



UNIVERSIDADE EVANGÉLICA DE ANÁPOLIS - UNIEVANGÉLICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SOCIEDADE, TECNOLOGIA
E MEIO AMBIENTE (PPGSTMA)

EDNALDO TELES COUTINHO

**O COPROCESSAMENTO COMO ALTERNATIVA NA DESTINAÇÃO FINAL DE
RESÍDUOS NA PRODUÇÃO CIMENTÍCIA**

**ANÁPOLIS,
2023**

EDNALDO TELES COUTINHO

**O COPROCESSAMENTO COMO ALTERNATIVA NA DESTINAÇÃO FINAL DE
RESÍDUOS NA PRODUÇÃO CIMENTÍCIA**

Defesa de dissertação apresentada ao curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente (PPGSTMA) do Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Jadson Belém de Moura.

**ANÁPOLIS,
2023**

C871

Coutinho, Edinaldo Teles.

O coprocessamento como alternativa na destinação final de resíduos na produção cimentícia / Edinaldo Teles Coutinho - Anápolis: Universidade Evangélica de Goiás, 2023. 34 p.; il.

Orientador: Prof^o. Dr. Jadson Belém de Moura.

Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-graduação em Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente – Universidade Evangélica de Goiás, 2023.

FOLHA DE APROVAÇÃO
“O COPROCESSAMENTO COMO ALTERNATIVA NA DESTINAÇÃO FINAL DE
RESÍDUOS NA PRODUÇÃO CIMENTÍCIA”
EDNALDO TELES COUTINHO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente/ PPG STMA da Universidade Evangélica de Goiás/ UniEVANGÉLICA como requisito parcial à obtenção do grau de MESTRE. **Linha de pesquisa: Sistemas Agrícolas Sustentáveis**

Aprovado em 24 de março de 2023.

Banca examinadora



Prof. Dr. Jadson Belém de Moura
Presidente – PPG STMA



Profa. Dra. Josana de Castro Peixoto
Examinador Interno – PPG STMA



Profa. Dra. Indiamara Marasca
Examinador Externo – PPG STMA



Prof. Dr. João Mauricio Fernandes Souza
Suplente Interno – PPG STMA

RESUMO

O coprocessamento atinge um desempenho ambiental superior em comparação com o aterro e a incineração, o que é demonstrado por estudos de avaliação do ciclo de vida. A pesquisa tem como objetivo analisar os benefícios do processo de coprocessamento de resíduos na produção cimentícia. A partir da metodologia de revisão de literatura de cunho qualitativo. A utilização de resíduos na indústria cimenteira não só substitui o combustível tradicional, mas também pode recuperar matéria-prima valiosa. Por exemplo, a areia de fundição que é um resíduo da indústria de fundição pode facilmente substituir os silicatos necessários na indústria de cimento. Existem muitos outros exemplos e poderíamos nos esforçar para criar uma espécie de ecossistema industrial onde os resíduos de algumas indústrias se tornem recursos alternativos para outras. Pode-se concluir que através do coprocessamento, a indústria cimenteira melhorar a sua competitividade industrial através da redução dos seus custos globais de produção através da substituição de combustíveis fósseis ou matérias-primas naturais e receitas adicionais pelo serviço prestado por esta ação. Contribui para a preservação dos recursos naturais e para a redução da emissão global e leva a resolver de forma sustentável os problemas locais de gestão de resíduos.

Palavras-chave: Meio Ambiente. Cimento. Sustentabilidade.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	6
CAPÍTULO 1 – ESTADO DA ARTE.....	10
1.1 Contexto histórico e realidade do contexto do objeto de estudo.....	10
1.2 Pré-processamento e coprocessamento durante a gestão de resíduos.....	12
1.3 Benefícios do coprocessamento.....	14
1.4 Papel das indústrias de cimento na gestão sustentável	15
CAPÍTULO 2 – ARTIGO CIENTÍFICO	17
CONSIDERAÇÕES FINAIS	32
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

INTRODUÇÃO

A presente pesquisa de mestrado versa sobre coprocessamento como alternativa na destinação dos resíduos sólidos. A escolha do tema se deu pelo cotidiano do autor, que a partir de prática profissional dentro do contexto da pesquisa, se inquietou em apresentar o coprocessamento como objeto de estudo.

O termo resíduo sólido se refere a qualquer lixo ou refugo, lodo de uma estação de tratamento de águas residuais, estação de tratamento de abastecimento de água ou instalação de controle de poluição do ar e outro material descartado, resultante de operações industriais, comerciais, de mineração e agrícolas, e da comunidade (ROCHA, et al. 2011).

A verdade é que a gestão sustentável de resíduos pode ser um pouco complicada. Para eliminar efetivamente os resíduos de uma forma que não prejudique o meio ambiente, temos que garantir que nossos processos reduzam as emissões de gases de efeito estufa, eliminem efetivamente os resíduos tóxicos e que os resíduos sejam totalmente destruídos. Alcançar todos esses objetivos é difícil (SILVA, 2019).

É por isso que o coprocessamento oferece uma solução eficaz quando se trata de lidar com resíduos não recicláveis. Este processo de desperdício zero usa todos os aspectos dos resíduos não recicláveis que puder enquanto monitora as emissões e a produção de produtos químicos para que os resíduos sejam eliminados sem impactar negativamente o meio ambiente (FERRARESI DE ARAÚJO, 2020).

O sistema de coprocessamento pode ser difícil de entender, especialmente porque a princípio parece semelhante à incineração. No entanto, existem muitas diferenças importantes. O coprocessamento é um sistema de gestão de resíduos no qual os materiais residuais são convertidos em combustíveis alternativos e/ou matérias-primas. No caso da empresa estudada, o coprocessamento refere-se ao uso de um forno de cimento para queimar de forma limpa os resíduos plásticos como fonte de energia alternativa, utilizando as sobras de cinzas no próprio cimento. Isso cria um sistema de gestão de resíduos zero que nos permite eliminar os plásticos não recicláveis (SILVA, 2019).

Por meio do coprocessamento, somos capazes de pegar plásticos de baixa qualidade que não podem ser reciclados ou reutilizados com facilidade aqueles

frequentemente destinados em nossos rios e oceanos e eliminá-los de uma maneira mais ecológica do que os métodos de gerenciamento típicos, como aterros sanitários ou incineração (ROCHA, et al. 2011; FREITAS, NOBREGA, 2014).

O coprocessamento aproveita o processo de incineração, capturando a energia usada durante a incineração e utilizando as cinzas restantes. Além disso, o coprocessamento é mais limpo que a incineração. Estudos mostram que o coprocessamento é mais benéfico para o meio ambiente do que a incineração quando se trata de potencial de aquecimento global, pegada ecológica, potencial de toxicidade humana e potencial de acidificação (FREITAS, NOBREGA, 2014; KLESHCHOV, et al. 2019).

Quando se trata de gestão de resíduos, existe uma hierarquia de resíduos , desenvolvida. Organiza os sistemas de gestão de resíduos do mais favorável ao menos favorável. O coprocessamento fica diretamente no meio, abaixo da reutilização e reciclagem, mas acima da incineração e descarte. Isso o torna a escolha ideal para resíduos não recicláveis, como plástico, que normalmente acabaria em um aterro sanitário ou como plástico no oceano (FERRARESI, 2020).

O próprio método de coprocessamento reduz as emissões de gases de efeito estufa por meio do uso de fontes alternativas de energia e realmente elimina o desperdício em vez de simplesmente reduzi-lo, mantendo nosso planeta protegido da poluição plástica. Além disso, um fluxo constante de materiais alcalinos neutraliza gases ácidos potenciais, garantindo que não haja poluição química (KLESHCHOV, et al. 2019).

Embora o coprocessamento seja atualmente a melhor e mais ecológica maneira de eliminar resíduos, não é uma solução de longo prazo; devemos trabalhar para reduzir completamente a produção e o uso desses plásticos. A chave para uma gestão de resíduos eficaz e sustentável é, em primeiro lugar, prevenir esses resíduos. Os indivíduos devem fazer sua parte evitando embalagens desnecessárias e usando sacolas reutilizáveis, e as empresas devem limitar seus plásticos descartáveis em favor de opções sustentáveis . Esta é a única maneira de realmente resolver o problema da poluição (FERRARESI, 2020).

