Perfil dos resíduos industriais enviados às blendeiras fluminenses para tratamento destinado ao coprocessamento

Diversos setores da indústria e do comércio brasileiros têm destinado os seus resíduos para serem tratados em unidades de homogeneização e mistura no Estado do Rio de Janeiro conhecidas como blendeiras. O presente estudo tem como objetivo traçar um perfil das principais características dos resíduos industriais que são enviados às blendeiras para tratamento, visando o seu aproveitamento como combustível e matéria-prima na produção de clínquer. A metodologia consistiu, primeiramente, na busca de documentos que constam do processo de licenciamento e controle ambiental no órgão licenciador dessas unidades. Baseado nas informações obtidas nos registros de movimentações de resíduos dos anos de 2010 a 2015, foi realizada a classificação pela origem, de acordo com o Estado da federação, por estado físico, por quantidade, pela NBR ISO 10004, abrangendo a classe e o tipo de periculosidade e, por fim, a sua potencial utilidade no coprocessamento. Também foram registrados: o percentual dos principais produtos da blendagem e os destinos dos resíduos e rejeitos gerados no processo. Como resultado obteve-se o seguinte perfil: os resíduos são originados, majoritariamente, no Estado de São Paulo, pelo setor portuário. Apresentam-se, em sua maioria, no estado sólido, e classificam-se como perigosos e tóxicos e, serão utilizados, principalmente, para geração de energia. Conclui-se que o perfil esboçado contribuiu significativamente para o entendimento da toxicidade desses resíduos e servirá como base para outros estudos que abordem os impactos ambientais e à saúde humana na cadeia do coprocessamento.

Palavras-chave: Resíduos Industriais; Classificação; Toxicidade; Blendagem; Coprocessamento.

Profile of industrial waste sent to the fluminense blenders for treatment intended for co-processing

Several sectors of Brazilian industry and commerce have destined their residues to be treated in homogenization and mixing units in the State of Rio de Janeiro known as blenders. The present study aims to outline a profile of the main characteristics of industrial waste that are sent to blending plants for treatment, aiming at their use as fuel and raw material in the production of clinker. The methodology consisted, first, in the search for documents that are part of the licensing and environmental control process in the licensing agency of these units. Based on the information obtained in the records of waste movements from the years 2010 to 2015, classification by origin was made, according to the state of the federation, by physical state, by quantity, by NBR ISO 10004, covering the class and type dangerousness and, finally, its potential usefulness in co-processing. The following were also recorded: the percentage of the main blending products and the destinations of the residues and tailings generated in the process. As a result, the following profile was obtained: the waste originates, mostly, in the State of São Paulo, through the port sector. Most of them are presented in solid state, and are classified as dangerous and toxic and will be used mainly for power generation. It is concluded that the outlined profile contributed significantly to the understanding of the toxicity of these residues and will serve as a basis for other studies that address the environmental and human health impacts in the co-processing chain.

Keywords: Industrial waste; Classification; Toxicity; Blending; Co-processing.

Topic: **Engenharia Ambiental**

Received: **06/07/2021**

Approved: **28/07/2021**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

David Barreto de Aguiar

Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/7229051875249959>

<http://orcid.org/0000-0003-1233-0253>

david.aguiar@ifrrj.edu.br

Ubirajara Aluizio de Oliveira Mattos

Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/4965089463046103>

<http://orcid.org/0000-0002-2689-2110>

ubirajaraaluizio@yahoo.com.br

Victor Paulo Peçanha Esteves

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/7858887034547590>

<http://orcid.org/0000-0002-6812-4558>

victoresteves@poli.ufrj.br

DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2021.007.0022

Referencing this:

AGUIAR, D. B.; MATTOS, U. A. O.; ESTEVES, V. P. P.. Perfil dos resíduos industriais enviados às blendeiras fluminenses para tratamento destinado ao coprocessamento. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.7, p.236-243, 2021. DOI:

<http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.007.0022>

INTRODUÇÃO

A técnica do coprocessamento tem sido empregada mundialmente com a finalidade de reduzir o consumo de combustível fóssil e matérias-primas na fabricação de clínquer. Trata-se da utilização de rejeitos de atividades industriais, pneus e até mesmo resíduos sólidos urbanos como combustíveis alternativos e matérias-primas nesse processo produtivo (LAMAS et al., 2013).

