



PANORAMA DO COPROCESSAMENTO DE RESÍDUOS EM FORNOS DE CIMENTO NO BRASIL

AN OVERVIEW OF WASTE COPROCESSING IN CEMENT KILNS IN BRAZIL

Arnaldo Forti Battagin(1), Fernando Dalbon Cardoso (2)

(1) Gerente de Tecnologia, Associação Brasileira de Cimento Portland.

(2) Engenheiro Ambiental, Associação Brasileira de Cimento Portland.

Avenida Torres de Oliveira, 76 Jaguaré CEP 05347-902 São Paulo, SP.

Resumo

A técnica do coprocessamento é uma tecnologia amplamente utilizada na Europa, Estados Unidos e Japão e consiste na destruição dos resíduos nos fornos durante o processo de produção do cimento, resíduos que substituem parte da matéria-prima e principalmente parte dos combustíveis fósseis não renováveis, sem alterar a qualidade do cimento. Trata-se de uma atividade regulamentada pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama) e incorporada à PNRS, Política Nacional de Resíduos Sólidos. A indústria brasileira de cimento desde o final dos anos 90 coloca seus fornos à disposição de diversos setores para a eliminação de resíduos industriais.

Este trabalho apresenta um panorama estatístico dos diferentes tipos de resíduos destruídos nos fornos de cimento. Do total de resíduos coprocessados utilizados, os combustíveis alternativos (resíduos+biomassa) representaram 85% e as matérias-primas alternativas 15%, em toneladas, correspondendo a um índice de substituição térmica de 11,3%. Dos resíduos destruídos, salientam-se os pneus. Estes quando expostos a céu aberto podem levar até 100 anos para se degradar e representam um problema ambiental e de saúde pública. O coprocessamento é a melhor alternativa de destruição definitiva de pneus inservíveis. Um único forno, com capacidade de produção diária de mil toneladas de clínquer, pode consumir até cinco mil pneus por dia. As 297 mil toneladas de pneus inservíveis coprocessados em 2016, corresponderam a cerca de 59 milhões de pneus.

Finalmente diversos estudos mostraram que os elementos menores incorporados no clínquer coprocessado ficam em solução sólida na estrutura de silicato de cálcio e, dessa forma, não são lixiviados do concreto e também não influem no desempenho do cimento, nem na durabilidade do concreto

Palavra-Chave: sustentabilidade, resíduos, fabricação de cimento, coprocessamento, meio ambiente

Abstract

Coprocessing is a widely used technology in Europe, the United States and Japan, and consists of the destruction of waste in the cement kilns during the cement production process, by replacing part of the raw material and mainly part of the non-renewable fossil fuels, without changing the quality of the cement. It is an activity regulated by the National Environment Council (Conama) and incorporated into the PNRS, National Policy on Solid Waste. The Brazilian cement industry since the end of the 90s has made its kilns available to several industrial sectors for the disposal of wastes.

This paper presents a statistical overview of the different types of waste destroyed in cement kilns. Of the total coprocessed waste, alternative fuels (waste + biomass) represented 85% and alternative raw materials 15%, in tonnes, corresponding to a thermal substitution index of 11.3%. Of the wastes destroyed, the tires are the most important. When exposed to environment, they can take up to 100 years to be degraded and represent an environmental and public health problem. Coprocessing is the best alternative for permanent destruction of waste tires. A single kiln, with a daily production capacity of 1,000 tons of clinker, can consume up to 5,000 tires per day. The 297 thousand tons of waste tires in 2016, corresponded to destruction of about 59 million tires. Finally, several studies have shown that the minor elements incorporated into the coprocessed clinker are in solid solution in the structure of calcium silicate and, therefore, they are not leached from the concrete and also do not influence the cement performance nor the durability of the concrete

Keywords: sustainability, wastes, cement manufacturing, co processing, environment



1 Introdução

A geração de resíduos é um dos maiores problemas da sociedade atual e representa uma preocupação crescente em todo o mundo.

O tema tem merecido atenção constante do Governo, do setor produtivo e da sociedade civil, em busca de soluções para o manejo e a destinação adequados dessas substâncias.

Em particular, os setores produtivos em suas diferentes especialidades, vêm procurando continuamente meios para uma destinação adequada de seus resíduos. Esses setores, atentos às premissas de preservação do meio ambiente e cumprimento das legislações aplicáveis, encontram no coprocessamento nos fornos de cimento uma alternativa que contribui para a competitividade e continuidade dos seus negócios ao promover a destruição completa dos resíduos gerados durante sua produção industrial.

