

**ÁREA TEMÁTICA: Gestão Ambiental**

## **COPROCESSAMENTO: ESTUDO DE CASO DA UTILIZAÇÃO DE PNEUS INSERVÍVEIS NA FABRICAÇÃO DE CIMENTO**

*Joana de Souza Mücke<sup>1</sup> (joana.mucke@gmail.com), Vanda Ferreira Ribeiro<sup>2</sup>  
(vanda14071972@gmail.com), Rejane Maria Candiota Tubino<sup>3</sup> (rejane.tubino@ufrgs.br)*

1, 2 e 3 Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais,  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

### **RESUMO**

A cada dia cresce a preocupação com o inadequado destino dos resíduos sólidos, devido às graves consequências que sua má destinação gera para a sociedade e o meio ambiente. Diante deste cenário atual de grande necessidade de desenvolvimento sustentável e dos transtornos que o descarte inadequado de pneus gera ao meio ambiente, a utilização de pneus como combustível tornou-se uma ótima alternativa para diminuir o passivo ambiental gerado por este resíduo sólido, além de contribuir para a redução da utilização de recursos naturais não renováveis. A indústria cimenteira possui um alto consumo de energia térmica, e a utilização de resíduos como combustíveis alternativos e secundários, permite no coprocessamento, o aproveitamento do seu poder calorífico no processo produtivo. A prática do coprocessamento possui variações de acordo com a região, do tipo de processo de produtivo e da instalação de produção, para permitir uma alta eficiência de destruição térmica e baixa emissão de poluentes. O presente trabalho tem como objetivo apresentar 2 (dois) casos da utilização de pneus inservíveis na fabricação de cimento como destino final dos pneus, que traz benefícios à sociedade e ao meio ambiente.

**Palavras-chave:** Coprocessamento, pneus, cimento.

## **CO-PROCESSING: CASE STUDY OF SCRAP TIRES USAGE IN CEMENT MANUFACTURING**

### **ABSTRACT**

Each day the concern with the inadequate destination of solid waste grows, due to the serious consequences that its poor disposal generates to society and the environment. Given This current scenario of great need for sustainable development and the problems that inadequate tyre disposal generates to the environment, the use of tyres as fuel has become a great alternative to reduce environmental liabilities Generated by this solid residue, in addition to contributing to the reduction of the use of non-renewable natural resources. The cement industry has a high consumption of thermal energy, and the use of waste as alternative and secondary fuels, allows at the co-processing, the utilization of its calorific power in the production process. The practice of co-processing has varied according to the region, the type of production process and the manufacturing facility, to allow a high efficiency of thermal destruction and low emission of pollutants. The present work aims to present 2 (two) cases of the use of tires used in the manufacture of cement as the final destination of the tyres, which brings benefits to society and the environment.

**Keywords:** Co-processing, tires, cement.eyword;

### **1. INTRODUÇÃO**

A disposição de resíduos não passíveis de reutilização constitui-se um problema legal e ambiental, que preocupa diversas empresas geradoras, em função da pressão exercida por órgãos de controle e sociedade. No Brasil, parte significativa dos resíduos industriais é depositada em aterros sanitários ou industriais. Mesmo que estes aterros sejam impermeabilizados e protegidos para impedir que os líquidos ou gases resultantes da decomposição contaminem o ambiente, esta solução não é

sustentável, pois muitos resíduos não se decompõem, ou seja, não são absorvidos pela natureza. Uma alternativa mais que degrada menos o ambiente é a prática de coprocessamento de resíduos (HIROSE, 2004).

O coprocessamento pode ser definido como tecnologia de queima de resíduos (como pneus, óleos usados, plásticos, tintas etc.) e de biomassa (moinha de carvão vegetal, casca de arroz, bagaço de cana etc.) em fornos de cimento, em substituição parcial de combustíveis tradicionais não renováveis, como o coque de petróleo, o óleo combustível e o carvão mineral, e também de matérias-primas convencionais (CRUZ; HUPFFER; JAHNO, 2016).