Dito isto, o coprocessamento nos dá uma maneira de eliminar de forma limpa o plástico órfão que temos atualmente, além de converter esse plástico em uma fonte alternativa de combustível, eliminando simultaneamente resíduos não recicláveis e reduzindo as emissões de gases de efeito estufa (SILVA, 2019).

Para garantir que o coprocessamento em um forno de cimento seja controlado e seguro, as empresas de coprocessamento devem usar tecnologia, sistemas e processos adequados (FREITAS, NOBREGA, 2014). Isso inclui o uso de equipamentos de monitoramento de emissões para garantir que eles não estejam bombeando produtos químicos nocivos para a atmosfera (KLESHCHOV, et al. 2019).

Qualquer fábrica e sistema de coprocessamento de cimento precisa ser certificado por um terceiro para regular suas práticas e garantir que o sistema de coprocessamento utilizado seja seguro e ecologicamente correto. A organização estudada vê o coprocessamento de resíduos como uma vitória para todos. O meio ambiente ganha porque estamos coletando e eliminando resíduos plásticos não recicláveis enquanto reduzimos o uso de combustíveis convencionais. A fábrica de cimento ganha porque queimar resíduos plásticos é uma opção mais barata do que queimar carvão ou outra fonte de energia convencional (FERRARESI, 2020).

Diante do cenário da crescente geração de sólidos urbanos e industriais, sem considerar os seus efeitos ambientais no presente e no futuro, foi instituída no dia 2 de Agosto de 2010, a nova Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) através da Lei n. 12.305, que altera a Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1988. A Nova Política Nacional de Resíduos Sólidos cita em seu artigo 3º (ROCHA, et al. 2011).

Para os efeitos desta Lei, entende-se por: VII - destinação final ambientalmente adequada: destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do SISNAMA- Sistema Nacional do Meio Ambiente, do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS) e do Sistema Unificado de Atenção à Saúde (SUASA), entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos.

O estudo é importante/relevante, pois estudos de avaliação do ciclo de vida demonstram que o coprocessamento oferece desempenho ambiental superior ao aterro ou incineração. Entre suas muitas vantagens, ele: destrói completamente os resíduos através de altas temperaturas, excesso de oxigênio e longo tempo de residência; evita a formação de dioxinas e furanos devido ao perfil de temperatura específico; não deixa resíduos que precisam ser aterrados, pois a cinza reage com outros componentes para formar o produto final fabricado; reduz as emissões de gases de efeito estufa, pois os resíduos são usados para substituir os combustíveis

fósseis e preserva os combustíveis fósseis não renováveis e os recursos naturais à medida que o valor energético e mineral dos resíduos são recuperados.

Alcançar o desenvolvimento sustentável levou pesquisadores e formuladores de políticas a se concentrarem nos determinantes das emissões, como as de CO₂, e assim por diante. Isso permite o desenvolvimento de medidas e políticas necessárias para proteger o meio ambiente e reduzir as emissões. Nos últimos 30 anos, devido à limitação da produtividade, o crescimento econômico do Brasil baseou-se em “alto investimento, alto consumo e altas emissões”, o que promoveu um rápido desenvolvimento econômico, mas também trouxe grave poluição ambiental ao mesmo tempo (FERRARESI, 2020).

Assim, a pesquisa tem como objetivo analisar os benefícios do processo de coprocessamento de resíduos na produção cimentícia.

A abordagem metodológica foi de uma pesquisa de revisão de literaturas na última década, a partir de pesquisa em diversas plataformas, como Scielo, CAPES e Google Acadêmico. A pesquisa se encontra dividida em: Introdução, Estado da Arte Artigo Científico, Considerações Finais e Referências.

CAPÍTULO 1 – ESTADO DA ARTE

1.1 Contexto histórico e realidade do contexto do objeto de estudo

Uma abordagem tecnológica para a gestão de resíduos sólidos começou a se desenvolver na última parte do século XIX. Latas de lixo à prova d'água foram introduzidas pela primeira vez nos Estados Unidos, e veículos mais resistentes foram usados para coletar e transportar resíduos (FERRARESI, 2020).

Um desenvolvimento significativo nas práticas de tratamento e descarte de resíduos sólidos foi marcado pela construção do primeiro depósito de lixo na Inglaterra em 1874. No início do século 20, 15% das principais cidades americanas estavam incinerando resíduos sólidos. Mesmo assim, porém, a maioria das maiores cidades ainda usava métodos primitivos de disposição, como o despejo a céu aberto na terra ou na água (FERRARESI, 2020).

Os avanços tecnológicos continuaram durante a primeira metade do século 20, incluindo o desenvolvimento de trituradores de lixo, caminhões de compactação e sistemas de coleta pneumática. Em meados do século, no entanto, tornou-se evidente que o despejo a céu aberto e a incineração inadequada de resíduos sólidos estavam causando problemas de poluição e colocando em risco a saúde pública. Como resultado, aterros sanitários foram desenvolvidos para substituir a prática de lixo a céu aberto e reduzir a dependência da incineração de resíduos (SILVA, 2019).

Em muitos países, os resíduos foram divididos em duas categorias, perigosos e não perigosos, e regulamentos separados foram desenvolvidos para seu descarte. Os aterros sanitários foram projetados e operados de forma a minimizar os riscos à saúde pública e ao meio ambiente (FERRARESI, 2020).

Novos incineradores de lixo foram projetados para recuperar a energia térmica dos resíduos e foram equipados com amplos dispositivos de controle da poluição do ar para satisfazer padrões rigorosos de qualidade do ar. Plantas modernas de gerenciamento de resíduos sólidos na maioria dos países desenvolvidos agora enfatizam a prática de reciclagem e redução de resíduos na fonte, em vez de incineração e descarte no solo (FERRARESI, 2020).

As fontes de resíduos sólidos incluem atividades residenciais, comerciais, institucionais e industriais. Certos tipos de resíduos que causam perigo imediato aos indivíduos ou ambientes expostos são classificados como perigosos; estes são discutidos no artigo gestão de resíduos perigosos. Todos os resíduos sólidos não perigosos de uma comunidade que requerem coleta e transporte para um local de processamento ou descarte são chamados refugo ou resíduo sólido municipal (FERRARESI, 2020).

A gestão de resíduos é um problema sério em todo o mundo. É mais proeminente nos países em desenvolvimento. Os resíduos industriais não perigosos são outro aspecto com 100 milhões de toneladas/ano, com cinzas de carvão representando 70 milhões de toneladas/ano. É o segundo maior fluxo de resíduos que acaba em aterros sanitários (FERRARESI, 2020).

O crescente volume e complexidade dos resíduos associados à economia moderna representam um sério risco para os ecossistemas e para a saúde humana. Todos os anos, cerca de 11,2 bilhões de toneladas de resíduos sólidos são coletados em todo o mundo e a degradação da proporção orgânica de resíduos sólidos contribui com cerca de 5% das emissões globais de gases de efeito estufa. (FERRARESI, 2020).

Todos os anos, cerca de 11,2 bilhões de toneladas de resíduos sólidos são coletados em todo o mundo. De todos os fluxos de resíduos, os resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos contendo substâncias perigosas novas e complexas representam o desafio de crescimento mais rápido nos países desenvolvidos e em desenvolvimento (SILVA, 2019).

A má gestão de resíduos desde sistemas de coleta inexistentes até descarte ineficaz, causa poluição do ar, contaminação da água e do solo. Aterros a céu aberto e insalubres contribuem para a contaminação da água potável e podem causar infecções e transmitir doenças. A dispersão de detritos polui os ecossistemas e substâncias perigosas de lixo eletrônico ou lixo industrial pressionam a saúde dos moradores urbanos e do meio ambiente (FERRARESI, 2020).

A solução, em primeiro lugar, é a minimização do desperdício. Onde os resíduos não podem ser evitados, a recuperação de materiais e energia a partir de resíduos, bem como a remanufatura e reciclagem de resíduos em produtos utilizáveis devem ser a segunda opção. A reciclagem leva a uma economia substancial de recursos. Por exemplo, para cada tonelada de papel reciclado, 17

árvores e 50% de água podem ser economizados. Além disso, a reciclagem gera empregos: o setor emprega 12 milhões de pessoas só no Brasil, China e Estados Unidos (SILVA, 2019).