Calcário e argilas são as matérias-primas tradicionais que são queimadas nos fornos de cimento para obtenção do clínquer, o qual depois de resfriado e devidamente moído com outras adições resultam nos diferentes tipos de cimento portland. No coprocessamento destroem-se os resíduos e economizam-se matérias-primas e combustíveis, contribuindo para a sustentabilidade sendo, portanto, também uma vantagem para o produtor de cimento (BATTAGIN & RODRIGUES, 2012).

O coprocessamento pode ser definido como tecnologia de queima de resíduos em fornos de cimento, tecnologia essa, que não gera novos resíduos e contribui para a preservação de recursos naturais, por substituir matérias-primas e combustíveis tradicionais no processo de fabricação do cimento

Em prática no Brasil há vários anos e amparado pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS, 2010), sancionada em 2010, o coprocessamento de resíduos em fornos de cimento constitui uma das soluções para o problema de disposição correta de resíduos.

Trata-se de uma interação ambientalmente segura do processo de fabricação do cimento com resíduos industriais e, também, uma alternativa economicamente competitiva com relação a outras disponíveis, pois se caracteriza pela destruição total de grandes volumes de resíduos, sem geração de novos passivos ambientais.

O coprocessamento permite que a indústria do cimento desempenhe papel preponderante no gerenciamento de resíduos sólidos de outros setores industriais como uma alternativa ambientalmente sustentável e economicamente viável, em condições estritamente controladas, dentro do marco regulador existente, como esquematiza a Figura 1.



Figura 1 – Origem dos principais resíduos destinados ao coprocessamento nos fornos de cimento
Fonte: autores

2 Vantagens da técnica de coprocessamento nos fornos de cimento

Os fornos de cimento reúnem as condições adequadas e necessárias para a destruição de resíduos por meio do coprocessamento. Dentre essas características merecem destaque os seguintes parâmetros (Ferrari, 2002):

- Altas temperaturas e longo tempo de residência
- Alta turbulência dos gases
- Ambiente alcalino e oxidante
- Estabilidade térmica
- Utilização de tecnologias e instalações existentes

Essas condições levam à destruição total dos resíduos sem geração de novos resíduos, com eventuais cinzas sendo incorporadas ao clínquer. Além disso, concorre para a substituição de recursos energéticos não renováveis, constitui ferramenta sustentável para gestão de resíduos, auxilia na preservação de jazidas, na redução da pegada ambiental das atividades extrativas, na redução das emissões de CO₂ e na geração de novos empregos.

3 Tipos de resíduos passíveis de coprocessamento

Com a entrada em vigor da Resolução CONAMA Nº 264 (Conama, 1999) ocorreu uma regulamentação sobre procedimentos exigidos para o coprocessamento em fornos de clínquer e entre outras deliberações, essa resolução disciplinou os tipos de resíduos que podem ser utilizados. Destacam-se como resíduos passíveis de coprocessamento e substitutos de combustíveis tradicionais os seguintes (ABCP, 2012a):



- Solos contaminados com óleo, resíduos petroquímicos,
- Polipropileno, polietileno, poliestireno, PVC, poliéster e acrílico,
- Corantes, tintas e vernizes,
- Catalisadores usados,
- Produtos fotográficos,
- Materiais de refino,
- Látex, colas, madeira contaminadas,
- Embalagens de produtos químicos,
- Lodo de esgoto,
- Solventes, resíduos oleosos e resíduos têxteis,
- Óleos usados (de carro e fábricas),
- Graxas, lamas de processos químicos e de destilação,
- Resíduos de empacotamento e de borracha.
- Resíduos plásticos, de serragem e de papel,
- Ossos de animais e grão vencidos, entre outros

Mas são os pneus inservíveis que constituem atualmente o principal resíduo coprocessado. Esse fato decorre do coprocessamento ser a melhor alternativa de destruição definitiva desses pneus inservíveis. Um único forno, com capacidade de produção diária de mil toneladas de clínquer, pode consumir até cinco mil pneus por dia. Vale lembrar que os pneus expostos a céu aberto podem levar de 100 a 600 anos para se degradar e representam um problema ambiental e de saúde pública, pois propiciam o aparecimento de focos da dengue e estão sujeitos a riscos de incêndios (WBCSD, 2009).

