis[68].

Vale ressaltar que a Indústria da Construção Civil também pode se beneficiar de resíduos oriundos de outros setores industriais. Isso porque outros resíduos industriais podem substituir, parcial ou completamente, as matérias-primas naturais utilizadas na fabricação de materiais de construção. Destacam-se os resíduos de vidro, escória de aço, lodo de anodização, cerâmica vermelha, que são frequentemente utilizados para a produção de cimento Portland e também resíduos de outros segmentos, como pneus e plásticos, para pavimentação asfáltica[69,70,71,72].

A utilização de materiais de descarte pós-industrial ou pós-consumo, da Indústria da Construção Civil ou de outro segmento, tem se intensificado nas

65 WANG, H. Y.; KUO, W. T.; LIN, C. C.; PO-YO, C. Study of the material properties of fly ash added to oyster cement mortar. **Construction and Building Materials**, v. 41, p. 532-537, 2013.

66 ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2015**. Disponível em: <http://portalods.com.br/wp-content/uploads/2018/02/panorama2015.pdf>. Acesso em: 8 maio 2019.

67 BRASIL. Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Lei n. 12.305/2010. **Diário Oficial da União**, Brasília, p. 103, 2011.

68 ESA, M. R.; HALOG, A.; RIGAMONTI, L. Strategies for minimizing construction and demolition wastes in Malaysia. **Resources, Conservation and Recycling**, n. 120, p. 2017, 219-229.

69 MARQUES, D. V.; BARCELOS, R. L.; PARMA, G. O. C.; GIROTTO, E.; JÚNIOR, A. C.; PEREIRA, N. C.; MAGNAGO, R. F. Recycled polyethylene terephthalate and aluminum anodizing sludge-based boards with flame resistance. **Waste Management**, v. 92, p. 1-14, 2019.

70 MARQUES, D. V.; BARCELOS, R. L.; MAGNAGO, R. F. Reuse of Post Consumer Polyethylene Terephthalate in the construction industry. In: **INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION**, 6., 2017. **Proceedings**… São Paulo, maio 2017.

71 AL-QADI, op. cit.

72 HUANG, Y.; BIRD, R. N.; HEIDRICH, O. A review of the use of recycled solid waste materials in asphalt pavements. Resources. **Conservation and Recycling**, v. 52, n. 1, p. 58-73, 2007.

últimas décadas, com o desenvolvimento de diversas técnicas capazes de incorporar o resíduo como parte da composição de novos materiais[73,74,75].

O Quadro 1 apresenta alguns resíduos com possibilidades de reuso na construção civil e classificação perante a resolução n° 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente. Essa resolução visa facilitar a gestão da responsabilidade ambiental, corroborando a definição de estratégias de destinação de resíduos e a identificação de tecnologias de eliminação, além de contribuir para inserir os resíduos gerados em uma economia circular com foco no ecodesenvolvimento da cadeia produtiva da construção civil[76].

Quadro 1 – Resíduos gerados e com possibilidade de reuso na cadeia produtiva da Indústria da Construção Civil

Tipo	Reuso	Autor	Classe
Cerâmica; Concreto.	10 a 20% do asfalto para automóveis; fabricação de tijolos.	OSSA et al., 2016; CONTRERAS et al., 2016.	A
Plástico; Papel; Metais; Vidros; Gesso.	Produção de placas para isolamento termoacústico; combustível para altos fornos.	MARQUES et al., 2019; CEMBUREAU, 2017;	B
Tintas; Solventes.	Combustível para altos fornos; material luminescente para rodovias	KLEPA et al., 2019; CEMBUREAU, 2017; SNIC, 2013.	D
Cascas de Ostras	Substitui agregados finos; tratadas termicamente podem substituir a cal na produção de tijolos e porcentagens de cimento.	WANG et al., 2013; KUO et al., 3013; LI et al., 2015; PARIS et al., 2016; EZ-ZAKI et al., 2016; WEI et al., 2018.	Não perigoso

Fonte: Citadas na tabela, Elaboração dos autores, 2019.

73 HENAO, R.; SARACHE, W.; GÓMEZ, I. Lean manufacturing and sustainable performance: Trends and future challenges. **Journal of Cleaner Production**, v. 208, p. 99-116, 2019.

74 TEUBER et al., op. cit.

75 YAM; MAK, op. cit.

76 CONAMA. **Resolução 307.05/07/2002**. Dispõe sobre a gestão dos resíduos da construção civil. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/>. Acesso em: 18 nov. 2018.

Os resíduos apresentados no Quadro 1 podem ser utilizados na produção de concreto, argamassas, elementos pré-moldados, tijolos, em placas de isolamentos termoacústicas, em pavimentação, combustível para alto forno, substituição de agregados miúdos, entre outras aplicações[77,78,79,80,81,82,83,84,85,86,87].