Para o aproveitamento energético através do coprocessamento, os resíduos são primeiramente enviados para centrais de blendagens para a preparação dos blends, que são misturas de vários resíduos com objetivo de obter alto poder calorífico. Após esse processo ocorre o envio para as cimenteiras, onde serão utilizados em percentuais de substituição de combustíveis fósseis. Os fornos utilizados para a fabricação de cimento possuem condições favoráveis para a destruição total dos resíduos, como temperaturas elevadas e longos ciclos produtivos, promovendo a incorporação das cinzas geradas do processo ao cimento, não havendo geração de partículas (BARROS, 2014). Conforme avaliação da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2016), essa tecnologia vem sendo cada vez mais utilizada no Brasil, seja por razões ambientais, energéticas e econômicas, ou por incentivo de políticas públicas.

Dados preliminares da indústria e estimativas de mercado indicam que as vendas internas de cimento em julho de 2016 somaram 5,2 milhões de toneladas, com queda de 11,7% em relação a julho de 2015. De acordo com o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC), existem 88 fábricas de cimento instaladas no Brasil, sendo que 35 estão licenciadas pelos órgãos ambientais para coprocessar resíduos. A utilização desses resíduos como combustível alternativo representou uma substituição de 15% de combustíveis fósseis não renováveis (SNIC, 2016). O pneu inservível é atrativo para utilização como combustível alternativo ao coque de petróleo e carvão mineral na indústria cimenteira devido ao seu elevado poder calorífico.

Em síntese, a reutilização de pneus em coprocessamento tem desempenhado importante papel, tanto em preservação do ambiente, que é poupado do descarte, quanto econômico, pois uma parte do valor do produto é resgatada e reutilizada (HEESE et al., 2005; DOWLATSHAHI, 2000).

Nesse contexto apresentado, o presente trabalho tem por objetivo descrever práticas de coprocessamento na fabricação de cimento. Para este estudo exploratório foi realizada uma revisão bibliográfica e posterior revisão de estudos de caso de empresas atuantes na utilização de coprocessamento de pneus na produção de cimento no Brasil.

## **2. METODOLOGIA**

Neste estudo foram utilizados procedimentos metodológicos de pesquisa qualitativa, realizando, através principalmente de uma revisão bibliográfica e documental, um levantamento dos principais artigos técnicos relacionados ao assunto de coprocessamento de pneus inservíveis, bem como das resoluções brasileiras vigentes e sites eletrônicos com informações relevantes.

## **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1 PNEUS**

Os pneus, são objetos de forma circular e cor preta produzidos de borracha e sua aplicação é para todos os veículos automotores, desde bicicletas até aviões. Geralmente são inflados com gases, porém, em alguns casos, como das máquinas agrícolas, são parcialmente preenchidos com água, para melhorar a tração e reduzir a patinação. Conforme Oliveira (2007), é fabricado para atender os hábitos de consumo, assim como as condições climáticas e as características do sistema viário existente em cada país.

Os pneumáticos são constituídos por uma combinação de borracha natural e sintética, e para conferir a propriedade de resistência mecânica é adicionado à mistura da borracha o produto

conhecido como negro de fumo, bem como a durabilidade, pigmentação e desempenho. Na composição do produto, ainda é acrescentado o enxofre, compostos de zinco como aceleradores e outras substâncias que atuam como ativadores e antioxidantes. Já o fio de aço e o náilon são crescidos para reforçar a carcaça do pneu (GALLE; LOPES; ARAÚJO; GRAMA, 2010).

A borracha natural é obtida através da coagulação do látex, um elastômero natural, oriundo das seringueiras. O polímero da borracha natural é o cis-1,4-poliisopreno, já a borracha sintética tem como base os polímeros butadieno e estireno, conforme a Figura 1. Ambas as borrachas tem alta elasticidade e, dessa maneira, retornam para sua forma original após sofrer alguma tensão (MENDA, 2012).

De acordo com o Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES, 1998), o negro de fumo é originado através de partículas finamente divididas, resultantes do processo da pirólise, através da decomposição térmica de hidrocarbonetos líquidos ou gasosos. O negro de fumo não pode ser considerado fuligem, uma vez que apresenta concentrações desprezíveis de hidrocarbonetos aromáticos, que são carcinogênicos. Porém, como é constituído por partículas muito finas, há a necessidade de sistemas de controle das emissões atmosféricas, para não causar efeitos danosos ao meio ambiente decorrentes do material particulado gerado no processo.