Já os principais tipos de resíduos substitutos de matérias primas são (ABCP, 2016):

- Lama com alumina (alumínio)
- Lamas siderúrgicas (ferro)
- Areia de fundição (sílica)
- Terras de filtração (sílica)
- Refratários usados (alumínio)
- Resíduos da fabricação de vidros (flúor)
- Gesso
- Cinzas
- Escórias

Alguns tipos de resíduos não podem ser coprocessados por razões ligadas a sua composição química e aos impactos ambientais decorrentes. Assim, o coprocessamento não é indicado para esses resíduos, sendo explicitamente proibidos pela legislação atual os resíduos do tratamento de sais de mercúrio, cádmio, tálio, resíduos radioativos, resíduos de serviço de saúde, resíduos de substâncias explosivas, resíduos de substâncias organoclorados, resíduos de agrotóxico e resíduo domiciliar bruto.



4 Coprocessamento- uma técnica regulamentada

As atividades de coprocessamento de resíduos iniciaram-se no Brasil na década de 90 nas regiões Sul e Sudeste, estando regulamentadas pelas agências ambientais estaduais desde 1998. Algumas desses regulamentos experimentaram revisões sendo os seguintes os vigentes: Minas Gerais (COPAM 154/2010), Paraná (SEMA 054/2006 e CEMA 076 - 2009), Rio Grande do Sul (FEPAM 01/99) e São Paulo (CETESB P4.263/2003).

Em âmbito nacional, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) publicou em 1999 a Resolução 264, englobando as linhas gerais do coprocessamento e os limites de emissão de material particulado, metais e outros poluentes. A Resolução 316/2002 para sistemas de tratamento térmico constituiu importante complemento a essa regulamentação, estabelecendo limites de emissão para dioxinas e furanos para os fornos que coprocessam resíduos. Sem dúvida, outro grande impulso foi promulgação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12305), em 2010 (PNRS, 2010) que proibiu a disposição em aterros de resíduos passíveis de recuperação energética, desde que comprovada sua viabilidade técnica e ambiental. A Lei exige a implantação de programa de monitoramento de emissão de gases tóxicos aprovado pelo órgão ambiental e o coprocessamento em fornos de cimento cumpre esses requisitos.

5 Premissas para obtenção do licenciamento ambiental

Para exercer a atividade de coprocessamento as fábricas de cimento devem obter um licenciamento após demonstrar atendimento à legislação federal nos Estados que não tenham regulamentação específica ou às estaduais, consideradas mais restritivas. Os resíduos a serem coprocessados em fornos de cimento devem atender a vários critérios, tais como, não causar impactos ambientais, não interferir no processo de fabricação, não alterar a qualidade do cimento e não provocar danos à saúde.

Esses critérios básicos definidos pelas legislações para o coprocessamento são descritos mais detalhadamente a seguir:

- **Não causar impacto ambiental** - aspecto relacionado principalmente às eventuais consequências da queima do resíduo a depender da sua natureza e a quantidade de emissões do forno. O monitoramento dessas emissões pode ser realizado de forma contínua ou não contínua, neste último caso obedecendo à periodicidade predefinida pela legislação. Sempre deve atender aos limites máximos de emissões estabelecidos pelas próprias legislações.
- **Não interferir no processo de fabricação** - problemas operacionais nos fornos devem ser prevenidos pela adoção de técnicas apropriadas para evitar, por exemplo, formações de incrustações, desgaste prematuro do revestimento refratário, oscilações na zona de queima, entre outros.
- **Não alterar a qualidade do cimento** - a incorporação no clínquer de elementos menores provenientes dos resíduos deve ser controlada para evitar características



do clínquer que influam na cinética de hidratação e na qualidade, desempenho e durabilidade do cimento.

- **Não provocar danos à saúde ocupacional** - sistemas e equipamentos de controle, manuseio e proteção do trabalhador devem ser implantados e operacionalizados.
- **Finalidade do aproveitamento do resíduo** - Os resíduos só poderão ser utilizados como combustíveis alternativos quando apresentem valor adequado de poder calorífico ou como substitutos de matérias primas.
A resolução Conama 264 estabelece ainda outros condicionantes para o licenciamento dos fornos tais como testes de queima, testes em branco, vazões e controle de emissões atmosféricas, demonstrando que a atividade do coprocessamento é segura do ponto de vista ambiental, laboral e de saúde do trabalhador e dos habitantes do entorno das fábricas de cimento.