A literatura científica mundial tem registrado os seguintes resíduos como materiais substitutivos das matérias-primas extraídas diretamente de jazidas: diversos tipos escórias de alto forno, cinzas volantes, argilas, lodos carbonizados, areias de fundição, resíduos que são fontes de ferro, de cálcio, de silício e alumínio (ÇANKAYA et al., 2019; CHEN et al., 2015; GARCÍA-GUSANO et al., 2015; GIORGIOPOULOU et al., 2018; HOSSAIN et al., 2017; SONG et al., 2016).

Como combustíveis alternativos mais utilizados no coprocessamento, a literatura científica registra os seguintes resíduos: combustível derivado de pneu, lodo biológico e seco, combustível derivado do resíduo, resíduo industrial preparado, óleos usados, tintas, solventes, combustíveis líquidos, plásticos papel, papelão e resíduos agrícolas (ÇANKAYA et al., 2019; GIORGIOPOULOU et al., 2018; HOSSAIN et al., 2017; SONG et al., 2016; ZHANG et al., 2016).

Cabe ressaltar que em países como o Japão os resíduos, antes de serem coprocessados, passam por um rigoroso processo de classificação (LI et al., 2014) e que, na maioria dos casos europeus, os riscos no preparo dos resíduos para o coprocessamento são minimizados através da automação dos processos (MILANEZ et al., 2009).

No Brasil, a NBR ISO 10004 (ABNT, 2004) é um instrumento normativo que trata da classificação dos resíduos. Segundo a norma, os mesmos podem ser classificados como Perigosos (Classe I) e Não perigosos (Classe II).

Os resíduos perigosos são aqueles que apresentam pelo menos uma dessas características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade. Os não perigosos ainda são subclassificados como: não inertes (classe IIA), que possuem propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. Já os inertes (classe IIB) não alteram as suas características em contato com a água (ABNT, 2004).

Setores da indústria e do comércio brasileiros como os de papel e celulose, alumínio, automotores, química, petroquímica, energia elétrica, siderurgia, pneus, metalurgia, metalurgia e embalagens têm utilizado o coprocessamento como forma de destruição dos seus resíduos (ABCP, 2020a).

Em 2018, a geração de resíduos industriais no Brasil foi de 1.276.199.686 toneladas de sólidos, 490.650 m³ dos resíduos líquidos e 3.141.512 unidades, tendo a indústria química como principal setor responsável por essa geração.

Para que esses resíduos possam ser aproveitados nesta atividade, como fontes de energia ou matérias-primas alternativas na indústria de cimento, os mesmos precisam ser preparados em unidades industriais de mistura e homogeneização conhecidas como blendeiras (MILANEZ et al., 2009).

Estima-se que haja no Brasil, aproximadamente, vinte plantas de blendagem em operação (AGUIAR et al., 2021), no município de Magé, situado na Região Metropolitana do Estado do Rio, situam-se duas importantes blendeiras que preparam os resíduos para serem coprocessados em fornos de clínquer no polo cimenteiro de Cantagalo, um dos mais importantes do país, que fica localizado na Região Serrana do mesmo estado.

Conforme descreveu Milan (2017), muitos líquidos, óleos e produtos químicos como tintas e solventes, além de óleos refrigerantes e de motor, são tóxicos. Milanez et al. (2009) discutiram riscos sanitários como a exposição a vapores e odores das diversas etapas de mistura e homogeneização de resíduos perigosos, nesta atividade (ROCHA et al., 2011).

Pinto Júnior et al. (2009) analisaram as condições de trabalho e saúde a partir dos relatos dos trabalhadores envolvidos na atividade de coprocessamento de resíduos tóxicos em fornos de cimenteiras de Cantagalo e constataram falhas no processo de trabalho, recaindo sobre os trabalhadores o ônus do adoecimento. Estes resíduos chegam às blendeiras de diversas formas: a granel, em caminhões basculantes, ou acondicionados em tambores, bombonas, contêineres, *big bags* e embalagens diversas (INEA, 2020).

O processo de blendagem é responsável por produzir *blends* de resíduos com poder calorífero na faixa de 1800 a 3500 Kcal/kg, (*blends* sólidos) e de 2000 a 10500 Kcal/kg, (*blends* líquidos), com vistas a serem coprocessados (INEA, 2020). Rocha et al. (2011) mencionam que o coprocessamento é um campo amplo de investigação e indicam que cada tipo de resíduo coprocessado deve ser objeto de estudo, devido às suas características físicas e químicas.