A utilização de pedações de tijolos moídos para a substituição de argilas na fabricação de novos tijolos apresenta-se como alternativa de reciclagem desses resíduos. Ossa e colaboradores[88] avaliaram a incorporação dos resíduos de construção e demolição como agregado para asfalto, e constatou que agregar em porcentagens de até 20% na pavimentação urbanas é viável. Contreras e colaboradores[89] identificaram que os resíduos de cerâmica podem substituir 30% da argila, sem ocasionar prejuízos relevantes à qualidade dos tijolos, conforme demonstrado no Quadro 1. Outra alternativa para a diminuição de impactos ambientais negativos da Indústria da Construção Civil é a produção de cimento através do coprocessamento de resíduos. Nesse processo, os resíduos substituem os combustíveis fósseis não renováveis nos altos fornos que utilizam temperaturas de até 2.000 °C no processo de transformação do calcário em clínquer. Os

77 KLEPA, R. B.; MEDEIROS, M. F.; FRANCO, M. A. C.; TAMBERG, E. T.; FARIAS, T. M. B.; FILHO, J. A. P.; BERSSANETI, F. T.; SANTANA, J. C. C. Reuse of construction waste to produce thermoluminescent sensor for use in highway traffic control. **Journal of Cleaner Production**, n. 209, p. 250-258, 2019.

78 ANDRADE, J. J. O.; POSSAN, E.; SQUIAVON, J. Z.; ORTOLAN, T. L. P. Evaluation of mechanical properties and carbonation of mortars produced with construction and demolition waste. **Construction and Building Materials,** n.161, p.70-83, 2018.

79 MARQUES et al., op.cit.

80 TAVIRA, J.; JIMENEZ, J. R.; AYUSO, J.; LÓPEZ-UCEDA, A.; LEDESMA, E. Recycling screening waste and recycled mixed aggregates from construction and demolition waste in paved bike lanes. **Journal of Cleaner Production**, v. 190, p. 211-220, 2018.

81 WEI, Y. L.; KUO, P. J.; YIN, Y. Z.; HUANG, Y. T.; CHUNG, T. H.; XIE, X. Q. Co-sintering oyster shell with hazardous steel fly ash and harbor sediment into construction materials. **Construction and Building Materials**, v. 172, p. 224-232, 2018.

82 CONTRERAS, A.; TEIXEIRA, S. R.; LUCAS, M. C.; LIMA, L. C. N.; CARDOSO, D. S. L.; SILVA, G. A. C.; GREGORIO, G. C.; DE SOUZA, A. E.; DOS SANTOS, A. Recycling of construction and demolition waste for producing new construction material (Brazil case-study). **Construction and Building Materials,** n. 123, p. 594-600, 2016.

83 EZ-ZAKI et al., op. cit.

84 PARIS, J. M.; ROESSLER, J. G.; FERRARO, C. C.; DEFORD, H. D.; TOWNSEND, T. G. A review of waste products utilized as supplements to Portland cement in concrete. **Journal of Cleaner Production**, v. 121, p. 1-18, 2016.

85 LI et al., op. cit.

86 WANG et al., op.cit.

87 KUO, W. T.; WANG, H. Y.; SHU, C. Y.; SU, D. S. Engineering properties of controlled low-strength materials containing waste oyster shells. **Construction and Building Materials**, v. 46, p. 128-133, 2013.

88 OSSA, A.; GARCIA, J. L.; BOTERO, E. Use of recycled construction and demolition waste (CDW) aggregates: A sustainable alternative for the pavement construction industry. **Journal of Cleaner Production**, n. 135, p. 379-386, 2016.

89 CONTRERAS et al., op. cit.

resíduos mais utilizados no coprocessamento são: pneus, borras oleosas, graxas, tintas, solventes, plásticos e borrachas, madeira e papel, lodo de efluentes, entre outros. A utilização dos materiais reduz impactos como eliminação dos resíduos em locais inadequados, promove redução das emissões de CO2 (principal causador do efeito estufa) e contribuição à saúde pública, além de introduzir os resíduos na economia circular[90,91,92].

Wang e colaboradores[93] e Kuo e colaboradores[94] mostram que, com a utilização de cascas de ostras na substituição de agregados finos em argamassa de cimento, foi possível obter influências positivas, como a não redução de resistência mecânica. Li e colaboradores[95] usaram cinzas de ostras tratadas termicamente no intuito de substituir a cal na produção de tijolos, de onde foi possível obter resultados positivos quanto à resistência do tijolo. Paris e colaboradores[96] substituíram agregados miúdos por resíduos como cinzas de bagaço de cana, cinzas de casca de arroz, cinzas de biomassa de madeira residual e desperdícios de vidro, mostrando, assim, que a incorporação de resíduos de forma apropriada traz benefícios físicos e químicos no concreto, além de redução significativa nos custos econômicos e ambientais. Ez-Zaki e colaboradores[97] e Wei e colaboradores[98] trataram resíduos de casca de ostra termicamente em diferentes temperaturas, resultando em aumento de densidade das partículas e redução na resistência mecânica, porém há possibilidade de uso, como na vedação de paredes.