6 Panorama estatístico do coprocessamento

Com o objetivo de divulgar as quantidades de resíduos que são destruídas nos fornos de cimento a ABCP- Associação Brasileira de Cimento Portland, por meio dos autores deste artigo, vem realizando inventários periodicamente (ABCP, 2016).

O modelo de coleta dos dados utilizado tem como referência a metodologia preconizada no programa *Getting the Numbers Right* (GNR) desenvolvido pela *Cement Sustainability Initiative* (CSI) do *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD). Para a coleta de dados, contou-se com o apoio dos grupos empresariais produtores de cimento Portland instalados no Brasil, que forneceram as informações que estão divulgadas neste trabalho de forma consolidada. Os dados obtidos possuem como data base o ano de 2016.

Em 2016, das plantas integradas que possuem fornos rotativos para a produção de clínquer, 38 são plantas com um ou mais fornos licenciados para o coprocessamento de resíduos, o que representa quase 70% do parque industrial brasileiro (ABCP, 2016)

No período de 2000 a 2016 houve aumento na destruição de resíduos em fornos de cimento da ordem de 500%. Constata-se uma evolução da quantidade de resíduos utilizados ao longo dos anos com um grande avanço a partir de 2006. Em 2016, atingiu-se o patamar de 940 mil toneladas de resíduos coprocessados, com declínio em relação aos anos imediatamente anteriores, como mostra a Figura 2 e resultado da crise econômica por que passa o País.

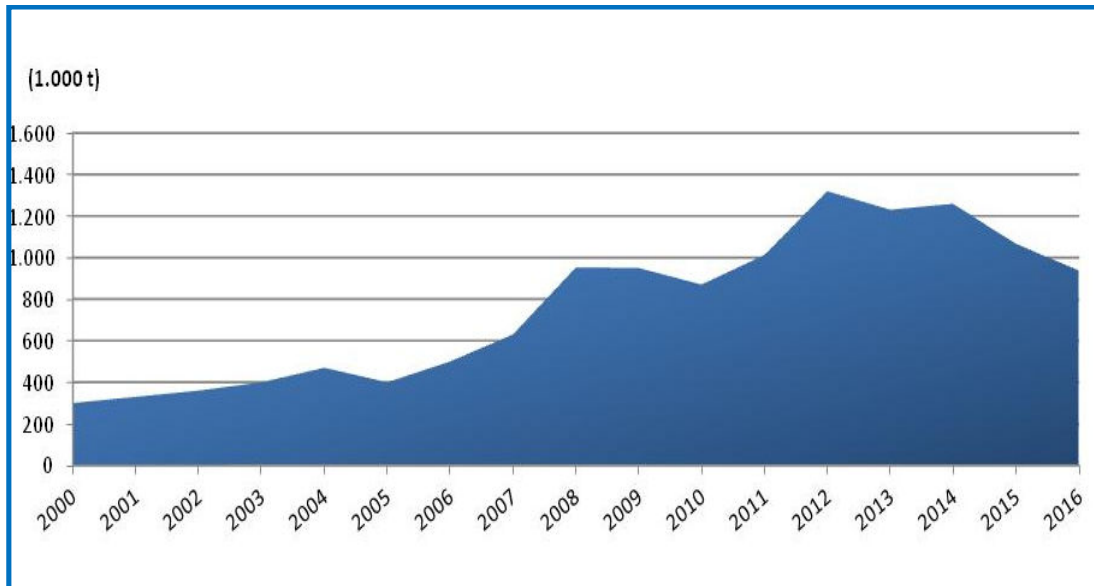


Figura 2- Evolução da quantidade de resíduos coprocessados desde o ano 2000 (Fonte: autores)

O perfil dos combustíveis e matérias-primas alternativas coprocessadas em 2016 é mostrado na Figura 3. Observa-se que do total de resíduos coprocessados, aqueles que constituem combustíveis alternativos representaram 85% e as matérias-primas alternativas 15%, em toneladas, correspondendo a um índice de substituição térmica de 11,3% do combustível tradicional.