A quantidade é projetada para aumentar a um ritmo mais rápido nos próximos anos com o aumento da industrialização. Este resíduo industrial tem características de resíduos sólidos urbanos com percentual de resíduos não biodegradáveis no lado superior (BRUM, et al. 2021). O coprocessamento destes resíduos para valorização energética e como matéria-prima alternativa em fornos de cimento pode ser uma metodologia eficaz de gestão deste fluxo de resíduos. Isso está sendo praticado de forma sustentável em vários países, mas no Brasil o processo carece de implementação adequada (BATTAGIN, CARDOSO, 2018).

Este estudo mostra especificamente a eficácia do coprocessamento em fábrica de cimento, como forma de utilização eficaz de energia e matérias-primas recuperáveis bloqueadas nos resíduos industriais (FERRARESI, 2020).

1.2 Pré-processamento e coprocessamento durante a gestão de resíduos

O pré-processamento envolve a secagem, trituração, moagem ou mistura, dependendo da categoria do resíduo. A mistura e a homogeneização geralmente melhoram o comportamento de alimentação e combustão dos resíduos. (SILVA, 2019).

A mistura de resíduos pode envolver riscos e deve ser realizada de acordo com uma receita prescrita pelas normas. Os resíduos recebidos de várias fontes passam por vários processos, como aceitação de resíduos, pré-aceitação, aceitação no local, rastreamento na planta, opções de armazenamento e carregamento, et (BATTAGIN, CARDOSO, 2018).

O coprocessamento refere-se à utilização de resíduos adequados em processos de fabricação para fins de recuperação de energia e/ou recursos e consequente redução no uso de combustíveis convencionais e/ou matérias-primas por substituição (BRUM, et al. 2021).

Os níveis de substituição térmica devem ser cuidadosamente determinados no caso de matérias-primas com alto teor de cloro e/ou enxofre e no caso de alto teor de umidade em combustíveis alternativos, como os geralmente encontrados em

combustíveis derivados de resíduos, o que pode resultar na redução de qualidade (SILVA, 2019).

A conveniência do uso variará da dos materiais convencionais em termos de tamanho, forma, natureza, embalagem e consistência, e por isso pode precisar ser pré-processado para torná-lo aceitável para uso de maneira sustentável. A taxa de substituição desses resíduos também deve ser ajustada de acordo com sua qualidade e características (BATTAGIN, CARDOSO, 2018).

O coprocessamento de resíduos eliminará a possibilidade de consequências associadas à incineração de resíduos perigosos e reduzirá as emissões de gases de efeito estufa. A incineração é cara e consome muita energia, e as cinzas resultantes precisam ser descartadas em aterros sanitários seguros, o que desperdiça grandes extensões de terra (FERRARESI, 2020).

Existe também a possibilidade de poluição da água. Aspectos técnicos associados estabelecendo os padrões de emissão para unidades de coprocessamento em um método de prescrição para a amostragem e análise dos padrões, desenvolvendo conhecimentos em amostragem e análise, e adquirindo equipamentos e instrumentação aliados, estabelecendo instalações de pré-processamento, devem ser abordados de acordo com às normas (BRUM, et al. 2021).

A indústria do cimento é responsável por aproximadamente 5% das atuais emissões antropogênicas de CO₂ em todo o mundo. Dada a crescente demanda e produção de cimento, o uso absoluto de energia e as emissões de CO₂ da indústria continuarão a crescer. (FERRARESI, 2020).

A queima de resíduos em fornos de cimento, conhecida como coprocessamento, pode reduzir a dependência da indústria de combustíveis fósseis e diminuir as emissões de CO₂ associadas. Além disso, a queima de resíduos na produção de cimento pode ajudar a aliviar os problemas associados ao aumento da geração de resíduos em todo o mundo. Tecnologias e estratégias para coprocessar resíduos sólidos urbanos (RSU) estão surgindo após muitos anos de desenvolvimento e suporte (SILVA, 2019).

1.3 Benefícios do coprocessamento

O coprocessamento em fornos de cimento permite a recuperação do valor energético e mineral dos resíduos durante a produção do cimento. Ao processar na fabricação de cimento, as características dos fornos de clínquer garantem a decomposição completa das matérias-primas dos resíduos processados em seus óxidos componentes e a recombinação dos óxidos nos minerais de clínquer. Uma das características de processo necessárias, para o uso essencial de resíduos perigosos e outros, é que os resíduos sejam alimentados ao forno através de pontos de alimentação apropriados (FERRARESI, 2020).

Os dois princípios importantes no coprocessamento são: 1. Emissões adicionais e impactos negativos/adversos na saúde humana e no meio ambiente devem ser evitados; e 2. Qualidade do clínquer/cimento deve permanecer inalterada e devem ser tomadas as medidas adequadas. Os requisitos para coprocessamento são: 1. Instalação deve ter estações de monitoramento de emissões de poluição do ar; e 2. A instalação deve ter dispositivos de controle para evitar a formação de dioxinas através do condicionamento/resfriamento do gás de saída e temperaturas inferiores a 200°C autoridades (BOESCH, HELLWEG, 2010).

O coprocessamento pode reduzir o consumo de combustíveis primários e matérias-primas usando valores de energia e materiais contidos nos fluxos de resíduos. O uso de combustíveis alternativos e matérias-primas em fornos de cimento pode, portanto, diminuir os impactos ambientais dos resíduos, descartar com segurança os resíduos perigosos, diminuir as emissões de gases de efeito estufa, diminuir os custos de manuseio de resíduos e economizar dinheiro na indústria do cimento (SILVA, 2019).

O coprocessamento requer capacitação em aspectos ambientais, operacionais, legais, de segurança e saúde ocupacional, sociais e de comunicação. (FERRARESI, 2020). As metas de treinamento são baseadas nos requisitos de capacitação conforme estipulado nas diretrizes mencionadas acima, como:

- Formulação de políticas de gestão de resíduos
- Formulação e interpretação de estatísticas de resíduos
- Autorização e controle de coprocessamento
- Avaliação de novos materiais para coprocessamento e qualificação da fonte de resíduos

- Monitoramento de operação e transporte (metodologias de análise de emissões e avaliação de dados analíticos)
- Gestão da saúde e segurança ocupacional dos trabalhadores dentro da fábrica de cimento e durante o transporte
- Aplicação dos regulamentos e permissões nacionais
- Comunicação sistemática com as partes interessadas e o público

1.4 Papel das indústrias de cimento na gestão sustentável

O cimento, portanto, o concreto desempenha um papel vital em nossas vidas diárias. Poucas pessoas sabem que o concreto, com sua resistência, durabilidade e excelente massa térmica, é um componente fundamental em ecoedifícios. Mas a indústria cimenteira consome uma quantidade significativa de recursos naturais e energia. São necessários cerca de 1'600 kg de matéria-prima e 200 kg de carvão para produzir 1 tonelada de clínquer (SILVA, 2019).

Por outro lado, temos o problema dos resíduos. Os resíduos são produzidos diariamente e em todo o mundo. O lixo é um problema ainda maior nos países emergentes, onde não há solução disponível e, portanto, despejar o lixo na estrada, descarregá-lo nos esgotos ou enterrá-lo é comum. Essa poluição causa contaminação do solo, dos recursos hídricos e da atmosfera. A consequência de tudo isso é a deterioração da saúde da população (FERRARESI, 2020).

Outro fato é que a indústria de cimento produz 5% das emissões globais de CO₂ produzidas pelo homem em todo o mundo. Metade disso é resultado do processo químico envolvido na transformação do calcário em clínquer; 40% é resultado da queima do combustível, e os 10% restantes são divididos entre uso de eletricidade e transporte (SILVA, 2019).

A indústria cimenteira pode transformar o problema dos resíduos em uma oportunidade de criação de valor, usando os resíduos para substituir combustíveis fósseis e matérias-primas naturais: o coprocessamento. O coprocessamento é o uso de resíduos como matéria-prima ou como fonte de energia, ou ambos, para substituir recursos minerais naturais e combustíveis fósseis como carvão, petróleo e gás em processos industriais (FERRARESI, 2020).

O plano estratégico adotado para a gestão de resíduos especifica a hierarquia de reduzir, reutilizar, reciclar e recuperar antes da disposição final dos

resíduos. Paralelamente a esta metodologia de abordagem, previam uma seção específica – ou seja, para gerenciar como material de recurso suplementar ou para energia recuperação ou após o processamento – deve ser realizado pelas unidades somente após a obtenção de aprovações regulatórias de autoridades (BOESCH, HELLWEG, 2010).