O processo produtivo do pneu consiste em uma combinação da borracha natural, sintética e enxofre, que são vulcanizados por tempo, temperatura e pressão controlados para que o elastômero aumente sua rigidez. Esse aumento da rigidez se dá pelo fato do enxofre ligar as cadeias carbônicas umas nas outras, formando, assim, uma macromolécula. Logo após, negro de fumo, compostos de zinco como aceleradores, outros compostos ativadores e antioxidantes são enviados para o misturador.

O processo de homogenização é acompanhado por sistemas computacionais para garantir a uniformização das matérias primas e insumos. Em seguida, inicia-se a montagem do pneu sobre um tambor inflável, cujo revestimento é feito por um perfil interno, que evita a passagem de ar. Posteriormente, é acrescentado sobre o perfil interno, o tecido de náilon e a cinta de náilon e aço, que conferem ao pneu força e flexibilidade. Na lateral, são implantados aros para formar o talão, com o objetivo de permitir melhor assentamento do pneu à roda. Dando prosseguimento, acrescenta-se mais um perfil, denominado flanco do pneu, no qual é injetado ar comprimido para as extremidades se aproximarem do tambor, dando uma forma sugestiva ao pneu. Na sequência, a banda de rodagem é colocada e o pneu é levado ao molde e a extrusora, saindo com o formato desejado e com as propriedades mecânicas previamente definidas.

Todos os pneus são inspecionados por raios-X e alguns passam por cortes e testes das propriedades mecânicas, como tração e desgaste (CLAVELARIO, 2012).

Após o produto estar acabado, o pneu está pronto para a distribuição, comercialização e utilização, entretanto, ao se considerar o ciclo de vida desse produto, o resíduo torna-se um fator importante a ser avaliado, uma vez pode vir a causar poluição visual e, quando considerada às condições de saúde pública, em épocas de precipitação pluviométrica, o pneu se torna uma provável fonte para o desenvolvimento de pragas e vetores, devido à possibilidade de acumular água.

A grande dificuldade na disposição destes resíduos é saber qual o destino correto do pneu. Existem várias alternativas de destinação para os pneus inservíveis, como: recauchutagem, recuperação, regeneração, pirólise e coprocessamento (SANDRONI, 2003).

### 3.2 COPROCESSAMENTO

As primeiras queimas de resíduos em fornos de produção de clínquer, denominadas de coprocessamento, foram realizadas na década de 70. No Canadá foram realizados testes com resíduos clorados em fornos por via úmida. Na Europa, a França realizou testes em 1978 (HOLCIN, 2014). Nacionalmente, os coprocessamento de resíduos industriais foram iniciados a partir de 1990 no estado de São Paulo.

No coprocessamento, dois ou mais resíduos de origem diversa participam de um mesmo processo, que pode ser de fabricação ou de geração de calor. Os resíduos atuam como substitutos de matérias-primas ou de combustível (CUGINI et al., 1989; LUO e CURTIS, 1996; SU et al., 2009).

Segundo a resolução 316/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, coprocessamento de resíduos industriais é a reutilização de material ou substância inservível ou não passível de outro aproveitamento econômico resultante de atividades industriais, urbanas, agrícolas e serviços de saúde e comercial, em processos de tratamento térmico cuja operação seja realizada acima de 800°C (CONAMA, 2010). Na indústria cimenteira, o combustível principal de fornos de clínquerização pode ser o carvão mineral ou o coque de petróleo. Uma parte do poder calorífico pode ser obtida por processamento conjunto entre o combustível fóssil e resíduos industriais, tais como a borra de tinta, a casca de arroz, além de aparas de certos vegetais ou pneus inservíveis (SELLITTO, 2002). Além dos benefícios econômicos, devidos ao custo menor do resíduo, observam-se benefícios ambientais, tanto pela menor necessidade de extração e processamento do combustível fóssil, como pelo destino dado ao resíduo (SANTI, 2002).

Um dos resíduos mais utilizados como combustível alternativo é o pneu inservível. Em 2009, 180 mil toneladas de pneus foram coprocessados, o que corresponde a 36 milhões de unidades (SNIC, 2010). Um único forno, com capacidade de produção diária de duas mil toneladas de clínquer, pode consumir até quarenta mil pneus por dia. (Panorama do coprocessamento 2017). Uma das grandes vantagens da queima de pneus para a indústria do cimento é o seu poder calorífico, que normalmente se apresenta superior ao do carvão. Os pneus inservíveis são considerados um dos grandes passivos ambientais da atualidade. Somente em 2013, foram produzidos 68,8 milhões de pneus, de acordo com as estatísticas da ANIP (2014). Da instalação da primeira fábrica até a primeira legislação sobre o descarte adequado de pneus, passaram-se 76 anos. Durante esse período, milhões de pneus foram descartados de forma inadequada em lixões, terrenos baldios, rios e lagos. Os dados desse passivo ambiental são incertos, podendo variar entre 100 e 900 milhões de pneus inservíveis dispostos de maneira incorreta no Brasil. Esses pneus representam um grave problema ambiental e também de saúde pública, pois é um criadouro de vetores de doenças como a dengue e a leptospirose (Nohara et al, 2005).