Figura 3- Perfil dos resíduos coprocessados em 2016 (quantidade em massa) Fonte: autores

Do total de resíduos com poder calorífico coprocessados, isto é, aqueles que substituem os combustíveis tradicionais, os pneus se destacam como o principal combustível alternativo, abrangendo 40% dos resíduos, seguido pelo *blend* de resíduos com participação de 39%, sendo esse *blend* uma mistura de diferentes resíduos que são entregues já beneficiados nas fábricas de cimento. A Figura 4 mostra essa distribuição em porcentagem de calor gerado.

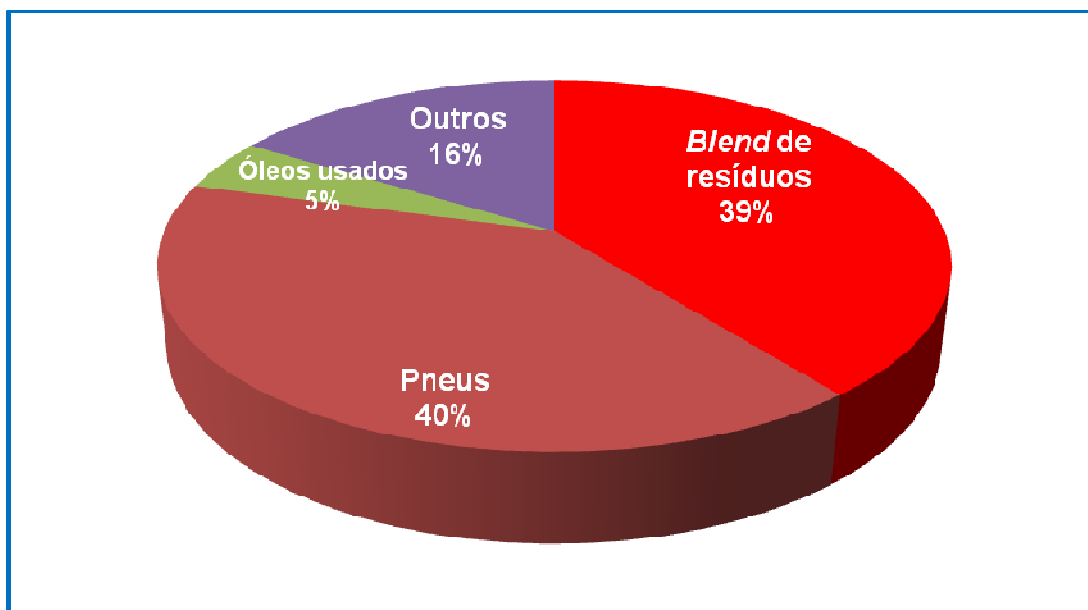


Figura 4- Perfil porcentual dos resíduos com poder calorífico (quantidade em calor gerado)
Fonte: autores

A Figura 5 mostra a evolução da quantidade de pneus inservíveis coprocessados, sendo que em 2016 esse número alcançou o total de 297 mil toneladas de pneus, correspondendo ao equivalente a 59,4 milhões de pneus, tomando-se como base que o peso médio de um pneu automotivo inservível é de 5kg de borracha.