Os resíduos perigosos incineráveis têm grande potencial para serem utilizados como recurso suplementar ou para recuperação de gradiente energético em coprocessamento devido ao seu maior poder calorífico/constituintes, que são materiais de cimento com potencial aplicabilidade como material de recurso suplementar e como combustível na indústria de cimento normas (BRUM, et al. 2021).

A utilização de resíduos da indústria cimenteira com valorização simultânea de energia e reciclagem de materiais, designada por coprocessamento, contribui para a consecução dos objetivos da economia circular (FERRARESI, 2020). O coprocessamento de resíduos em fornos de cimento traz benefícios tanto para a sociedade quanto para a indústria: as emissões de CO₂ são menores do que com combustíveis fósseis, os resíduos são coprocessados de maneira eficiente e sustentável e a demanda por materiais virgens é reduzida (SILVA, 2019).

O coprocessamento em forno de cimento permite a utilização efetiva do valor material e energético presente nos resíduos, conservando assim os recursos naturais ao reduzir o uso de material virgem.

CAPÍTULO 2 – ARTIGO CIENTÍFICO

O COPROCESSAMENTO COMO ALTERNATIVA NA DESTINAÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Ednaldo Teles Coutinho, Jadson Belem de Moura

RESUMO

O coprocessamento é um sistema de gestão de resíduos no qual os materiais residuais são convertidos em combustíveis alternativos e/ou matérias-primas. O objetivo deste estudo é mostrar o coprocessamento na produção cimentícia, como um meio viável de destinação final de resíduos gerados no processo de industrialização, juntamente com os sólidos urbanos, como um método eficiente para o cumprimento da nova política nacional de resíduos sólidos. Foi realizado um estudo sobre a introdução da abordagem de coprocessamento com foco em os materiais que integram o processo, a capacidade calorífica dos resíduos sólidos utilizados e a economia gerada por esta estratégia em termos de combustíveis fósseis não renováveis. A metodologia proposta envolveu a revisão sistemática da literatura nos últimos quinze anos. Os resultados mostram que milhões de toneladas de resíduos são coprocessados todos os anos. Conclui-se que o coprocessamento é uma alternativa viável para a redução de resíduos.

Palavras-chave: Reciclagem, Blendagem, Co-incineração, Cimenteira.

1 INTRODUÇÃO

A pesquisa versa sobre coprocessamento como alternativa na destinação dos resíduos sólidos no Brasil. De acordo com o Panorama da Associação Brasileira de Empresas de Limpezas Públicas e Resíduos Especiais (ABRELPE), em 2018, o Brasil gera grandes quantidades de resíduos: resíduos domésticos, resíduos de construção e demolição, resíduos industriais, carros antigos, baterias, sacos de plástico, papel, resíduos sanitários e etc. A má gestão de resíduos contribui para as mudanças climáticas e a poluição do ar e afeta diretamente muitos ecossistemas e espécies.

A quantidade de resíduos que geramos está intimamente ligada aos nossos padrões de consumo e produção. O grande número de produtos que entram no mercado representa mais um desafio. As mudanças demográficas, como o aumento do número de domicílios unipessoais, também afetam a quantidade de resíduos que geramos (por exemplo, embalagem de produtos em unidades menores). Os resíduos também impactam o meio ambiente indiretamente. O que não for reciclado ou valorizado dos resíduos representa uma perda de matéria-prima e outros insumos utilizados na cadeia, ou seja, nas fases de produção, transporte e consumo do

produto. Os impactos ambientais na cadeia do ciclo de vida são significativamente maiores do que apenas nas fases de gestão de resíduos (BRUM, et al. 2021).

A grande variedade de tipos de resíduos e os complexos caminhos de tratamento de resíduos (incluindo os ilegais) dificultam uma visão completa dos resíduos gerados e seu paradeiro. Assim, a gestão de resíduos sólidos, significa a recolha, tratamento e eliminação de materiais sólidos que já cumpriram a sua função ou não têm mais utilidade. A eliminação inadequada de resíduos sólidos pode criar condições insalubres e essas condições, por sua vez, podem levar à poluição do meio ambiente e surtos de doenças transmitidas por vetores, ou seja, doenças transmitidas por roedores e insetos (KLESHCHOV, et al. 2019).

A gestão de resíduos é um problema sério em todo o mundo. É mais proeminente nos países em desenvolvimento. Resíduos industriais não perigosos são outro aspecto, com 100 milhões de toneladas/ano, com as cinzas de carvão sendo responsáveis por 70 milhões de toneladas (FERRARESI, 2020).

É bom salientar que o foco das indústrias esteve voltado para o aumento da produtividade, visando atender os anseios do mercado consumidor, sem levar em consideração os danos ambientais por ela gerados em todas as etapas da cadeia produtiva. Diante deste cenário, as indústrias foram alvo de duras críticas da sociedade civil, pelos meios de comunicação, ambientalista e até ao ponto de sofrerem sanções legais, pela não comprovação da destinação dos resíduos industriais por elas geradas desde a retirada da matéria-prima no meio ambiente, no processo produtivo e até a colocação do produto no mercado consumidor (KLESHCHOV, et al. 2019).

Neste contexto, observamos que as cidades não se prepararam para o crescimento industrial descomedido e conseqüentemente não desenvolveram nenhuma política voltada à recepção do “lixo industrial” e os sólidos urbanos das cidades em seus lixões. Além disso, observa-se a falta de políticas educacionais sobre os efeitos deletérios aos corpos hídricos, a biota e ao ser humano (KLESHCHOV, et al. 2019).

Outrora, os resíduos das indústrias, juntamente com os sólidos urbanos gerados nas cidades eram, em sua grande maioria, depositados em lixões, encosta de rios, lotes baldios e outros locais; sem nenhum controle e/ou tratamento prévio para reduzir as suas características físico-químicas e conseqüentemente a redução dos efeitos negativos ao serem lançados no meio ambiente (BRUM, et al. 2021).

A gestão adequada de resíduos é uma parte essencial da saúde pública e ambiental da sociedade. Apesar de ser novidade no Brasil, o coprocessamento é amplamente utilizado na Europa, nos Estados Unidos e no Japão, pois é uma opção segura para a destruição definitiva de resíduos industriais e passivos ambientais, como pneus, solos contaminados com combustíveis, borras de tintas, farmoquímicos e outras infinidades de substâncias químicas utilizados como combustível em fornos de cimento. (FERRARESI, 2020).

Além dos benefícios ao meio ambiente, a atividade contribui para a economia de combustíveis fósseis não renováveis utilizados para o funcionamento dos fornos e o do grande benefício ambiental (KLESHCHOV, et al. 2019).

O problema de pesquisa é importante, pois uma abordagem tecnológica para a gestão de resíduos sólidos começou a se desenvolver na última parte do século XIX. Em meados do século? entretanto, tornou-se evidente que o despejo a céu aberto e a incineração inadequada de resíduos sólidos estavam causando problemas de poluição e prejudicando a saúde pública. Como resultado, aterros sanitários foram desenvolvidos para substituir a prática de despejo a céu aberto e para reduzir a dependência da incineração de resíduos, sendo este assunto importante no mundo acadêmico e para a sociedade em geral (KLESHCHOV, et al. 2019).

Assim, o coprocessamento na produção cimentícia é a operação de reaproveitamento e destinação final em uma única operação de queima de resíduos industriais com características físico-químicas compatíveis ao processo de produção de clínquer, em fornos rotativos da indústria cimenteira. A tecnologia consiste na destruição térmica dos resíduos com a substituição parcial da matéria-prima e/ou do combustível (BRUM, et al. 2021).

O coprocessamento pode reduzir o consumo de combustíveis primários e matérias-primas usando valores de energia e materiais contidos nos fluxos de resíduos (FERRARESI, 2020).

O uso de combustíveis e matérias-primas alternativos em fornos de cimento pode, portanto, diminuir os impactos ambientais dos resíduos, descartar resíduos perigosos com segurança, diminuir as emissões de gases de efeito estufa, diminuir os custos de manuseio de resíduos e economizar dinheiro na indústria do cimento. O coprocessamento requer capacitação em aspectos ambientais, operacionais,

jurídicos, de saúde e segurança ocupacional, sociais e de comunicação (KLESHCHOV, et al. 2019).