O uso de resíduos como combustível alternativo nos altos fornos na União Europeia representa cerca de 35%, sendo utilizado desde a década de 1970 pela Europa, Estados Unidos e Japão. No Brasil o uso de resíduos começou na década de 1990, porém ainda é pouco utilizado devido à diversidade da matriz energética brasileira. Entre as 57 fábricas de cimento que possuem a tecnologia, apenas 38 possuem licenciamento para o coprocessamento dos resíduos

90 CEMBUREAU, op. cit.
91 PARIS et al., op.cit.
92 SNIC, op. cit.
93 WANG et al., op. cit.
94 KUO et al., op. cit.
95 LI et al., op. cit.
96 PARIS et al., op. cit.
97 EZ-ZAKI et al., op. cit.
98 WEY et al., op. cit.

nos altos fornos. Em 2015, o montante de 1,07 milhão de toneladas dos mais variados resíduos foram coprocessados, contudo a indústria brasileira até então possuía um potencial de 2,5 milhões de toneladas[99].

Considera-se que a Indústria da Construção Civil é predatória, pois consome de 15 a 50% de recursos naturais do planeta nas operações[100]. É possível, por meio de abordagens como a economia circular, reintroduzir os mais variados tipos de resíduos no portfólio de operações como foi demonstrado no Quadro 1. A reutilização dos resíduos promove a cultura de responsabilidade socioambiental, contribuindo para a sustentabilidade de diferentes segmentos industriais.

A norma brasileira ABNT NBR-15113[101]estabelece diretrizes para projeto, implantação e operação de áreas de triagem, áreas de reciclagem e destinação para aterros sanitários, para os resíduos no estado sólido volumosos, inertes e semissólidos, que resultam de atividades da Indústria da Construção Civil.

A maior parte dos resíduos de construção e demolição são quebras de tijolos, de artefatos de cimento, concreto, madeira e ferro. Resíduos de cerâmica e derivados do cimento são comumente empregados na produção de agregados para preenchimentos, elementos pré-moldados e reinserção na própria construção civil[102].

3 MÉTODOS

A pesquisa trata-se de um estudo de caso, com abordagem quali-quantitativa, natureza aplicada, visando ao reconhecimento da importância do estudo de resíduos sólidos na Indústria da Construção Civil para a reciclagem e/ou reaproveitamento de materiais.

O estudo foi dividido em duas partes, realizadas simultaneamente: levantamento de dados em campo e quantificação dos resíduos sólidos gerados na obra analisada, busca e análise de referencial acerca da reutilização do tipo de resíduo gerado.

99 SNIC, op. cit.

100 JOHN, V. M.; AGOPYAN, V. Reciclagem de resíduos da construção. **Seminário Reciclagem de Resíduos Sólidos Domésticos**, 2000.

101 ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15113**: Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação**.** Rio de Janeiro, 2004.

102 COELHO, A.; BRITO, J. Economic viability analysis of a construction and demolition waste recycling plant in Portugal e part I: location, materials, technology and economic analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 39, p. 338-352, 2013.

A caracterização da empresa prestadora de serviço foi realizada mediante consulta a documentos e conversas com o proprietário da empresa. A estimativa da quantidade de resíduos de alvenaria gerados nas obras, em especial cerâmica vermelha, foi feita levando-se em consideração a área de quebra das paredes dos edifícios, tendo-se o comprimento linear total de corte registrado na área privativa e na área comum da edificação pela largura e profundidade do corte em metros. Sabendo-se que a densidade do tijolo de cerâmica vermelha é de 1.400 kg/m^3, determina-se a massa aproximada do material recortado (resíduos gerados) para cada apartamento.

Na seleção bibliográfica foram realizadas pesquisas em bases de dados. As buscas foram realizadas no site Periódico CAPES e no conjunto de bases Google Acadêmico. Foram utilizadas as palavras-chaves: "Recycling", "Construction waste" e "Ceramics" na busca, com o operador "and" entre os termos. Seguindo a filtragem das referências, selecionou-se o tipo de documento, restringindo-se a artigos revisados por pares no período de 2009-2019. Por fim, foram analisados os resumos dos artigos filtrados, destacando apenas aqueles que apresentavam alternativa para o reaproveitamento de resíduos de cerâmica vermelha na Indústria da Construção Civil. Esses foram lidos e analisados integralmente.