Na Alemanha após uma série de experiências bem sucedidas do uso do pneu no coprocessamento, este material está na lista de materiais adequados para serem utilizados como combustíveis alternativos. Dependendo do local em que os pneus são queimados no forno rotativo, podem contribuir para a redução da emissão de óxido de nitrogênio (CEMBUREAU, 2009).

Segundo Pipilikaki et al (2005), 88% do pneu é composto de carbono e oxigênio, o que permite sua rápida combustão e o poder calorífico relativamente alto (aproximadamente 31.400 kJ/kg). Esse alto poder calorífico do pneu faz dele um efetivo combustível alternativo, permitindo que a cada tonelada de pneu introduzida no forno rotativo, 1,25 toneladas de carvão possam ser reduzidas.

Para a introdução de pneus inteiros, às vezes devem ser feitos ajustes no alimentador de combustíveis do pré-calcinador ou do próprio forno. No Brasil, onde a maioria das fábricas possui pré-aquecedor e pré-calcinador, é adotado um sistema de introdução de pneus. Nos sistemas de alimentação, os intervalos das aberturas das comportas ocorrem em função do tipo e do PCI do combustível que está sendo introduzido. Como os pneus necessitam de uma taxa de alimentação específica, um sistema de alimentação especial é necessário.

O controle da taxa de alimentação do pneu inteiro é considerado de extrema importância, pois o modo que ele é queimado no forno rotativo pode influenciar a emissão de CO nos gases de exaustão do forno (Signoretti, 2008). O alimentador de pneu é capaz de controlar a taxa de entrada dos pneus através de uma câmara à vácuo com comportas. Os pneus entram no pré-calcinador ou no forno com a abertura das comportas.

Além da composição química, para analisar se é possível utilizar o pneu como combustível secundário é necessário o estudo dos subprodutos da queima do mesmo, pois podem se formar uma série de gases poluentes. Durante a queima, o nível de poluentes emitidos não deve ultrapassar aqueles previstos na legislação vigente. Nessa análise, os principais parâmetros que devem ser analisados são a temperatura a qual o resíduo será queimado e o tempo de residência do mesmo no forno rotativo ou no pré-calcinador, onde normalmente o pneu é introduzido. Os pneus, como todos os combustíveis alternativos, possuem uma porcentagem máxima que pode ser queimada no forno, levando em conta o poder calorífico e principalmente a restrição de emissão de

poluentes. Muitos estudos indicam que a queima de pneus não deve ultrapassar 20% do total de calor requerido no processo, que é o que acontece na maioria das fábricas de cimento no Brasil (Paula, 2009).

#### 4. ASPECTOS LEGAIS

As legislações e resoluções a nível federal, estadual e as normas técnicas utilizadas como base de consulta para utilização de coprocessamento.

##### 4.1 LEGISLAÇÃO FEDERAL

- **Resolução CONAMA nº 264, de 26 de agosto de 1999** – Regulamenta os aspectos de licenciamento ambiental estabelecidos na Política Nacional do Meio Ambiente;
- **Resolução CONAMA nº 316, de 29 de outubro de 2002** - Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos;
- **Resolução CONAMA nº 258, de 26 de agosto de 1999** - Determina que as empresas fabricantes e as importadoras de pneumáticos ficam obrigadas a coletar e dar destinação final ambientalmente adequada aos pneus inservíveis;
- **Resolução CONAMA nº 386, de 27 de dezembro de 2006** - Altera o art. 18 da Resolução CONAMA nº 316, de 29 de outubro de 2002.