A verdade é que a gestão sustentável de resíduos pode ser um pouco complicada. Para eliminar efetivamente os resíduos de uma forma que não prejudique o meio ambiente, temos que garantir que nossos processos reduzam as emissões de gases de efeito estufa, eliminem efetivamente os resíduos tóxicos e que os resíduos sejam totalmente destruídos. Alcançar todos esses objetivos é difícil (FERRARESI, 2020).

É por isso que o coprocessamento oferece uma solução eficaz quando se trata de lidar com resíduos não recicláveis. Esse processo de desperdício zero usa todos os aspectos possíveis dos resíduos não recicláveis, ao mesmo tempo em que monitora as emissões e a produção de produtos químicos para que os resíduos sejam eliminados sem impactar negativamente o meio ambiente. O sistema de coprocessamento pode ser difícil de entender, especialmente porque à primeira vista parece semelhante a uma incineração. No entanto, existem muitas diferenças importantes (KLESHCHOV, et al. 2019).

A pesquisa é relevante, pois vale apenas ressaltar que, antes da mudança da política nacional de resíduos sólidos, não havia uma legislação para disciplinar as prefeituras e as indústrias geradoras de resíduos sólidos sobre sua destinação final. Os resíduos que eram levados para lixões sem o devido tratamento e/ou descontaminação promoviam grandes problemas ambientais com consequências desastrosas a biota. (FERRARESI, 2020).

Saber que o coprocessamento na produção cimentícia é uma das tecnologias ambientalmente correta para proceder à destinação final de resíduos sólidos, possibilitará aos profissionais que atuam área ambiental, prefeituras e empresários de diversos segmentos, meios eficientes para a destinação final de seus resíduos sem a promoção de danos ambientais e conseqüentemente a mitigação de multas e ações judiciais promovidas pelos órgãos de fiscalização (KLESHCHOV, et al. 2019).

Os resultados revelaram que o coprocessamento pode ser uma das técnicas de eliminação de resíduos industriais mais eficazes no Brasil e em outros países em desenvolvimento, considerando outras práticas de metodologia de eliminação de resíduos em termos de geração de cinzas, zero emissão, menos requisitos de tecnologia auxiliar, menor custo de instalação e etc. A robustez do coprocessamento

como técnica de destinação de resíduos também foi revelada pela análise estatística econômica e ambiental (KLESHCHOV, et al. 2019).

Desta forma, o artigo tem como objetivo de mostrar o coprocessamento na produção cimentícia como um meio viável de destinação final de resíduos gerados no processo de industrialização, juntamente com os sólidos urbanos, como um método eficiente para o cumprimento da nova política nacional de resíduos sólidos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa trata-se de uma Revisão de Literatura (RL). Uma revisão da literatura identifica, seleciona e avalia criticamente a pesquisa, com o objetivo de responder a uma pergunta claramente formulada. A revisão deve seguir um protocolo ou plano claramente definido, onde os critérios sejam claramente estabelecidos antes da revisão.

Utilizou-se as bases de dados da Scientific Electronic Library Online (Scielo) e CAPES. Os descritores foram: Reciclagem, Blendagem, Co-incineração, Cimenteira e em inglês *Recycling, Blending, Co-insertion, Cementing*. Para aumentar a identificação de estudos, os termos de busca foram expandidos para incluir o "tratamento". Realizou-se as buscas nas referidas plataformas, entre os meses de agosto e setembro de 2021.

Foram considerados elegíveis os artigos que contemplassem os seguintes critérios de inclusão: (1) artigos publicados no período de 2018 a 2022; (2) estudos que tratassem do tema especificamente; e (3) estudos completos e gratuitos. Como critérios de exclusão foram os seguintes itens: (1) artigos publicados antes de 2018; (2) estudos incompletos e pagos.

Realizou-se a leitura sistematizada, sendo que os estudos que passaram pela triagem, tiveram seu texto lido por completo e nesse momento foram aplicados os critérios de exclusão para a seleção dos artigos. Os estudos que não contemplaram os critérios de elegibilidade foram excluídos.

Depois de concluída na realização da pesquisa e levantamento dos artigos, foram encontrados 56 artigos para a análise, destes somente 10 contribuíram efetivamente com o tema, pois somente eles possuíam os critérios acima mencionados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Histórico e pesquisas sobre coprocessamento

Como resultado, 100% dos resíduos de entrada são reciclados ou recuperados sem produzir nenhum resíduo adicional. A tecnologia utilizada também garante uma destruição eficiente de componentes tóxicos. O coprocessamento atinge um desempenho ambiental superior em comparação com aterros e incineração, o que é demonstrado por estudos de avaliação do ciclo de vida. O coprocessamento é reconhecido pela Convenção de Basileia do PNUMA como uma opção prática, econômica, segura e ambientalmente preferida em comparação com outras opções de tratamento de resíduos (KLESHCHOV, et al. 2019).

De acordo com Brum, et al. (2021) a prática do coprocessamento de resíduos na indústria de cimento tem se expandido devido à necessidade crescente de uma destinação ambiental e social mais adequada de resíduos provenientes de diversos processos industriais. Vários estudos vêm sendo conduzidos no sentido de se conhecer melhor os aspectos envolvidos nessa prática, já adotada em muitos países, inclusive no Brasil. Ainda existem diversos pontos a serem conhecidos e estudados, relacionados com essa atividade, que indubitavelmente demandam pesquisas.

Na pesquisa de Battagin e Cardoso (2018) afirmaram que 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 não influem no desempenho do cimento, nem na durabilidade do concreto (FERRARESI, 2020).

Brum, et al. (2021) dizem que a importância do co-processamento se deve ao fato de que, ao se utilizarem resíduos e/ou subprodutos como combustíveis e

matérias-primas para a produção de cimento, reduzem-se a quantidade de combustíveis fósseis tradicionais e a exploração mineral, assim como os impactos ambientais associados a essas atividades. No entanto, a atividade de coprocessamento pode criar novos riscos para a indústria de cimento que precisam ser tratados adequadamente.

Pri (2018) comenta em seu mestrado que o coprocessamento utiliza resíduos como substitutos de energia ou matéria-prima e os lodos de esgoto podem ser utilizados como combustível alternativo nesses fornos. Essa tecnologia já é realizada em alguns países, que utilizam o lodo de esgoto como substituto energético. A problemática envolvendo a utilização dos lodos de esgoto é primeiramente sua característica de possuir uma alta umidade, fato que faz com que este resíduo necessite de secagem prévia para então ser destinado como substituto de energia.

Obtendo a partir da literatura (PRI, 2018; BRUM, et al. 2021) a informações de que o coprocessamento oferece desempenho ambiental superior ao de aterro ou incineração. Entre suas muitas vantagens, ele:

- ❖ Destroi completamente os resíduos por meio de altas temperaturas, excesso de oxigênio e longo tempo de residência;
- ❖ Evita a formação de dioxinas devido ao perfil específico de temperatura;
- ❖ Não deixa resíduos que precisam ser depositados em aterro, pois as cinzas reagem com outros componentes para formar o produto final manufaturado;
- ❖ Reduz as emissões de gases de efeito estufa, pois os resíduos são usados para substituir os combustíveis fósseis;
- ❖ Preserva os combustíveis fósseis não renováveis e os recursos naturais à medida que o valor energético e mineral dos resíduos são recuperados (BRUM, et al. 2021).

3.2. As etapas coprocessamento

Para o melhor entendimento destas etapas, pretende-se apresentar o processo de coprocessamento, desde a solicitação de remoção do resíduo pelo gerador até o fim que é a queima em fornos rotativos em cimenteiras, conforme Figura 1.