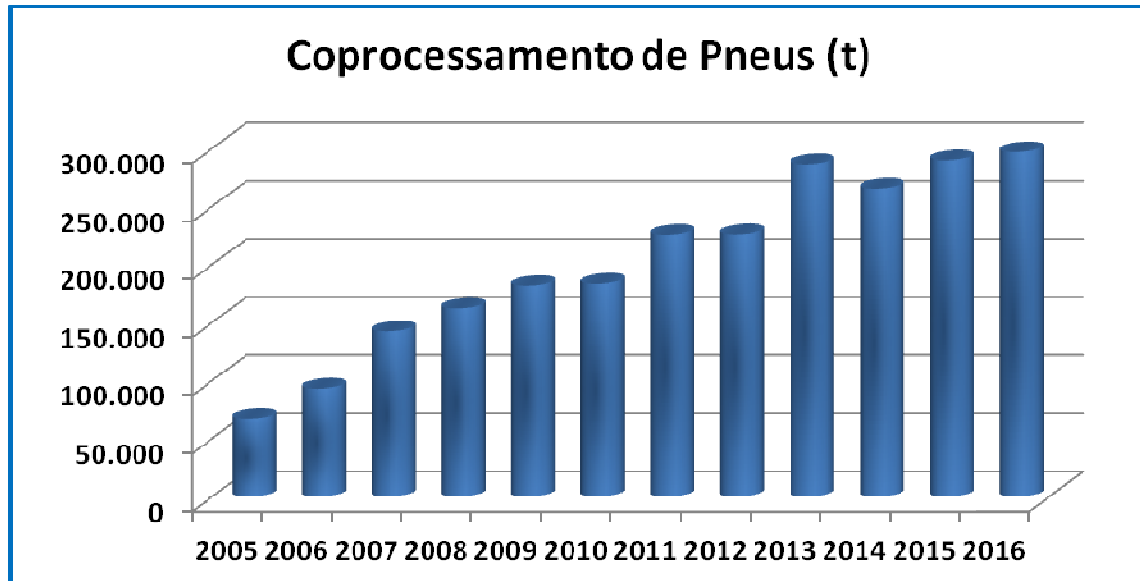


Figura 5- Evolução da quantidade de pneus inservíveis coprocessada. Fonte: autores

Os resíduos de biomassa, embora ainda pouco expressivos se comparados aos demais resíduos coprocessados, foram apontados por estudos nacionais e internacionais como tendo grande potencial de crescimento no Brasil devido a sua vocação agrícola e importância do agro –negócio no cenário econômico do País. Os resíduos de biomassa representam 4% em poder calorífico (kcal/kg) dos resíduos com potencial energético utilizados como coprocessamento.

A Figura 6 mostra a distribuição dos tipos de resíduos de biomassa levantados por esse inventário.

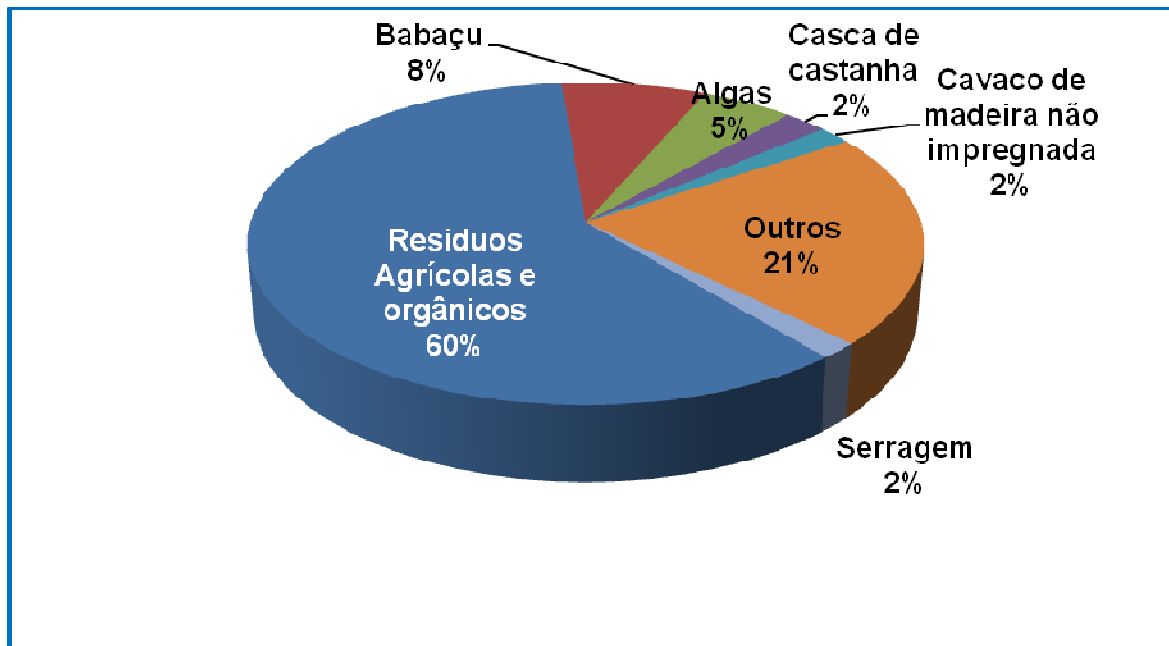


Figura 6- Perfil dos resíduos de biomassa coprocessados em 2016 (quantidade em massa).
Fonte: autores

A Figura 7 sintetiza a distribuição quantitativa dos tipos de resíduos coprocessados em 2016 e substitutos das matérias primas convencionais (calcários e argilas).