##### 4.2 LEGISLAÇÃO ESTADUAL

- **Norma Técnica FEPAM nº 01/1999** - Licenciamento ambiental para coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer;
- **Resolução CONSEMA nº 02, de 17 de abril de 2000**- Dispõe de norma sobre o licenciamento ambiental para co-processamento de resíduos em fornos de clínquer;
- **Portaria FEPAM nº 16, de 20 de abril de 2010** – Proíbe disposição em ARIP de resíduos com características de inflamabilidade no solo;
- **Resolução CONSEMA nº 370, de 14 de dezembro de 2017** - Dispõe sobre o regramento para o uso de derivados de madeira, em especial MDF e MDP.
- **Diretriz Técnica FEPAM nº 01, de 07 de novembro de 2018** - Limites máximos de emissões de poluentes para fontes fixas.

#### 5. CASES

##### 5.1. ESTUDO DE CASO DE COPROCESSAMENTO DE PNEUS EM INDÚSTRIA DE CIMENTO EM SÃO LUIS DO MARANHÃO

O estudo em questão foi realizado em 2016 e foi apresentado no XXXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção em Joinville, SC. No primeiro semestre de 2016 foram realizadas visitas *in loco* numa indústria de cimento localizada em São Luís, no qual foram feitas observações diretas e analisadas as atividades relacionadas ao coprocessamento.

A empresa estudada está presente em 23 países e possui um portfólio diversificado em termos geográficos e de negócios. A empresa atua no segmento de materiais de construção desde 1933 e vem se destacando entre as 10 maiores empresas do mundo neste setor, com capacidade produtiva de cimento de 54.5 milhões de toneladas por ano. Esta organização possui 34 fábricas de cimento, 22 moagens, 322 centrais de concreto, 86 instalações de agregados e 9 unidades de argamassa. Além disso, é referência na utilização do coprocessamento em atividade desde 2005 produzindo milhões de toneladas de resíduos anualmente.

A empresa, objeto do estudo de caso, possui a política ambiental e as “Regras Verdes”, que definem a gestão adequada de resíduos sólidos como um dos temas fundamentais na gestão ambiental, no qual vem adquirindo experiência em coprocessamento (com fábricas licenciadas para uso de

[www.firs.institutoventuri.org.br](http://www.firs.institutoventuri.org.br)

combustíveis alternativos) e possui unidades de grande porte instaladas próximas a grandes centros urbanos. No case estudado, a empresa adotava como premissas básicas para práticas de coprocessamento a análise de resíduos enquadrados como substitutos de matéria-prima, emissões atmosféricas que não comprometam a qualidade ambiental, unidades produtoras de clínquer licenciadas pelo órgão ambiental competente, variabilidade na qualidade do cimento e fornecimento regular do resíduo.

O processo tem início os trâmites comerciais e preparatórios para licenciamento de novos resíduos para coprocessamento, em seguida realizando-se o processo de licenciamento de resíduos. Referente ao controle de qualidade, todos resíduos para serem coprocessados foram previamente submetidos a uma análise técnica de controle de qualidade para definição dos volumes e composições dos resíduos a serem coprocessados.

O coprocessamento substitui o combustível coque de petróleo no processo de produção de clínquer ao transformar resíduos industriais como pneus inteiros em energia, substituindo o uso de energia não renovável por fontes alternativas e seguras.

O recebimento dos pneus pela empresa está condicionado ao licenciamento, efetuando-se controles para garantir as condições ótimas das cargas, caminhões, motoristas e documentações. Antes do recebimento do resíduo é solicitado aos geradores laudo de laboratório credenciado com análises.

Os pneus, entregues diariamente na planta, são picados em pedaços de cinco centímetros e armazenados. A empresa fez investimentos em uma planta industrial de recebimento e preparação de pneus inservíveis, composta por: pavilhão industrial para descarga e empilhamento; esteira transportadora para abastecimento do triturador industrial; retirada das partes metálicas por magnetismo e peneira de seleção e eventual retorno.

A técnica de utilização de pneus picados em fornos de clínquer exigiu grandes investimentos iniciais, pois os picadores de pneus demandam custos de manutenção e operação. A produção nominal do equipamento é de até 12 toneladas, considerando que um pneu inservível de automóvel pesa aproximadamente 5,0 kg, têm-se 2.400 pneus triturados por hora de capacidade plena.

Para atendimento das normas como comprovação que os resíduos coprocessados atendem aos limites permitidos, são enviados ao órgão ambiental trimestralmente laudos de laboratório credenciado, junto com as ARTs dos responsáveis, com caracterização dos resíduos recebidos no período.