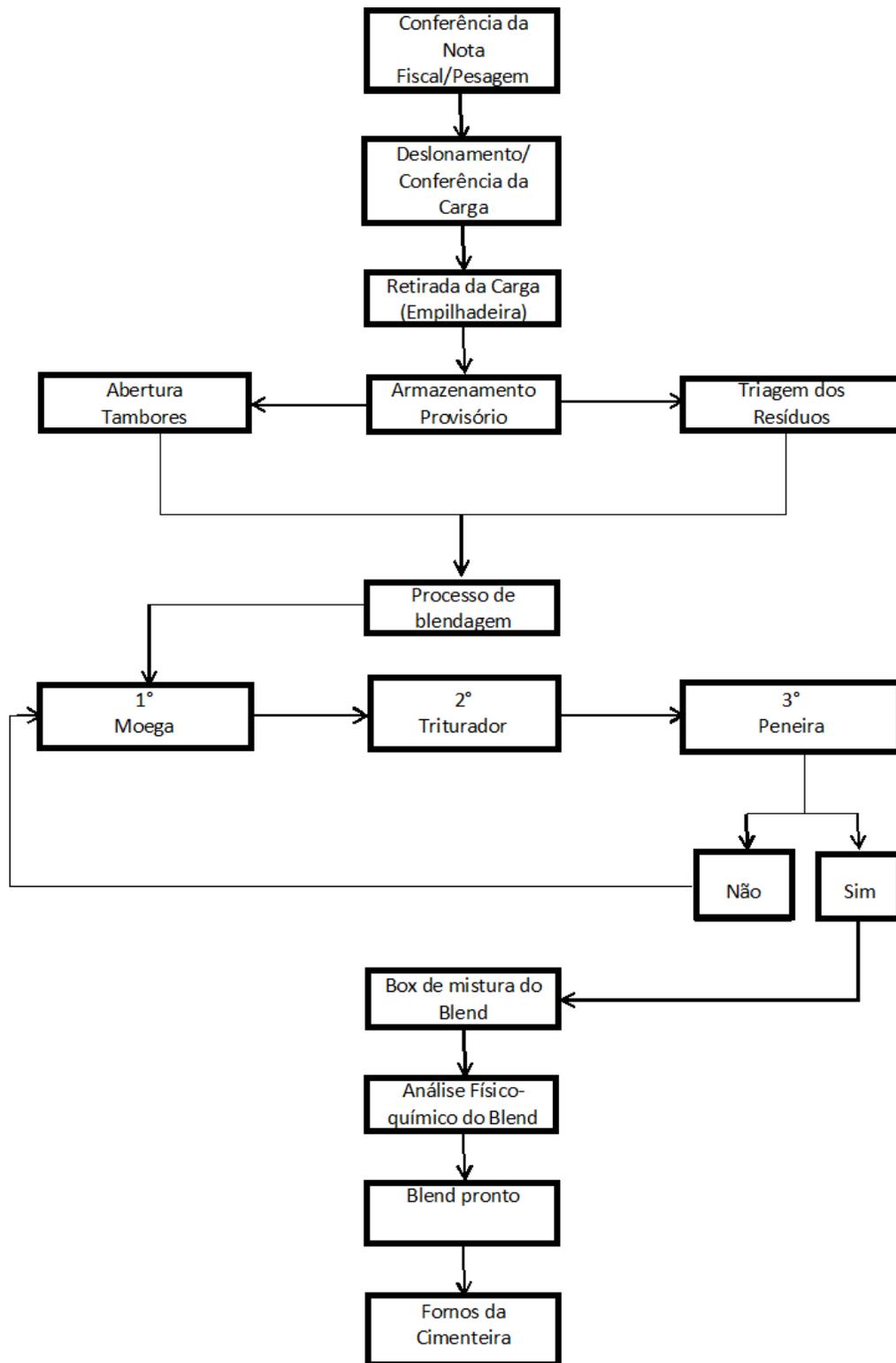


Figura 1 - Fluxograma das Etapas preparação do blend.
Fonte do Autor, 2022.

Brum, et al. (2021) afirmam que uma das alternativas encontradas para se obter a economia de recursos energéticos é o coprocessamento de resíduos industriais e urbanos, o que, por outro lado, veio a ser uma solução para o

tratamento e disposição desses resíduos. Esses resíduos tanto substituem o combustível primário quanto fornecem matéria-prima para a produção do clínquer através de suas cinzas, que são incorporadas (KLESHCHOV, et al. 2019).

A nova Política Nacional de Resíduos Sólidos determina que as indústrias deem uma destinação ambientalmente correta aos resíduos por elas gerados, quer seja por motivo de validade ultrapassada, quer seja por problemas de lotes e/ou controle de qualidade, enfim cabe a elas o armazenamento em local para o armazenamento exclusivo para este fim. (KLESHCHOV, et al. 2019).

Em vários estados da federação existem empresas de blendagem especializadas na descaracterização, tratamento e mistura de resíduos para posterior envio queima em fornos de cimenteiras. De acordo com Ferraresi (2020), para realização da coíncineração, os resíduos são misturados de forma a adquirir algumas propriedades (principalmente do ponto de vista de teor calorífero) semelhantes aos combustíveis normalmente usados. Esse coquetel de resíduos, chamado genericamente de “blend”.

As indústrias após armazenar uma certa quantidade de resíduos fazem o acionamento de uma das empresas especializadas conforme citadas anteriormente para que ela colete os resíduos estocados e dê a destinação final. Neste caso as empresas são obrigadas a comprovar a destinação correta dos resíduos por meio de Notas Fiscais de serviço e a licença ambiental do estabelecimento para a real destinação dos resíduos coletados. (KLESHCHOV, et al. 2019).

Para a ANVISA (2006, p.16), a Política Nacional de Resíduos Sólidos “beneficiará todo território nacional, por meio da regulação dos resíduos sólidos desde a sua geração à disposição final, de forma continuada e sustentável, com reflexos positivos no âmbito social, ambiental e econômico, norteando os Estados e Municípios para adequada gestão de resíduos sólidos”.

Após o acionamento da empresa especializada para fazer a remoção dos resíduos industriais, a mesma encaminha uma equipe de profissionais capacitados para em veículo específico para este tipo de trabalho, para fazer a remoção correta e segura dos resíduos nas instalações da indústria (FERRARESI, 2020).

Durante a remoção dos resíduos nas instalações da geradora a equipe de profissionais utilizam ferramentas especiais para esta finalidade, juntamente com a utilização de equipamentos de proteção individual visando à proteção dos

trabalhadores contra possíveis acidentes durante o procedimento (KLESHCHOV, et al. 2019).

Conclusa a coleta dos resíduos, o veículo carregado é submetido à pesagem para fins de conferência da tonelagem transportada. Além disso, faz-se o preenchimento de papeleta especificando o tipo de produto coletado, número de lote de produção, tipo de vasilhame de armazenamento dos resíduos e o nome do responsável pela liberação dos resíduos. (KLESHCHOV, et al. 2019).

Estas informações coletadas em papeletas são imprescindíveis para a conferência da quantidade e do tipo de produto a ser removido, uma vez, que o valor do frete, a quantidade de resíduo e custo da descaracterização já foram acertados previamente (FERRARESI, 2020).

Após a etapa anterior, o veículo carregado com o resíduo coletado faz o traslado até as instalações da empresa de blendagem, para proceder à descaracterização e mistura do resíduo. Por se tratar de um transporte rodoviário de carga e produtos perigosos o veículo utilizado para esta finalidade é caracterizado em conformidade com o Código Nacional de Trânsito, sobre este transporte. Ferraresi (2020), afirma que os principais riscos decorrem da possibilidade de acidentes durante o frete dos resíduos tóxicos antes ou depois da blendagem. Seja nas estradas mal-conservadas e inseguras que cruzam as áreas urbanas e etc.

Ao chegar às instalações da empresa de blendagem o veículo utilizado no transporte dos resíduos é novamente submetido à pesagem para conferir o peso da carga relatada na papeleta. Terminada a conferência do peso da carga o veículo se desloca para um local chamado de “doca”, onde será retirada da lona de cobertura da carreta e a assim promover a conferência dos resíduos através das papeletas e fotos para registrar em que condições os resíduos transportados chegaram a seu destino, além de atestar se o combinado previamente sobre o tipo de resíduo entre a empresa geradora do resíduo e a empresa de blendagem foi cumprido integralmente (BRUM, et al. 2021).

É bom salientar que alguns tipos de resíduos não permitidos em plantas de blendagem com é o caso de resíduos de serviços de saúde, resíduos radioativos, explosivos, substâncias organocloradas, pesticidas e agrotóxicos; não são permitidos no coprocessamento. Segundo Brum, et al. (2021) afirmam que a queima de resíduos perigosos acarreta um passivo de emissões não desprezível com custos ambientais e sociais. Frente a esses riscos em potencial e aos parâmetros técnicos, o

processo do coprocessamento não destrói todos os poluentes presentes nos resíduos.