4 RESULTADOS

4.1 CARACTERÍSTICAS DA EMPRESA

Para caracterização do estudo de caso, denominou-se a empresa analisada como "Empresa Alfa", registrada com as seguintes atribuições: instalação e manutenção elétrica como atividade econômica principal e sob os registros; comércio varejista de material elétrico; comércio varejista especializado de eletrodomésticos e equipamentos de áudio e vídeo; comércio varejista especializado de peças e acessórios para aparelhos eletroeletrônicos para uso doméstico, exceto informática e comunicação; comércio varejista de artigos de iluminação; e instalação de máquinas e equipamentos industriais, essas como atividades econômicas secundárias.

Os profissionais que atuam nas atividades da empresa executam atividades relacionadas à instalação elétrica há dez anos no município de Governador Celso Ramos, localizado no estado de Santa Catarina, como prestadores de serviços elétricos em edificações prediais, residenciais e comerciais, e registraram as atividades empresariais em 2014. Como planejamento estratégico, o tripé fundamental para o desenvolvimento empresarial "Missão; Visão e Valores" contribui para criar laços entre empresa, funcionários e clientes. São elas: Missão: Fazer instalações elétricas prediais, residenciais e comerciais com qualidade e eficiência, visando atender as necessidades de nossos clientes; Visão: Ser referência em qualidade de nossos serviços, através de práticas de melhoria contínua e de qualificação de nossos profissionais; e Valores: Eficiência, ética, união, responsabilidade e segurança.

Trata-se de empresa prestadora de serviços, sem se enquadrar como produtora de produtos, porém as atribuições proporcionam a geração de resíduos sólidos relacionados ao portfólio de atividades, tais como: sobras de fios elétricos, embalagens de produtos, cortes de alvenaria para a instalação de tubulações elétricas, entre outros.

4.2 GERAÇÃO E DESTINO DOS RESÍDUOS DE ALVENARIA

Atualmente a empresa pesquisada executa serviços em nove apartamentos localizados na praia de Palmas, município de Governador Celso Ramos (SC). Do total de obras, a selecionada para a pesquisa é um edifício multirresidencial, com três pavimentos, contendo nove apartamentos de oitenta e sete metros quadrados cada, e área comum destinada ao salão de festa com vinte metros quadrados de área equivalente. O sistema construtivo é convencional constituído de viga e pilar, com vedação em alvenaria de tijolo cerâmico vermelho, incluindo os muros de divisa e laje de concreto armado com isolamento de isopor, bem como a circulação vertical da edificação e o maciço da caixa d'água é vedado com bloco de concreto. Na Tabela 2 apresentam-se os valores encontrados na mensuração de cortes nas áreas privada e comum.

Tabela 2 – Volume de resíduos sólidos gerado no corte de alvenaria das unidades autônomas (apartamentos) e da área comum (salão de festa)

Dados	Área privada 87m²	Área comum 20m²
Comprimento (m)	102,53	15,60
Largura (m)	0,05	0,05
Profundidade (m)	0,02	0,02
Total (m^3)	0,10	0,02
Total (kg)	143,54	21,84
Total 9 unid (kg)	1.291,88	-
Total: 9 APTO +área comum (kg)		**1.313,72**

Fonte: Pesquisa de campo; Elaboração dos autores, 2019.

Como apresentado na Tabela 2, o apartamento usado como modelo para o presente estudo tem 87 m^2, onde 143,54 kg de resíduos são gerados do corte da alvenaria para a instalação das tubulações de eletrodutos. Ao multiplicar por nove unidades autônomas de apartamentos mais o resíduo gerado na área comum do salão de festas do prédio, que totaliza 21,84 kg, sendo também foi realizada a análise da quantidade de resíduo gerado de tijolos de cerâmica vermelha, chegou-se a 1.313,72 kg de resíduos produzido no corte das paredes do edifício.

O resíduo sólido do tijolo de cerâmica vermelha da alvenaria é classificado pela NBR 15113[103], como: Classe A – materiais com características de viabilidade de reutilização, podendo inclusive ser realocado dentro da própria obra. Quando a reutilização não ocorrer, devem ser encaminhados para unidades de reciclagem de materiais sólidos ou aterros próprios para materiais de construção civil, podendo ser dispostos para reciclagens ou reutilizações futuras[104].

4.3 DESCARTE DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

Os resíduos gerados dos recortes das alvenarias são empregados para nivelamento do subsolo dos prédios e para terreno, prática usual em todos os nove empreendimentos. Apesar de os empreendimentos possuírem papa-entulho,

103 ABNT, op. cit.

104 CONAMA, op. cit.

como mostra a Figura 2B, parte dos resíduos gerados tem destino prático, como demonstrado na Figura 2A, salvo exceções, tais como: gesso, latas de tinta, madeira, papelão e plástico.

Figura 2 – Figura 2A) Aterro do subsolo com resíduos sólidos;
Figura 2B) Resíduos de tijolo

Fonte: Autores, 2018.