A partir das descrições mostradas nesta pesquisa, observou-se que para práticas de coprocessamento na indústria é necessário cumprir requisitos legais e promover as melhores práticas: obter as licenças e atender as condicionantes, avaliar os riscos de saúde e segurança antes da utilização dos resíduos, monitorar e controlar as entradas, processos, produtos e emissões: avaliar as propriedades físicas e químicas

A empresa analisada dispõe de premissas básicas para realizar o coprocessamento, ou seja, os resíduos devem estar enquadrados como substitutos de matéria-prima, fundentes e de combustíveis, as emissões atmosféricas não podem comprometer a qualidade ambiental, a unidades produtoras de clínquer licenciadas pelo órgão ambiental competente. O coprocessamento de pneus inservíveis não pode alterar a qualidade do cimento, por isso o foco no monitoramento, e deve ter fornecimento regular dos resíduos para que não ocorra paradas na produção.

## 5.2.CO-PROCESSAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM FÁBRICA DE CIMENTO EM LARANJEIRAS SERGIPE

O estudo em questão foi realizado em 2009, por um estudante da Faculdade São Luís de França na empresa Cimento Sergipe S/A – CIMESA que é uma das unidades da Votorantim Cimentos, e está situada na cidade de Laranjeiras/SE, no qual sua principal área de atuação é a produção de cimento e clínquer.

Desde 2003, nesta unidade foi iniciada a produção de cimento e clínquer também voltada para o mercado externo, principalmente Estados Unidos e Canadá. Sua capacidade de produção instalada é de 1,3 milhões toneladas/ano de cimento e que está em fase de ampliação, a qual aumentará esta capacidade para 2,5 milhões de toneladas de cimento/ano.

O processo foi acompanhado durante a fase do teste de queima do coprocessamento de pneus. Inicialmente, os pneus chegam em caminhões basculantes ou carga seca. Ao chegar à fábrica os caminhões são inspecionados, onde são verificadas as condições de acondicionamento do resíduo, observando-se a existência de possíveis contaminações. Caso se verifique alguma irregularidade importante, a carga será devolvida. Os caminhões são descarregados em local coberto, protegidos de chuvas para evitar acúmulo de água, evitando-se a proliferação de insetos. Com o auxílio de uma pá carregadeira outro caminhão basculante é carregado para levar os pneus até a área coberta embaixo da torre de ciclones, próximo do elevador.

O elevador é abastecido manualmente com os pneus, respeitando-se sua carga máxima de 1000 kg. O funcionário fica do lado de fora do elevador e avisa ao outro funcionário que está no terceiro piso da torre de ciclones para que este acione a subida do elevador. O funcionário que se encontra no terceiro piso da torre abre as portas do elevador e inicia a retirada dos pneus, empilhando-os, e sempre observando para que a altura das pilhas não ultrapasse a do guarda corpo da plataforma. Assim, o pneu é transportado para a válvula de alimentação, depositando-os no *shut*, seguindo para o forno. Os pneus são inseridos individualmente no forno, de acordo com um disparo de um alarme sonoro. Esse alarme é acionado pelo operador do painel central que acompanha *on line* a dosagem dos pneus.

Neste trabalho, verificaram-se que a utilização de pneus na indústria cimenteira traz vantagens ao meio ambiente e à indústria cimenteira, pois causa redução do passivo ambiental gerado pelos pneus, que ainda hoje são descartados inadequadamente no ambiente.

Para as cimenteiras, este processo é possível pelo alto poder energético do pneu. Então, com a utilização dos pneus inservíveis como combustível alternativo, as indústrias cimenteiras reduzem o consumo dos combustíveis habituais (coque de petróleo, carvão mineral, óleo combustível e gás natural) contribuindo assim com a diminuição da utilização de recursos naturais não renováveis e, ao mesmo tempo, também minimizando custos operacionais.

Com este estudo podemos afirmar que os combustíveis habituais podem ser perfeitamente substituído pelo pneu mantendo a mesma eficiência em produzir calor, devido ao fato do poder calorífico do pneu (cerca de 7.000 kcal/kg) ser muito próximo do poder calorífico do coque de petróleo (por volta de 8.000 kcal/kg).