Concluída mais uma etapa, os resíduos acondicionados em vasilhames são retirados das carretas com a utilização de empilhadeiras movidas a Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) e acomodados em paletes de madeira no galpão de armazenamento provisório obedecendo às características físico-químicas de cada tipo de resíduo (FERRARESI, 2020).

A próxima etapa dependerá exclusivamente do processo produtivo, ou seja, conforme a demanda de produção de “blend”. Confirmada pela gerência operacional a necessidade de produção, as empilhadeiras fazem a remoção do galpão de armazenamento provisório até o galpão de produção, onde os vasilhames são abertos e submetidos a uma triagem pelos funcionários da área operacional, visando à constatação de resíduos que não se encaixam nas características necessárias para serem queimados em fornos de cimenteiras (KLESHCHOV, et al. 2019).

Ferraresi (2020) relata que a nessa atividade, os trabalhadores abrem os tambores, retiram os resíduos com pás manuais e os misturam em um grande recipiente. Após a mistura, os blends são armazenados e, posteriormente, transportados para as unidades de coincineração.

Concluída a triagem dos resíduos os mesmos são transportados com o auxílio de uma retroescavadeira até uma moega por onde caem os resíduos e depois são conduzidos através de uma esteira transportadora até um triturador de grande porte que faz a descaracterização dos resíduos por intermédio da trituração e esmagamento (KLESHCHOV, et al. 2019).

Esse produto então depois de moído é conduzido à peneira. O produto menor é levado para o box de mistura, o produto que não passa na mesma é então reconduzido a outro lado de um cilindro ao qual o processo é repetido, logo em seguida à uma peneira são conduzidos e encaminhados para uma peneira rotativa de grande porte para reter os resíduos maiores e por fim são lançados através? Do que?

No box armazenamento inicia-se o processo de homogeneização e análise até que todos os parâmetros de qualidade estejam dentro dos padrões exigidos pelos órgãos ambientais e pelas cimenteiras para o coprocessamento. Por fim, é retirada uma amostra do blend para fins de análise de laboratório e depois o

blending pronto é levado em caçamba até aos fornos da cimenteira para ser queimado como combustível (KLESHCHOV, et al. 2019).

Segundo Ferraresi (2020), as empresas de blendagem realizam análises químicas dos resíduos, principalmente, para verificar seu poder calorífero, pH, umidade, bem como concentração de cloro elementar cromo: enxofre; chumbo e cobre.

3.3. Os benefícios ambientais do coprocessamento na indústria cimentícia

A geração de resíduos industriais é um dos grandes desafios do mundo contemporâneo, porém não é perceptível, durante a revisão bibliográfica, qual destino para o montante de resíduos gerados desde a fase inicial do processo produtivo nas indústrias, até chegar ao consumidor final, que por sua vez, consome o produto industrializado e depois o lança nas vias públicas e/ou são mal acondicionados, ocasionando impactos ambientais como: o entupimento de galerias pluviais, contaminação de mananciais superficiais e subterrâneos (lençol freático) (KLESHCHOV, et al. 2019).

Os aterros sanitários já não conseguem comportar toda a demanda residual que chega a todo o instante em suas instalações, ou seja, a quantidade gerada de resíduos é bem maior do que a capacidade da maioria dos aterros sanitários no Brasil dispõe para processar os resíduos. Este inconveniente poderia ser resolvido com o atendimento da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que aprova a nova Política Nacional de Resíduos Sólidos, onde é citado em seu Artigo 3º:

Para os efeitos desta Lei, entende-se por: VII - destinação final ambientalmente adequada: destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sisnama, do SNVS e do Suasa, entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos.

O coprocessamento na indústria cimentícia além de promover os benefícios ambientais descritos antes, permite também o esgotamento das possibilidades de reaproveitamento dos resíduos e conseqüentemente a redução de passivos ambientais (KLESHCHOV, et al. 2019).

Outro setor em que o coprocessamento na indústria cimentícia pode ser explorado é o da geração de energia elétrica a partir da energia calorífica do processo de queima do “blend” nos fornos das cimenteiras. Ferraresi (2020) propõe utilizar a energia calorífica resultante do uso de resíduos do processo de produção do cimento para gerar energia elétrica sem nenhum consumo adicional de combustíveis.

Para isso, o autor apresenta o denominado *Ciclo Kalina*, um processo de conversão de energia que utiliza a mistura amônia e água em um ciclo planejado para maximizar a produção de eletricidade de uma fonte de calor dos resíduos, sem interferir no processo de produção de cimento. Além de reduzir o custo da energia elétrica na produção de cimento, o coprocessamento pelo *Ciclo Kalina* oferece a oportunidade de adquirir benefícios adicionais, como créditos de carbono, por meio de implementação de projetos de cogeração que diminuirá as emissões de CO₂ da queima de combustíveis fósseis nos fornos de clínquer (ROCHA, et al. 2011).

Por fim, o coprocessamento promove a redução e/ou a substituição dos combustíveis fósseis por alternativas menos agressivas ao meio ambiente, colaborando com a redução das emissões de gases poluentes e vazamentos oriundos do processo de extração de combustíveis fósseis, tornando-se uma importante ferramenta de gestão de passivos ambientais (KLESHCHOV, et al. 2019).

Para enfatizar a eficiência do coprocessamento como meio viável e ambientalmente correto para destinação final de resíduos, principalmente no que tange aos benefícios ambientais, faltava apenas comprovar sua eficiência quanto às emissões atmosféricas, através da chaminé dos fornos das cimenteiras. Abaixo estão relacionados os parâmetros de monitoramento (Tabela 1) conforme limites definidos pela Resolução n°264/1999, do CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente (SEMAD, 2013).

Tabela 1: Monitoramento de Emissão Atmosférica elaborada com base nos resultados obtidos na Licença Ambiental.

Contaminantes Atmosféricos	Resultado mg/ Nm ³	Limites Resolução CONAMA n. 264/1999 mg/ Nm ³
SO ³	8,57	280
SO ²	4,78	280
SO _x	10,40	280
Cianetos	0,022	---
MP	13,89	70
HCl	0,042	1,80
CL	0,042	0,084

Fluoreto Gasoso	0,036	5,0
Fluoreto Sólido	0,107	0,107
Hidrocarbonetos Totais (THC)	10,12	20
Benzeno	2,739	20
Tolueno	1,279	100
Etilbenzeno	0,121	100
Xilenos	0,870	100
Nitrogênio	548,6	730
Classe 1 (Cd, Hg, Ti)	0,0053	0,28
Classe 2 (As, Co, Ni, Se, Te)	0,0669	1,40
Classe 3 (Sb, Pb, Cr, CN, F, Cu, Mn, Pt,Pd,Rh, V,Sn)	0,789	7,0
Somatória Classe 1 + Classe 2	0,686	1,40
Somatória Classe 1 + Classe 3	0,791	7,0
Somatória Classe 2 + Classe 3	0,856	7,0

Fonte: Protocolo n. 1931466/2013/2013 do empreendedor Lafarge Brasil S/A p. 6, fonte do Autor, 2014.

Ao verificar os resultados obtidos nos parâmetros monitorados, percebe-se que os mesmos se encontram sensivelmente abaixo dos limites de tolerância, exigidos pela Resolução CONAMA n. 264/1999, provando de forma cabal a eficiência do coprocessamento em todas as suas etapas (SEMAD, 2013).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo mostrou especificamente a eficácia do coprocessamento em fábricas de cimento, como forma de uma utilização eficaz da energia e das matérias-primas recuperáveis aprisionadas nos resíduos industriais. O coprocessamento na indústria cimentícia é uma possibilidade real de substituição e redução dos combustíveis fósseis por uma alternativa menos agressiva ao meio ambiente. Conclui-se, que o coprocessamento na indústria cimentícia é uma fonte energética eficiente, principalmente por sua viabilidade econômica e pela redução da extração de matéria-prima.

Essa possibilidade de substituição energética tem se desenvolvido nos últimos anos, tendo em vista, entre outros aspectos, a preparação de *blends* compostos por misturas de diferentes tipos de resíduos, visando uma maior eficiência energética. Em alguns casos, o resíduo é processado com a finalidade única de substituição dos componentes inorgânicos da farinha crua, ou seja, da alumina, da sílica ou do óxido de ferro, não havendo geração de energia térmica.