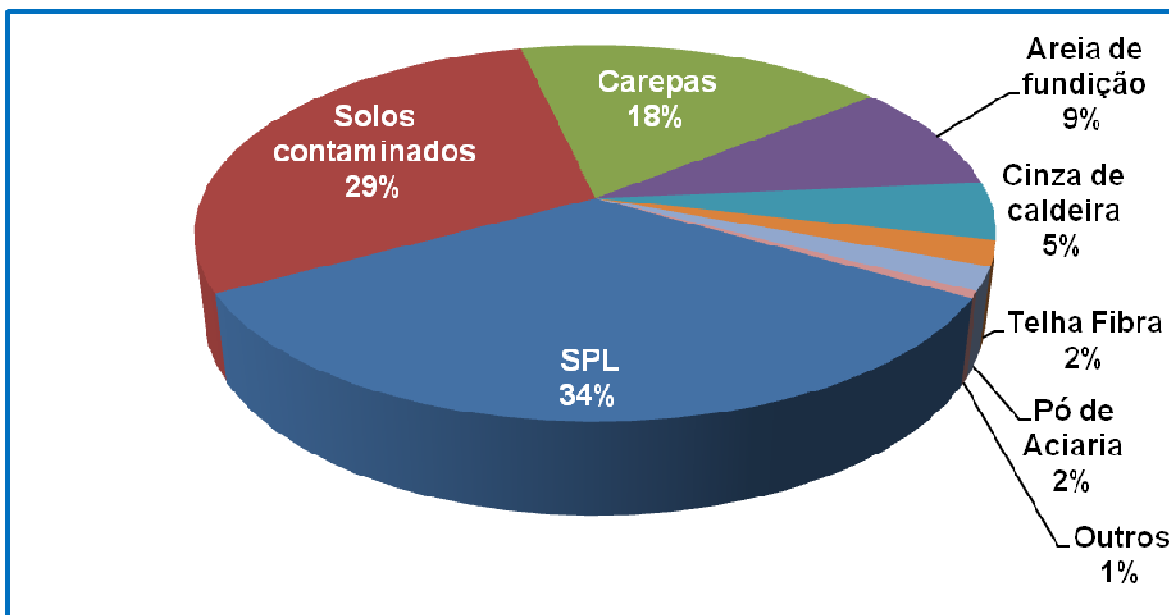


Figura 7- Perfil percentual dos resíduos coprocessados usados como substitutos de matéria prima
Fonte: autores



7 O coprocessamento, a qualidade do cimento e a durabilidade do concreto

A produção de cimento exige um controle químico rigoroso dos principais compostos: CaO, SiO₂, Fe₂O₃ e Al₂O₃, bem como outros constituintes menores, como SO₃, K₂O, Na₂O, TiO₂) entre outros.

Matérias-primas e combustíveis alternativos derivados de resíduos devem ser usados em quantidades e proporções com outras matérias-primas convencionais, a fim de alcançar o equilíbrio desejado de composição do clínquer. Um trabalho significativo foi realizado por vários grupos, incluindo a indústria, universidades, centros de pesquisa e governos, para entender o efeito dos combustíveis e materiais alternativos sobre o produto final, o concreto (CSI, 2014). Esta não é uma questão nova e o tema tem sido objeto de inúmeras pesquisas nos últimos 25 anos (CEMBUREAU, 2005; CEN, 1999;) Especificamente, havia preocupação de que alguns constituintes contidos em alguns resíduos que são recuperados para uso como matérias-primas ou combustível poderiam influenciar as propriedades do concreto ou serem lixiviados durante o uso da estrutura de concreto, uma vez que o concreto é um componente importante da construção residencial.. Os estudos mostraram que os elementos menores no cimento ficam em solução sólida na estrutura de silicato de cálcio e, dessa forma, não são lixiviados do concreto. Resultados semelhantes foram relatados em muitos outros estudos (Germaneau et alii, 1993) Assim, o cimento fabricado a partir dos tipos de resíduos descritos na seção 3 não altera o desempenho ou as características do cimento ou do concreto, embora altos níveis de alguns componentes menores possam afetar o desempenho do cimento, a sua cinética de hidratação e o fabricante precisa tomar cuidado para que limites específicos não sejam excedidos. Particularmente com relação a cloretos não deve haver preocupação, pois os resíduos contendo cloretos não são coprocessados, uma vez que causam problemas operacionais com entupimentos dos equipamentos de produção. O mesmo se aplica a eventual presença de sulfatos nos resíduos, pois devem ser obedecidos os limites máximos de SO₃ nas especificações normativas de cimento, sejam esses teores provenientes da incorporação de SO₃ pelo clínquer ou provenientes do retardador de pega.