No entanto, a literatura científica brasileira carece de estudos que se aprofundem no conhecimento detalhado dos resíduos que são tratados nas blendeiras, para que possam ser compreendidos os potenciais riscos e impactos que podem ser causados ao meio ambiente e à saúde humana, com vistas ao aperfeiçoamento dos processos de controle ambiental e fiscalização.

Em face dos argumentos expostos, o presente estudo tem por objetivo traçar um perfil das principais características dos resíduos industriais que são enviados às blendeiras para tratamento, visando o seu aproveitamento como combustível e matéria-prima na produção de clínquer.

METODOLOGIA

Os dados do trabalho foram obtidos a partir da análise de dois processos de licenciamento ambiental no órgão estadual de meio ambiente de duas plantas de blendagem, situadas no município de Magé, Região Metropolitana do Estado. Neste processo, foram encontrados dados dos anos de 2010 a 2015.

Foram analisadas 181 autorizações ambientais de movimentação de resíduos, três pareceres técnicos e um plano de trabalho, que continham informações sobre os diversos tipos de resíduos industriais utilizados na preparação dos compostos energéticos conhecidos como *blends*. Cabe ressaltar que a busca e recuperação de informação contemplaram documentos que se classificam na categoria “Literatura Cinzenta” (BOTELHO et al., 2015):

Diz respeito a publicações não convencionais e não comerciais, semipublicadas, difíceis de

encontrar em canais tradicionais de distribuição [...]. Apresentam informação e conhecimento altamente atualizados e mais detalhados, alcançam um público reduzido e não são determinadas apenas por interesses comerciais.

Com os dados encontrados nas duas plantas, foi construído um perfil médio anual da quantidade de resíduos tratados em toneladas. Os resíduos foram identificados por tipo e, posteriormente, separados em dois grandes grupos por estado físico: os sólidos/semissólidos e os líquidos, com a finalidade de rastrear os resíduos que seriam transformados em *blends* sólidos e líquidos.

Buscou-se também identificar os resíduos gerados por setores da economia, estimando o percentual de contribuição desses setores. Registrou-se, também, a origem territorial dos resíduos por Estado da federação. A seguir, obedecendo à separação dos resíduos pelo estado físico em dois grupos, buscou classificar os tipos de resíduos de acordo com a NBR ISO 10004 em: Perigosos (Classe I), Não Perigosos não inertes (Classe IIA) e Não perigosos inertes (Classe IIB).

O tipo de periculosidade encontrado em cada resíduo perigoso foi classificado conforme a referida norma, a saber: tóxico, altamente tóxico, inflamável, corrosivo e reativo. Foi admitido que um mesmo tipo de resíduos tenha dois ou mais formas de periculosidade. A classificação que obteve percentual menor que 1% não foi considerada.

Foi classificado, também, o potencial do resíduo quanto a sua utilização futura na produção de clínquer, se como combustível ou matéria-prima, conforme a classificação da Associação Brasileira de Cimento Portland (2020b). Os resultados da classificação pela norma, pelo tipo de periculosidade e pela potencial utilização do resíduo no coprocessamento foram ilustrados por gráficos do Excel.

Por fim, foi estimado o percentual de resíduos e rejeitos da blendagem que seguiram para outras formas de tratamento e destinação, como: reciclagem, estações de tratamento de efluentes, incineração e aterro sanitário.

Este trabalho se limita apenas aos resíduos industriais e não aborda o caso dos pneus inservíveis, que, apesar de utilizados no coprocessamento em fornos de cimento, não são armazenados e tratados nas blendeiras estudadas. O trabalho tampouco leva em consideração o detalhamento de cada etapa do processo de blendagem outrora abordado por Aguiar et al. (2021).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O levantamento realizado constatou que o recebimento médio de resíduos industriais foi de 79.015,82 toneladas por ano, distribuídos em 174 tipos de resíduos para serem tratados, destes, 89% da massa apresentam-se no estado sólido e/ou semissólido, e 11% no estado líquido.

Os percentuais de geração, por regiões do país, foram os seguintes: Sudeste (95%), Nordeste (4%) e Centro-Oeste (1%). Na Região Sudeste o Estado de São Paulo foi responsável por 90% dos resíduos gerados.

Os resíduos industriais foram gerados por 61 atividades econômicas dos setores da indústria e comércio brasileiros com os seguintes percentuais: setor portuário (45,94%), óleo e gás (20,48%), gerenciamento de resíduos e reciclagem (11,13%), energia elétrica (5,82%), indústria química em geral (3,47%), lubrificantes (3,11%), tintas e vernizes (2,80%), automotivo (2,11%), aviação (1,31%) e outras

atividades menores que 1% (3,84%).