Na Figura 2A, demonstra-se um dos destinos dados aos resíduos sólidos na obra analisada e misturados com terra para nivelamento, e posterior concretagem das lajes de baldrame. Outro destino na obra dado aos resíduos sólidos é para o nivelamento do entorno da edificação, incluindo terrenos circunvizinhos.

Não havendo mais a necessidade de aproveitamento do resíduo junto às dependências da obra, esse é colocado no "papa-entulho", *container* coletor, como mostra a Figura 2B, onde se verifica a ausência de separação de resíduos de tijolos cerâmicos da madeira, concreto, plástico e tubo de PVC.

5 DISCUSSÃO

A obra, que foi o objeto deste estudo, gera 1,3 tonelada de resíduos proveniente dos cortes feitos nas alvenarias para instalação de tubulações para fios elétricos, pouco mais de 140 kg para cada apartamento de 87 m^2 e 21 kg para a área comum. Desta forma, evidencia-se a necessidade de pesquisas em prol do reaproveitamento dos materiais.

Para a execução da atividade de instalação dos eletrodutos na alvenaria de tijolo cerâmico necessita-se de qualificação no que tange ao entendimento e leitura de projetos arquitetônico e civil, especialmente quando se objetiva evitar quebras desnecessárias, que alavanquem a quantidade de resíduos sólidos gerados, perda de produtividade e aumento dos custos, porém a alta rotatividade no quadro de funcionários em obras demonstra carência de ações que estimulem a diminuição na quantidade de quebras desnecessárias na alvenaria.

A principal técnica de reaproveitamento configura a produção de agregados granulados, onde há a classificação do resíduo, seguido por esmagamento e reutilização na construção civil, em especial para preenchimentos. Todavia, outras alternativas, muitas vezes mais interessantes economicamente e ambientalmente amigáveis, têm-se destacado nos últimos anos[105].

Em um estudo visando à substituição do agregado natural pelo agregado reciclado de cerâmica para a produção de argamassa, Andrade e colaboradores[106] evidenciaram que a força de adesão da argamassa com agregado reciclado foi maior que a da argamassa de referência (natural). As argamassas produzidas com agregados reciclados também apresentaram maior potencial de captação de CO2, sendo capazes de sequestrar até 170 g CO2/m^2 de revestimento. Assim, a utilização dos resíduos de tijolos cerâmicos com fonte de agregados de argamassa fina pode ser considerada uma alternativa válida e sustentável para uso na construção.

Há eficiência no uso de resíduos de tijolos como matérias-primas em espumas cerâmicas, com aplicações potenciais no isolamento térmico de paredes exteriores de edifícios[107]. A vitrificação de farelos dos resíduos

105 ANDRADE et al., op. cit.

106 Ibidem.

107 ZHU, L.; LI, S.; LI, Y.; XU, N. Novel applications of waste ceramics on the fabrication of foamed materials for exterior building walls insulation. **Construction and Building Materials**, n. 180, p. 291-297, 2018.

possibilita a fabricação de valiosos materiais vítreos, como esmaltes para revestimentos de cerâmicos[108].

A inserção de agregados dos resíduos cerâmicos e de concreto como matéria-prima para pavimentação asfáltica também se apresenta como alternativa viável para a reciclagem do material. Resultados obtidos por Tavira e colaboradores[109] mostraram a viabilidade de usar resíduos peneirados incorporados ao asfalto para pavimentação de ciclovias. A capacidade de carga e a evolução ao longo do tempo foram mais que suficientes, ultrapassando os limites estabelecidos por legislações para a construção de ciclovias.

Alternativas que tratam da reciclagem dos resíduos de cerâmica vermelha são: fabricação de materiais luminescentes em conjunto com óxido de zinco (ZnO) para a sinalização de estradas[110] e na absorção de resíduos radioativos, como isótopos de estrôncio, cobalto e níquel[111].

Essas pesquisas demonstraram subsídios para destino de resíduos sólidos de cerâmica vermelha de origem da construção civil, em acordo com a Agenda 2030, para os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS). Evidencia-se que, na Indústria da Construção Civil, destacam-se os objetivos da ODS número 9, item 9.4, qual seja, "modernizar a infraestrutura e reabilitar as indústrias para torná-las sustentáveis, com eficiência aumentada no uso de recursos e maior adoção de tecnologias e processos industriais limpos e ambientalmente adequados" e o objetivo número 12, item 12.5, que pleiteia "reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso"[112].

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Indústria de Construção Civil gera grande quantidade de resíduos de alvenaria, em especial cortes de cerâmica vermelha. Na obra analisada, evidenciou-se a geração de mais de 1,3 tonelada de resíduos, sendo parte desses resíduos

108 DOMINGUEZ, A.; DOMINGUEZ, M. I.; IVANOVA, S.; CENTENO, M. A.; ODRIOZOLA, J. A. Recycling of construction and demolition waste generated by building infrastructure for the production of glassy materials. **Ceramics International**, v. 42, p. 15217-15223, 2016.