A utilização dos pneus inservíveis nos fornos das cimenteiras acarreta a redução do consumo de combustíveis convencionais, citados anteriormente, trazendo benefícios ao meio ambiente, além de não ocorrer qualquer alteração na qualidade do cimento.

Portanto, a utilização de pneus como combustível alternativo na indústria cimenteira, por diminuir o passivo ambiental gerado pelo pneu, ser fonte alternativa de energia reduzindo a utilização de recursos não renováveis, é uma das melhores alternativas de destinação para os pneus. Para as empresas que utilizam este resíduo como combustível alternativo, o ganho além de ambiental, contribuindo para o desenvolvimento sustentável, é lucrativo no que diz respeito ao consumo de energia por substituir parcialmente os combustíveis tradicionais dos fornos nas indústrias, mais precisamente, a indústria cimenteira, alvo de estudo deste trabalho.

### **3. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Avaliando diversos casos sobre a utilização de pneus em processos de coprocessamento, em sua maioria como fonte alternativa de energia na indústria de cimento, apresenta-se uma destinação final adequada para vários tipos de resíduos industriais e passivos ambientais gerados atualmente. Essa técnica de reciclagem energética aproveita o PCI dos resíduos através da sua queima gerando energia e simultaneamente a destruição térmica e o tratamento térmico dos resíduos, se bem realizada.

Os principais resultados apresentados nos cases foram econômicos e ambientais. Há uma série de vantagens com relação ao coprocessamento de pneus inservíveis em fornos de clínquer, tais como: eliminar os criadouros de vetores, geração em menores quantidades de SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub> que os combustíveis tradicionais; redução do custo de produção do cimento; ambiente de produção do cimento (meio alcalino e presença de sulfatos, além do tempo de residência elevado) dificulta a formação de dioxinas e furanos; e o alto poder calorífico do pneu.

## REFERÊNCIAS

ANIP – Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos. “Produção”. Disponível em: <[http://www.anip.com.br/index.php?cont=conteudo&area=32&titulo\\_pagina=Produ%E7%E3o](http://www.anip.com.br/index.php?cont=conteudo&area=32&titulo_pagina=Produ%E7%E3o)>. Acesso em: Jan. de 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). Panorama do Coprocessamento Brasil 2016. Disponível em: [http://coprocessamento.org.br/cms/wp-content/uploads/2017/01/Panorama\\_coprocessamento\\_2016-1.pdf](http://coprocessamento.org.br/cms/wp-content/uploads/2017/01/Panorama_coprocessamento_2016-1.pdf). Acesso em: 14 de setembro de 2017.

BARROS, T. R. Blendagem e Coprocessamento de Resíduos Perigosos. UNESP – TRSEG. ABRIL/2014. Disponível em: <http://www.sorocaba.unesp.br/Home/Graduacao/EngenhariaAmbienta/Sandr.Mancini/2014-thalita.pdf>. Acesso em: 25 de agosto de 2017.

BNDES – BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO. Negro de fumo, 1998. Disponível em: <[http://www.bndespar.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\\_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/setorial/negro.pdf](http://www.bndespar.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/setorial/negro.pdf)>. Acesso em: 09 jun. 2016.

CEMBUREAU – European Cement Association. “Sustainable Cement Production – Coprocessing of alternative fuels and raw materials in the European cement industry”. [S.l.]: CEMBUREAU, 2009. Disponível em: <<http://www.cembureau.be/sustainable-cement-production-coprocessing-alternative-fuels-and-raw-materials-cement-industry>>. Acesso em: 15 de Ago. de 2013.

CLAVELARIO, R. F. PROCESSAMENTO DE ELASTÔMEROS NA FABRICAÇÃO DE PNEUMÁTICOS. 2012. 67 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia em Produção de Polímeros, Centro Universitário Estadual da Zona Oeste, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <<http://www.uezo.rj.gov.br/tccs/capi/Renato%20Ferreira%20Clavelario.pdf>>. Acesso em: 04 ago. 2016.

CRUZ, S.S. DA; HUPFFER, H.M.; JAHNO, V.D. Destinação final de resíduos sólidos industriais: Panorama do Coprocessamento no Brasil. Fórum Internacional de Resíduos Sólidos. Anais, 2016. Disponível em: [http://www.firs.institutoventuri.org.br/images/t109\\_destina%c3%87%c3%83o\\_final\\_de\\_res%c3%8dudos\\_s%c3%93lidos\\_industriais\\_panorama\\_do\\_coprocessamento\\_no\\_brasil.pdf](http://www.firs.institutoventuri.org.br/images/t109_destina%c3%87%c3%83o_final_de_res%c3%8dudos_s%c3%93lidos_industriais_panorama_do_coprocessamento_no_brasil.pdf). Acesso em: 25 de agosto de 2017.