Como consequência dos interesses convergentes da indústria geradora e das fábricas de cimento, a queima de resíduos em fornos de cimenteiras, tem-se expandido pelos vários pólos cimenteiros instalados em todo o Brasil. Alinhada à

substituição energética o coprocessamento contribui para finalização do ciclo de vida dos resíduos, possibilitando à médio e longo prazo a redução significativa dos grandes volumes de resíduos depositados nos aterros sanitários.

O coprocessamento desses resíduos para recuperação de energia e como matéria-prima alternativa em forno de cimento pode ser uma metodologia de gestão eficaz para esse fluxo de resíduos. Isso está sendo praticado de forma sustentável em vários países, mas no Brasil o processo carece de implementação adequada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRELPE. **Os descaminhos do lixo**. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/brasil-produz-mais-lixo-mas-nao-avanca-em-coleta-seletiva/>

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Gerenciamento dos Resíduos de Serviço de Saúde**. Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Brasília: Ministério da Saúde, 2006.

BATTAGIN, AF; CARDOSO, FD. Panorama do coprocessamento de resíduos em fornos de cimento no Brasil. *In: ANAIS DO 60º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO – CBC, 2018*.

BRUM, E. M., PANDOLFO, A., BERTICELLI, R., KALIL, R. M. L; PASQUALI, P. B. Economic, social and environmental aspects of the sustainability of a construction waste recycling plant. **Gestão & Produção**, 28(3), e5120, 2021. <https://doi.org/10.1590/1806-9649-2021v28e5120>

FERRARESI, G. J. A. O coprocessamento na indústria de cimento: definição, oportunidades e vantagem competitiva. **Revista Nacional De Gerenciamento De Cidades**, 8(57), 2020 <https://doi.org/10.17271/2318847285720202069>

KLESHCHOV, A, HENGEVOSS, D., TARENTIEV, O., HUGI, C., SAFIANTS, A., VORFOLOMEIEV, A. Análise do potencial ambiental de resíduos de coprocessamento em fornos de cimento. **Eastern-European Journal of Enterprise Technologies**, 4 (10 (100), 13–21, 2019. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.176942>

PRIS, R. T. A. **Uso do lodo de esgoto para coprocessamento em fornos de clínquer**. Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em Meio Ambiente Urbano e Industrial, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, em parceria com a Universidade de Stuttgart e o Sistema Nacional de Aprendizagem Industrial do Paraná, 2018. Disponível em: <https://www.prppg.ufpr.br/siga/visitante/trabalhoConclusaoWS?idpessoal=54371&idpograma=40001016057P5&anobase=2018&idtc=3>

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora haja muito debate intenso sobre o crescimento econômico do Brasil, quase não há discussão sobre o desperdício resultante do mesmo crescimento econômico. A rápida urbanização e industrialização, o aumento da renda familiar e a mudança de estilos de vida estão levando a um aumento na quantidade de resíduos gerados. Assim, a gestão eficaz de resíduos é a necessidade do momento para o país, de fato, imperativa para o crescimento sustentável do país.

Estamos enfrentando uma séria ameaça ambiental, com um rápido aumento de resíduos plásticos que terminam em nossos oceanos, com efeitos devastadores não apenas no meio ambiente, mas também nos meios de subsistência das pessoas através da destruição da vida marinha e efeitos na pesca e outras indústrias. Uma abordagem inovadora para lidar com o problema da gestão de resíduos é o coprocessamento.

O coprocessamento envolve o uso de materiais residuais adequados em processos de fabricação para fins de recuperação de energia e/ou recursos e a consequente redução no uso de combustíveis convencionais e/ou matérias-primas por substituição. No caso da maioria dos grupos de cimento, o coprocessamento refere-se ao uso de um forno de cimento para queimar resíduos de plástico de forma limpa como fonte de energia alternativa, aproveitando as sobras de cinzas no próprio cimento.

De acordo com a literatura levantada, a robustez do coprocessamento como técnica de disposição de resíduos e a sustentabilidade do coprocessamento como processo de recuperação de energia e materiais e aborda as questões relacionadas à gestão sustentável de resíduos industriais.

Assim, conclui-se que o coprocessamento oferece desempenho ambiental superior ao aterro ou incineração. Entre suas muitas vantagens, ele:

- Destroi completamente os resíduos através de altas temperaturas, excesso de oxigênio e longo tempo de residência;
- Evita a formação de dioxinas devido ao perfil de temperatura específico;
- Não deixa resíduos que precisem ser aterrados, pois as cinzas reagem com outros componentes para formar o produto final fabricado;

- Reduz as emissões de gases de efeito estufa, pois os resíduos são usados para substituir os combustíveis fósseis;
- Preserva combustíveis fósseis não renováveis e recursos naturais à medida que o valor energético e mineral dos resíduos são recuperados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Gerenciamento dos Resíduos de Serviço de Saúde**. Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Brasília: Ministério da Saúde, 2006.

BATTAGIN, A. F; CARDOSO, F. D. Panorama do coprocessamento de resíduos em fornos de cimento no Brasil. In: **anais do 60º congresso brasileiro do concreto – CBC**, 2018.

BRUM, E. M., PANDOLFO, A., BERTICELLI, R., KALIL, R. M. L; PASQUALI, P. B. Economic, social and environmental aspects of the sustainability of a construction waste recycling plant. **Gestão & Produção**, 28(3), e5120, 2021. <https://doi.org/10.1590/1806-9649-2021v28e5120>

BOESCH, M. E; HELLWEG, S. **Identificar potenciais de melhoria na produção de cimento com avaliação do ciclo de vida**. Environ Sci Technol , 44, pp . 9143-9149, 2010.

CAPONERO, J.; TENÓRIO, J. A. S. Caracterização do clínquer obtido no coprocessamento de Lama de fosfatização. In: **V Congresso Brasileiro de Cimento**, Anais. Florianópolis: ABCP, 1999.

CARPIO, R. C. **Otimização no Co-processamento de Resíduos na Indústria do Cimento Envolvendo Custos, Qualidade, e Impacto Ambiental**. Itajubá, Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Itajubá, 2005.

FERRARESI DE ARAUJO, G. J. O coprocessamento na indústria de cimento: definição, oportunidades e vantagem competitiva. **Revista Nacional De Gerenciamento De Cidades**, v. 8, n. 57, 2020.

FREITAS, S. S.; NOBREGA, C. C. Os benefícios do co processamento de pneus inservíveis para a indústria cimenteira. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 19,n. 3, p. 293-300, 2014.

KLESHCHOV, A, HENGEVOSS, D., TARENTIEV, O., HUGI, C., SAFIANTS, A., VORFOLOMEIEV, A. Análise do potencial ambiental de resíduos de coprocessamento em fornos de cimento. **Eastern-European Journal of Enterprise Technologies** , 4 (10 (100), 13–21, 2019. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.176942>

MILANEZ, B. Coincinação de resíduos industriais em fornos de cimento: problemas e desafios. In: 9º **Encontro Nacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente**, Anais. Curitiba: ENGEMA, 2007.

MIROLLI, M.D. **The kalina cycle for cement kiln waste heat recovery power plants**. In: 44th IEEE Conference on Decision and Control, Anais. Sevilha: IEEE, 2005.

MONTENEGRO, PM. **Análise para o aceite de resíduos para coprocessamento em fornos de clínquer.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. Disponível em: <https://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/283M.PDF>

PRIS, R. T. A. **Uso do lodo de esgoto para coprocessamento em fornos de clínquer.** Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em Meio Ambiente Urbano e Industrial, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, em parceria com a Universidade de Stuttgart e o Sistema Nacional de Aprendizagem Industrial do Paraná, 2018. Disponível em: <https://www.prppg.ufpr.br/siga/visitante/trabalhoConclusaoWS?idpessoal=54371&idprograma=40001016057P5&anobase=2018&idtc=3>

ROCHA, D.F; LINZ, V.F.C; SANTO, B.E.C. Aspectos do coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer. **Eng Sanit Ambient**, v.16 n.1, jan/mar, p. 1-10, 2011.

SONIA DFR; VANESSA FCL; BELINAZIR CES. Aspectos do coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer. **Engenharia Sanitária Ambiental**, 16(1), 2011.

SILVA, F. F. Análise da indústria cimentícia brasileira. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**. Ano 04, Ed. 01, Vol. 04, pp. 61-67. Janeiro de 2019. ISSN:2448-0959