109 TAVIRA et al., op. cit.

110 KLEPA et al., op. cit.

111 JELIC, I.; IVANOVIC, M. S.; DIMOVI'C, S.; ANTONIJEVI, D.; JOVI'C, M.; S'EROVIC, R.; SMI'CIKLAS, I. Utilization of waste ceramics and roof tiles for radionuclide sorption. **Process Safety and Environmental Protection**, n. 105, p. 348-360, 2018.

112 UNITED NATIONS, op. cit.

reaproveitada como substrato para nivelamento na obra. Entretanto, um volume significativo desses resíduos é destinado a aterros sanitários.

A reciclagem dos resíduos da construção civil pode proporcionar o reaproveitamento de milhares de toneladas de resíduos sólidos por ano. A sua reutilização diminui os impactos ambientais negativos e resulta em economia de recursos naturais, água e energia, tornando a indústria mais sustentável e incorporada na Agenda 2030[113].

Apesar das orientações do Programa Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS)[114], para a disposição final ambientalmente adequada de rejeitos gerados, grande parte desses resíduos é descartada incorretamente no meio ambiente. A recorrência dos envios dos resíduos sólidos para áreas ilegais é potencializada pela ausência de fiscalização dos órgãos ambientais, como o Instituto do Meio Ambiente (IMA). Além disso, o fato de a inclusão desses serviços de coleta e destino dos resíduos ficar a cargo do dono da obra, muitas vezes desconhecedor dos procedimentos de tratamento dos resíduos, somado à ausência de um responsável técnico ambiental, fomentam a má gestão dos resíduos da construção civil.

Por fim, evidencia-se a necessidade de ampliação dos estudos realizados no campo acadêmico sobre alternativas de reutilização dos resíduos cerâmicos para a Indústria da Construção Civil. Muitas das pesquisas realizadas, tais como: a que envolve a produção de argamassa, tijolos, ciclovias apresentam viabilidade econômica e ambiental, e são alternativas significativas para atribuir maior valor agregado aos resíduos cerâmicos e contribuir para o desvio de aterro desses materiais. As possibilidades de reuso aqui demonstradas mostram-se significativas para atribuir valor econômico, social e ambiental positivos aos resíduos além de contribuir para minimizar o desperdício de matéria-prima para outros produtos.

REFERÊNCIAS

ABI-EÇAB, P. C**.** Principais ameaças ao meio ambiente em terras indígenas. **Revista Internacional de Direito Ambiental e Políticas Públicas Macapá**, n. 3, p. 1-17, 2011.

ABNT. **NBR 15113:** Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação**.** Rio de Janeiro, 2004.

113 UNITED NATIONS, op. cit.

114 ABRELPE, op. cit.

ACQUAYE, A.; FENG, K.; OPPON, E.; SALHI, S.; IBN-MOHAMMED, T.; GENOVESE, A.; HUBACEK, K. Measuring the environmental sustainability performance of global supply chains**:** A multi-regional input-output analysis for carbon, sulphur oxide and water footprints. **Journal of Environmental Management**, v.187, 2017.

AHMED, L.; ZHANG, B.; HATANAKA, L. C.; MANNAN, M. S. Application of polymer nanocomposites in the flame retardancy study. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 55, n. May, p. 381-391, 2018.

AL-QADI, I.; OZER, H.; VÉLEZ-VEGA, E.; MURRELL, S. Airfield and Highway Pavements**. Pavement Innovation and Sustainability**, 2017.

ANDRADE, J. J. O.; POSSAN, E.; SQUIAVON, J. Z.; ORTOLAN, T. L. P. Evaluation of mechanical properties and carbonation of mortars produced with construction and demolition waste. **Construction and Building Materials,** n. 161, p. 70-83, 2018.

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2015**. Disponível em: <http://portalods.com.br/wp-content/uploads/2018/02/panorama2015.pdf>. Acesso em: 8 maio 2019.

BRASIL. Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Lei n. 12.305/2010. **Diário Oficial da União**, Brasília, p. 103, 2011.

CASAGRANDE JR., E. F. Inovação Tecnológica E Sustentabilidade: Possíveis Ferramentas Para Uma Necessária Inferface. **Revista EDUCAÇÃO & TECNOLOGIA**, 2004.

CEMBUREAU (Europa). **Cembureau**. Key facts. 2017. The European Cement Association. 2017. Disponível em: <https://cembureau.eu/cement-101/key-facts-figures/>. Acesso em: 4 abr. 2019.

COELHO, A.; BRITO, J. Economic viability analysis of a construction and demolition waste recycling plant in Portugal e part I: location, materials, technology and economic analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 39, p. 338-352, 2013.

CONAMA. **Resolução 307. 05/07/2002.** Dispõe sobre a gestão dos resíduos da construção civil. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/>. Acesso em: 18 nov. 2018.