Os diversos tipos de resíduos sólidos industriais utilizados na produção dos *blends* sólidos são os seguintes: solo contaminado (39,83%), borra oleosa (16,35%), graxas (8,89%), resíduos químicos e reagentes diversos (6,59%), areia contaminada (4,08%), borra de tintas – base de água (2,96%), base solvente (2,29%) –, lodo de ETE (2%), resinas (1,94%), brita contaminada (1,87%), demais resíduos menores que 1% (11,59%).

Já os resíduos líquidos apresentaram a seguinte distribuição percentual: lubrificantes (39,43%), solventes (23,54%), etanol (9,98%), sulfonato de alquibenzeno (5,33%), álcoois etoxilados (5,25%), sulfato de ferro (4,25%), diesel (2,69%), ácido fosfórico (2,04%), formaldeído (1,61%), ácido graxo (1,32%), óleos (1,32%), água oleosa (1,01%), demais resíduos líquidos menores que 1% (5,23%) (INEA, 2020). Passando-se à classificação dos resíduos pela NBR ISO 10004, constatou-se que em ambos os grupos, sólidos e líquidos, a maioria dos resíduos que chega à blendagem é classificada como perigosa (Classe I).

Figura 1: Classificação dos resíduos industriais quanto à classificação pela NBR ISO 10004.

Baseando-se na NBR ISO 10004 (ABNT, 2004), o tipo de periculosidade predominante encontrado nos resíduos classe I é a toxicidade (Figura 2). Logo, a homogeneização, que visa aumentar o poder calorífero dos *blends* sólidos, é mais trabalhada nas etapas de blendagem, pois envolve mistura um tratamento físico, utilizando técnicas de trituração e picagem, bem como processos físico-químicos envolvendo a mistura da massa de resíduos com serragem e cal, visando a reduzir a umidade, tornando o *blend* sólido mais fluido para a queima (INEA, 2020).

Notou-se que nos resíduos líquidos a característica de inflamabilidade aumenta em relação aos sólidos, apesar da toxicidade continuar a ser a característica predominante.

Quanto à análise da possível funcionalidade dos resíduos industriais para o coprocessamento, os sólidos apresentaram maior equilíbrio quanto a servirem como combustível ou matéria-prima, com pequeno predomínio percentual para a primeira função como destaca a Figura 3. Já os resíduos industriais líquidos têm função potencial predominante para a geração de energia.

Quanto aos produtos da blendagem, o estudo registrou uma produção média anual total de 30.650 toneladas, que é percentualmente dividida pelos seguintes tipos de *blends*, conforme a tabela 1.

Figura 2: Predominância da toxicidade dos resíduos quanto à periculosidade.

Figura 3: Potencial funcionalidade dos resíduos nos fornos de clínquer.

Tabela 1: Percentuais dos produtos produzidos na blendagem.

Tipos de blend produzido	(%)
Blend sólido energético	65
Blend matéria-prima	22
Blend líquido	13

Fonte: INEA (2020).

Corroborando com os resultados encontrados nestes estudos, a toxicidade humana foi o principal impacto encontrado por Aguiar et al. (2021) quando aplicaram a Avaliação do Ciclo de Vida na cadeia do coprocessamento na produção de uma tonelada de clínquer, que considerou a entrada desses *blends* de resíduos produzidos nessas mesmas blendeiras como substituto parcial dos resíduos tradicionais nos fornos de clínquer.

Por fim, considerando que a entrada anual de resíduos foi em média 79.015,82 toneladas e a produção anual de *blends* é de 30.650 toneladas, constatou-se que sobraram 48.365,82 toneladas de resíduos e rejeitos, ou seja, o equivalente a 62%, que são enviados para outros destinos, conforme os

percentuais demonstrados na tabela 2.

Tabela 2: Percentuais de resíduos e rejeitos da blendagem e suas destinações finais.

Tipos de resíduos ou rejeitos	Destino	(%)
Sobras de processo e triagem não coprocessáveis	Aterro sanitário	51
Tambores e sucatas metálicas	Reciclagem em siderurgias	30,8
Paletes e madeira	Reciclagem externa/olarias	18
Lâmpadas fluorescentes	Recuperação e reciclagem	0,1
Resíduos de laboratório	Incineração externa	0,1

Fonte: INEA (2020).