8 Conclusões

Existe um potencial atual para coprocessamento de 2,5 milhões de toneladas /ano de resíduos pelas 38 fábricas de cimentos licenciadas para a atividade o que poderia mais que dobrar a quantidade anual coprocessada.

De todos os resíduos, os RSU (resíduos sólidos urbanos) aparecem como os com maior potencialidade de crescimento. De fato sua utilização no Brasil ainda é inexpressiva, quando comparada com a realidade de outros países, principalmente europeia, como Alemanha, Reino Unido, Polônia, Áustria, etc. Constitui alternativa vantajosa com relação



Anais do
60º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2018
Setembro / 2018



@ 2018 - IBRACON - ISSN 2175-8182

à disposição em aterros, com elevado grau de esgotamento ou a incineração, que gera outros resíduos. Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe), todos os anos são gerados cerca de 80 milhões de toneladas de RSU (Abrelpe, 2017), com tendência de crescimento e o coprocessamento , regulamentado com legislação específica , poderia contribuir para a redução do impacto ambiental das áreas de disposição como também para redução do próprio passivo ambiental Existe um potencial de crescimento do coprocessamento de biomassa bem como de medicamentos vencidos a depender de ações de estímulo e entendimentos a serem desenvolvidos, ambas modalidades contribuindo para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa.

Finalmente, não deve haver preocupação por parte dos usuários quanto à qualidade do cimento que contem clínquer coprocessado, pois uma das premissas para obtenção do licenciamento é a preservação da qualidade do produto final . A eventual incorporação no clínquer de elementos menores provenientes dos resíduos deve ser controlada para evitar características do clínquer que influam na cinética de hidratação, na qualidade e no desempenho do cimento e também durabilidade do concreto.

8 Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - **Contribuição efetiva da indústria do cimento para a sustentabilidade**. São Paulo, 2012 Disponível em: http://coprocessamento.org.br/cms/wp-content/uploads/2012/10/Coprocessamento_ago12.pdf. Acessado em 20.3.2018

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – **Panorama do coprocessamento 2016**, São Paulo, 2017 . Disponível em: http://coprocessamento.org.br/cms/wp-content/uploads/2017/01/Panorama-coprocessamento_2016-1.pdf. Acessado em 20.5.2018

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS **Panorama de resíduos sólidos no Brasil, 2016** . São Paulo, 2017 Disponível em http://www.abrelpe.org.br/panorama_apresentacao.cfm. Acessado em 24.5.2018

BATTAGIN, A.F. e RODRIGUES,H. **Guia básico de utilização do Cimento Portland**, ABCP, São Paulo, 2012

CEMBUREAU **Trace Elements Leaching from Concrete and the Use of Alternative Resources**, Bruxelas, 2005. Publicação interna



Anais do
60º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2018
Setembro / 2018



@ 2018 - IBRACON - ISSN 2175-8182

COMITÉ EUROPEU DE NORMALIZAÇÃO (CEN). **A study of the characteristic leaching behavior of hardened concrete for use in the natural environment.** Report of the Technical Committees CEN/TC51 and CEN/TC 104. 59p, 1999.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE **Resolução Conama nº 264, de 26 de agosto de 1999.** Brasília, 1999. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=262> .Acessado em 20.1.2018

CEMENT SUSTAINABILITY INITIATIVE. **Guidelines for Co-Processing Fuels and Raw Materials in Cement Manufacturing.** Genebra, 2014

FERRARI, R. **Coprocessamento de resíduos industriais em fornos de clínquer.** Companhia de Cimento Itambé. Balsa Nova, 2002

GERMANEAU B., B. BOLLOTTE, C. DEFOSSÉ.. **Leaching of Heavy Metals by Mortar Bars in Contact with Drinking and Deionized Water.** Portland Cement Association Symposium – Concrete in the global environment, Chicago, 1993.

POLITICA NACIONAL DE RESIDUOS SÓLIDOS -**Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010.** Brasília, 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm .Acessado em 14.04.2018