CUGINI, A.; LETT, R.; WENDER, I. Coal/oil coprocessing mechanism studies. Energy Fuels, v.3, n.2, p.120–126, 1989.

GALLE, A. H.; LOPES, E. F. S.; ARAÚJO, M. J. G.; GRAMA, Y. S. A influência do pneu no meio ambiente. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CIÊNCIAS INTEGRADAS DA UNAERP CAMPUS GURUJÁ, 2010. Disponível em: <<http://www.unaerp.br/siciunaerp/edicoesanteriores/2010/secao-1-6/1196-a-influencia-do-pneu-nomeio-ambiente/file>>. Acesso em: 04 jun. 2016.

HEESE, H.; CATTANI, K.; FERRER, G.; GILLAND, W.; ROTH, A. Competitive advantage through take back of used products. *European Journal of Operational Research*, v.164, n.1, p.143-157, 2005.

HIROSE, S. Waste management technologies in Japanese cement industry – from manufacturing to ecofacturing. *Journal of Water and Environment Technology*, v. 2, n. 1, 2004.

HOLCIM: GTZ-Holcim partnership - co-processing contributes to better waste management, 2014.

MENDA, M. Borrachas - química e tecnologia. 2012. Conselho Regional de Química- IV Região. Disponível em: <[http://www.crq4.org.br/quimicaviva\\_borrachas](http://www.crq4.org.br/quimicaviva_borrachas)>. Acesso em: 04 jun. 2016.

NOHARA, J. J., ACEVEDO, C. R., PIRES, B. C. C. P., CORSINO, R. M. “GS-40 - Resíduos sólidos: passivo ambiental e reciclagem de pneus”. THESIS, São Paulo, ano I, v .3 , p. 21-57, 2º Semestre, 2005.

OLIVEIRA, O. J.; CASTRO, R. Estudo da destinação e da reciclagem de pneus inservíveis no Brasil. XXVII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Foz do Iguaçu, PR, 2007.

PAULA, L. G. “Análise Termoeconômica do Processo de Produção de Cimento Portland com Coprocessamento de Misturas de Resíduos”. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá-MG, 2009.

PIPILIKAKI, P. et al. “Use of tire derived fuel in clinker burning”. *Cement & Concrete Composites*, Inglaterra, v. 27, p. 843-847, Março 2005.

SANDRONI, 2003, Os destinos dos pneus inservíveis, [www.niead.ufrj.br](http://www.niead.ufrj.br), acesso em 05/03/2006.

SANTI, A. Co-incineração e coprocessamento de resíduos industriais perigosos em fornos de clínquer; investigação do maior polo produtor de cimento do país: região metropolitana de Belo Horizonte, MG. Dissertação de Mestrado, UNICAMP, Campinas, 2003.

SELLITTO, M. Inteligência Artificial: uma aplicação em uma indústria de processo contínuo. *Gestão & Produção*, v.9, n.3, p.363-376, 2002.

SIGNORETTI, V. T. “Controle das Emissões de NOX, SOX e Metais Pesados Quando se Utilizam Combustíveis Alternativos e de Alto Teor de Enxofre na Indústria de Cimento”. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2008.

SNIC, Sindicato Nacional da Indústria do Cimento-. Press Kit. 2010. Disponível em: <[http://www.snic.org.br/pdf/presskit\\_SNIC\\_2010.pdf](http://www.snic.org.br/pdf/presskit_SNIC_2010.pdf)>. Acesso em: 20 set. 2016;

SOUZA, B. C. “Co-processamento de resíduos sólidos em fábrica de cimento”, Faculdade São Luís de França, Administração com ênfase em recursos humanos 8º período, 2009.

XXVII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. 1997, Foz do Iguaçu. Estudo da destinação e da reciclagem de pneus inservíveis no Brasil. Foz do Iguaçu, 11 out. 2007. Disponível em: <[www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2007\\_tr650481\\_0291.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2007_tr650481_0291.pdf)> Acesso em: 20 set. 2014.