CONCLUSÕES

Tendo em vistas as informações levantadas na etapa de blendagem, incluindo a sua origem, tipologias, classificações, potenciais funcionalidades nos fornos de clínquer, bem como dos produtos, resíduos e rejeitos gerados no processo, conclui-se que o perfil esboçado contribuiu significativamente para o entendimento da toxicidade desses resíduos e servirá como base para futuros estudos que analisem a relação entre os impactos ambientais e à saúde humana na cadeia do coprocessamento com este tipo de periculosidade incorporada aos *blends*.

Contudo, o coprocessamento não se mostrou uma técnica de solução definitiva para eliminação dos resíduos industriais do ponto de vista ambiental, pois, a blendagem, que é o processo de preparação dos resíduos pré-queima, não aproveitou a maioria dos resíduos recebidos em *blends*, confirmando uma fragilidade neste elo da cadeia de coprocessamento, como se mostrou também uma grande geradora de resíduos e rejeitos que precisaram ser remetidas a outros destinos.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, D. B.; MATTOS, U. A. O.; ESTEVES, V. P. P.. Avaliação do ciclo de vida na cadeia de coprocessamento. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.6, p.377-386, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.006.0031.12>

ABCP. Associação Brasileira de Cimento Portland. **Coprocessamento: uma solução definitiva para o resíduo. O que é?** São Paulo, 2020a.

ABCP. Associação Brasileira de Cimento Portland. **Coprocessamento: unidades de coprocessamento no Brasil.** São Paulo, 2020b.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 10004: resíduos sólidos – classificação.** 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

BOTELHO, R. G.; OLIVEIRA, C. C.. Literaturas branca e cinzenta: uma revisão conceitual. **Ciência da Informação**, Brasília, v.44, n.3, p.501-513, 2015.

ÇANKAYA, S.; PEKEY, B.. A comparative life cycle assessment for sustainable cement production in Turkey, **Journal of Environmental Management**, v.249, 109362, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109362>

GARCÍA-GUSANO, D.; HERRERA, I.; GARRAÍN, D.; LECHÓN, Y.; CABAL, H.. Life cycle assessment of the Spanish cement

industry: implementation of environmental-friendly solutions. **Clean Technologies Environmental Policy**, v.17, p.59-73, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10098-014-0757-0>

GIORGIOPOULOU, M.; LYBERATOS, G.. Life cycle assessment of the use of alternative fuels in cement kilns: a case study. **Journal of Environmental Management**, v.216, p.224-234, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.07.017>

HOSSAIN, M. U.; POON, C. S.; LO, I. M. C.; CHENG, J. C. P.. 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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.12.012>

INEA. Instituto Estadual do Ambiente. **Portal do Licenciamento.** Rio de Janeiro: Instituto Estadual do Ambiente, 2020.

LAMAS, W. Q.; PALAU, J. C. F.; CAMARGO, J. R.. Waste materials co-processing in cement industry: ecological efficiency of waste reuse. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.19, p.200-207, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.11.015>

MILAN, M.. **Reciclagem de materiais: empresa e conceito.** São Paulo: SENAI-SP, 2017.

MILANEZ, B.; FERNANDES, L. O.; PORTO, M. F. S.. A coincineração de resíduos em fornos de cimento: riscos para a saúde e o meio ambiente. **Ciência & Saúde Coletiva**, v.14, n.6, p.2143-2152, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-81232009000600021>

PINTO JÚNIOR, A. G. P.; BRAGA, A. M. C. B.. Trabalho e saúde: a atividade da queima de resíduos tóxicos em fornos de cimenteiras de Cantagalo, Rio de Janeiro. **Ciência & Saúde Coletiva**, v.14, n.6, p.2005-2014, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-81232009000600008>

ROCHA, S. D. F.; LINS, V. F. C.; SANTO, B. C. E.. Aspectos do coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer.

(Revisão da Literatura). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.16, n.1, p.1-10, 2011. DOI:

<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522011000100003>

SONG, D.; YANG, J.; CHEN, B.; HAYAT, T.; ALSAEDI, A.. Life-cycle environmental impact analysis of a typical cement production chain. **Applied Energy**, v.164, p.916-923, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.09.003>

ZHANG, L.; MABEE, W, E.. Comparative study on the life-cycle greenhouse gas emissions of the utilization of potential low carbon fuels for the cement industry. **Journal of Cleaner Production**, v.122, p.102-112, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.019>

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Sustenere Publishing**, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.