CONTRERAS, A.; TEIXEIRA, S. R.; LUCAS, M. C.; LIMA, L. C. N.; CARDOSO, D. S. L.; SILVA, G. A. C.; GREGORIO, G. C.; DE SOUZA, A. E.; DOS SANTOS, A. Recycling of construction and demolition waste for producing new construction material (Brazil case-study). **Construction and Building Materials**, n.123, p.594-600, 2016.

DOMINGUEZ, A.; DOMINGUEZ, M. I.; IVANOVA, S.; CENTENO, M. A.; ODRIOZOLA, J. A. Recycling of construction and demolition waste generated by building infrastructure for the production of glassy materials. **Ceramics International**, v. 42, p. 15217-15223, 2016.

ESA, M.R.; HALOG, A.; RIGAMONTI, L. Strategies for minimizing construction and demolition wastes in Malaysia. **Resources, Conservation and Recycling**, n.120, p. 219-229, 2017.

EZ-ZAKI, H.; DIOURI, A.; KAMALI-BERNARD, S.; SASSI, O. Composite cement mortars based on marine sediments and oyster shell powder. **Materiales de ConstruCCión**, v. 66, n. 321, 2016.

FOLADORI, G.; TAKS, J. Um olhar antropológico sobre a questão ambiental. **Mana**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 2, p. 324-348, 2004.

GREGSON, N.; CRANG, M.; FULLER, S.; HOLMES, H. Interrogating the circular economy: the moral economy of resource recovery in the EU**. Economy and Society**, v. 44, n. 2, p. 218-243, 2015.

IBRAHIM, W. M. W.; HUSSIN, K.; ABDULLAH, M. M. M. A. B.; KADIR, A. A Geopolymer lightweight bricks manufactured from fly ash and foaming agent. **AIP Conference Proceedings**, v. 1835, 2017.

HENAO, R.; SARACHE, W.; GÓMEZ, I. Lean manufacturing and sustainable performance: Trends and future challenges. **Journal of Cleaner Production**, v. 208, p. 99-116, 2019.

HUANG, Y.; BIRD, R. N.; HEIDRICH, O. A review of the use of recycled solid waste materials in asphalt pavements. Resources. **Conservation and Recycling**, v. 52, n. 1, p. 58-73, 2007.

HUYSMANA, S.; DE SCHAEPMEESTER, J.; RAGAERT, K.; DEWULF, J.; DE MEESTER, S. Performance indicators for a circular economy: A case study on post-industrial plastic waste. **Resources, Conservation and Recycling**, n.120, p. 46-54, 2017.

JELIC, I.; IVANOVIC, M. S.; DIMOVI'C, S.; ANTONIJEVI, D.; JOVI'C, M.; S'EROVIC, R.; SMI'CIKLAS, I. Utilization of waste ceramics and roof tiles for radionuclide sorption. **Process Safety and Environmental Protection**, n.105, p. 348-360, 2018.

JOHNSON, C. N.; BALMFORD, A.; BROOK, B. W.; BUETTEL, J. C.; GALETTI, M.; GUANGCHUN, L.; WILMSHURST, J. M. Biodiversity losses and conservation responses in the Anthropocene. **Science**, v. 356, n. 6335, p. 270-275, 2017.

JOHN, V. M.; AGOPYAN, V. Reciclagem de resíduos da construção. **Seminário Reciclagem de Resíduos Sólidos Domésticos**, 2000.

KLEPA, R. B.; MDEIROS, M. F.; FRANCO, M. A. C.; TAMBERG, E. T.; FARIAS, T. M. B.; FILHO, J. A. P.; BERSSANETI, F. T.; SANTANA, J. C. C. Reuse of construction waste to produce thermoluminescent sensor for use in highway traffic control. **Journal of Cleaner Production**, n. 209, p. 250-258, 2019.

KUO, W. T.; WANG, H. Y.; SHU, C. Y.; SU, D. S. Engineering properties of controlled low-strength materials containing waste oyster shells. **Construction and Building Materials**, v. 46, p. 128-133, 2013.

LAURINDO, M. A viabilidade da economia circular à luz da política nacional de resíduos sólidos: **Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010.** 2016.

LENTON, T. M.; LATOUR, B. Gaia. 2.0. **Science**, p. 4-7, 2018.

LI, G.; XU, X.; CHEN, E.; FAN, J.; XIONG, G. Properties of cement-based bricks with oyster-shells ash. **Journal of Cleaner Production**, v. 91, p. 279-287, 2015.

LINTZ, R. C. C.; JACINTO, A. E. P. G. A.; PIMENTEL, L. L.; GACHET-BARBOSA, L. A. Study of the reuse of construction residues in concrete employed by blocks manufacture. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 5, n. 2, p. 166-173, 2012.

LIU, B.; ZHANG, Y.; LU, M.; SU, Z.; LI, G; JIANG, T. Extraction and separation of manganese and iron from ferruginous manganese ores: A review. **Minerals Engineering**, v. 131, n. 248, p. 286-303, 2019.

MARQUES, D. V.; BARCELOS, R. L.; PARMA, G. O. C.; GIROTTO, E.; JÚNIOR, A. C.; PEREIRA, N. C.; MAGNAGO, R. F. Recycled polyethylene terephthalate and aluminum anodizing sludge-based boards with flame resistance. **Waste Management**, v. 92, p. 1-14, 2019.

MARQUES, D. V.; BARCELOS, R. L.; MAGNAGO, R. F. Reuse of Post Consumer Polyethylene Terephthalate in the construction industry. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, 6., 2017. **Proceedings**... São Paulo, maio 2017.

MAURY, M. B.; BLUMENSCHEIN, R. N. Produção de cimento: Impactos à saúde e ao meio ambiente. **Sustentabilidade em Debate**, Brasília, v. 3, n. 1, p. 75-96, 2012.

MEADOWS, D. H.; MEADOWS, D. L.; RANDERS, J.; BEHRENS III, W. W. **Limites do Crescimento**: Um relatório para o projeto do Clube de Roma sobre o dilema da humanidade. São Paulo: Editora Perspectiva, 1973.

MIOLA, D. T. B.; MARINHO, A. P.; DAYRELL, R. L. C.; SILVEIRA, F. A. O. Silent loss: Misapplication of an environmental law compromises conservation in a Brazilian biodiversity hotspot. **Perspectives in Ecology and Conservation**, p. 1-6, 2019.

OSSA, A.; GARCIA, J. L.; BOTERO, E. Use of recycled construction and demolition waste (CDW) aggregates: A sustainable alternative for the pavement construction industry. **Journal of Cleaner Production**, n.135, p.379-386, 2016.

PARIS, J. M.; ROESSLER, J. G.; FERRARO, C. C.; DEFORD, H. D.; TOWNSEND, T. G. A review of waste products utilized as supplements to Portland cement in concrete. **Journal of Cleaner Production**, v. 121, p. 1-18, 2016.

PASCHOLIN FILHO, J.A.; STOROPOLI, J.H.; DIAS, A. J. Evaluation of compressive strength and water absorption of soil-cement bricks manufactured with addition o PET (polyethylene terephthalate). **Acta Scientiarum Technology**, v. 38, n. 2, p. 163-171, 2016.

PAULI, G. U. The road to zero emissions: More jobs, more income and no pollution. **Routledge**, 2017.

RANJAN, R. Assessing the impact of mining on deforestation in India. **Resources Policy**, v. 60, n. July 2018, p. 23-35, 2019.

ROCKSTRÖM, J.; STEFFEN, W.; NOONE, K.; PERSSON, A.; CHAPIN, F. S.; LAMBIN, E. F.; FOLEY, J.A. A safe operating space for humanity. **Nature**, v. 461, n. 7263, p. 472-475, 2009.

SACHS, I. **Ecodesenvolvimento.** IV Bienal Internacional do Livro de Alagoas. 2009.

SCHERRER, A.; DA SILVA, J. L. G.; DE BRITO, L. A. P. F. Estudo da influência do crescimento da construção civil na deposição de resíduos sólidos: estudo de caso no município de Caraguatatuba. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 10, n. 2, p. 243-263, 2014.

SNIC (Brasil). Relatório Anual 2013. **Sindicato Nacional da Indústria do Cimento**, p. 40, 2013.

STOLZ, J.; BOLUK, Y.; BINDIGANAVILE, V. Mechanical, thermal and acoustic properties of cellular alkali activated fly ash concrete. **Cement and Concrete Composites**, v. 94, p. 24-32, 2018.

TAVIRA, J.; JIMENEZ, J. R.; AYUSO, J.; LÓPEZ-UCEDA, A.; LEDESMA, E. Recycling screening waste and recycled mixed aggregates from construction and demolition waste in paved bike lanes. **Journal of Cleaner Production**, v. 190, p. 211-220, 2018.

TEUBER, L.; OSBURG, V.S.; TOPOROWSKI, W.; MILITZ, H.; KRAUSE, A. Wood polymer composites and their contribution to cascading utilisation. **Journal of Cleaner Production**, v. 110, n. 1, p. 9-15, 2016.

TOSTÕES, Ana. **Construção moderna:** as grandes mudanças do século XX. Disponível em: <http://www.4eetcg.uepg.br/oral/22_1.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2018.

UNITED NATIONS. Department of Economic and Social Affairs, P. D. W. **World Population Prospects The 2017 Revision**, n. 1385, p. 302, 2017.

_____. **Transforming our world**: the 2030 Agenda for Sustainable Development. 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>. Acesso em: 4 abr. 2019.