

ENERGIA DE RESÍDUOS PLÁSTICOS

José Silvio Pessoa Filho, Universidade Federal de Uberlândia, jpessoa@doutorado.ufu.br

Carlos Alberto Apolinário Júnior, Universidade Federal de Uberlândia, karlossjr@hotmail.com

Valério Luiz Borges, Universidade Federal de Uberlândia, valerioluizborges@ufu.br

Solidônio Rodrigues de Carvalho, Universidade Federal de Uberlândia, solidonio@ufu.br

Resumo: *Nota-se no dia a dia um exagerado consumo e consequente acúmulo de resíduos plásticos derivados do petróleo. Estes resíduos causam problemas consideráveis no mundo, devido ao seu grande volume e dificuldade de tratamento. Dessa forma, alternativas e estratégias de reciclagem e de valorização de plásticos pós-uso estão sendo desenvolvidas de modo a reduzir o impacto criado por estes. Logo, por meio deste projeto, propõe-se buscar uma alternativa para reciclar tais resíduos. Espera-se com esta pesquisa, estudar e desenvolver equipamentos para realizar a pirólise adequada de resíduos plásticos de forma a extrair seus subprodutos, ou seja, gases combustíveis para a produção de energia. A inovação é provar para a sociedade que resíduo plástico também pode ser um sinônimo para a palavra combustível. Assim, o plástico pós-uso não será mais visto como lixo. Quebrado o paradigma, tal resíduo se tornará uma fonte lucrativa de energia, semelhante a qualquer outro combustível derivado do petróleo.*

Palavras-chave: *combustível, lixo, petróleo, reciclagem, valorização.*

1. INTRODUÇÃO

Estudos e pesquisas estão voltados a aumentar a diversidade da matriz energética para garantir a demanda mundial de energia e minimizar a dependência dos combustíveis fósseis. Nesse caso, Costa (2006) recomenda além do uso de fontes alternativas para obtenção de combustíveis, o uso de forma mais eficaz dos recursos petrolíferos que ainda nos restam, quer por técnicas de otimização da eficiência energética, quer por processos de reciclagem e reutilização dos recursos provenientes do petróleo.

Outra vertente, problemática e atual, é a elevada produção de resíduos e o seu deficiente reaproveitamento. Casos específicos destes resíduos são os plásticos, cujo consumo tem aumentado exponencialmente nos últimos anos (Paradela, 2007). É fato que o plástico tornou-se um símbolo da sociedade de consumo descartável e é atualmente o segundo constituinte mais comum do lixo, após o papel (Piatti e Rodrigues, 2005).

Sharuddinet al. (2016) argumenta que a demanda de produtos plásticos aumentou devido ao rápido crescimento da população mundial. Segundos os autores Gorni (2004), Piatti e Rodrigues (2005) e Costa (2006), os materiais poliméricos são utilizados em larga escala em todas as áreas de atividade econômica, acompanhando, por vezes todo o ciclo de vida de um produto. O acelerado consumo e descarte de plásticos usados em aplicações efêmeras, tais como embalagens, gera um alarmante acúmulo de resíduos em depósitos de lixo recicláveis e principalmente nos não recicláveis (lixões) o que gera um grande impacto ambiental.

As características típicas dos plásticos, tais como: seu custo praticamente irrisório, baixo peso, boa resistência mecânica, impermeabilidade, transparência, durabilidade e capacidade de coloração mais impressão, conferiram-lhe trunfos irresistíveis para seu uso massivo na forma de embalagens, uma aplicação extremamente importante numa sociedade voltada para o consumo (Gorni, 2004).

De acordo com Piatti e Rodrigues (2005), a opção de não utilizar os materiais plásticos é considerada inviável por muitos especialistas, que afirmam que a substituição destes por outros materiais tais como papel, madeira, vidro e metais, implicaria o aumento de volume e peso do lixo, e o consequente aumento dos custos como coleta e tratamento. Ademais, a substituição de embalagens plásticas por papel significa um aumento no consumo de árvores e destruição de florestas.

Segundo Brás (2011), os resíduos plásticos causam problemas consideráveis no mundo, devido ao seu grande volume e dificuldade de tratamento. Embora o aterro sanitário e a incineração sejam os métodos tradicionais de tratamento destes resíduos, não constituem uma solução atrativa, visto que os depósitos adequados são caros e a incineração estimula a emissão de gases nocivos. Além disso, os resíduos plásticos só podem ser reciclados parcialmente em novos produtos, haja vista a grande preocupação com contaminação.

Uma alternativa consiste em aplicar o tratamento térmico de pirólise nesses resíduos e realizar o aproveitamento dos GC (Gases Condensáveis) e GNC (Gases Não Condensáveis) como combustíveis (substitutos fósseis) ou produtos químicos (Brás, 2011). A pirólise consiste em uma decomposição térmica, na ausência de oxigênio, tipicamente usada em alguns processos industriais, tais como: produção de carvão vegetal e constituição de polímeros. Mas face ao cenário atual, existe um interesse crescente na aplicação deste processo em resíduos, de modo a gerar combustíveis e matérias-primas para indústrias químicas (Paradela, 2007).

De acordo com Sharuddinet al. (2016), a sustentabilidade do processo de pirólise é inquestionável, uma vez que a quantidade de resíduos de plástico disponíveis em cada país está a atingir milhões de toneladas. Com o método de pirólise, a gestão de resíduos se torna mais eficiente, com menor capacidade de aterro necessário, menor poluição e baixo custo. Além disso, com a aplicação da pirólise para se decompor plástico em combustível (energia valiosa), a dependência de combustíveis fósseis como energia não renovável pode ser reduzida e isso pode resolver o aumento da procura de energia. Ainda segundo Gonçalves (2007), do ponto de vista da conservação das fontes de matéria-prima, qualquer forma de reciclagem é desejável e deve ser incentivada. Na prática, contudo, deve ser considerado o custo da energia usada na reciclagem e os impactos do resíduo no meio ambiente.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A palavra “plástico” e seus derivados provêm do adjetivo grego “plastikos”, que significa maleável ou moldável (Brás, 2011; SpinaceePaoli, 2005). Os plásticos são materiais sintéticos, o que significa que eles são artificiais ou fabricados (Nobel Prize, 2007).

As substâncias utilizadas como matéria-prima na preparação de plásticos são obtidas principalmente a partir do petróleo e são denominadas monômeros (Piattie Rodrigues, 2005). Aliás, o petróleo é a matéria-prima responsável pela produção de vários confortos relacionados à vida moderna.

O petróleo é constituído por uma mistura de compostos orgânicos, principalmente hidrocarbonetos. Sabe-se que da destilação fracionada do óleo cru, que ocorre nas refinarias, são obtidas várias frações: o gás liquefeito, a nafta, a gasolina, o querosene, o óleo diesel, as graxas parafínicas, os óleos lubrificantes, o piche. Assim, a fração da qual são obtidos os monômeros é a nafta, que submetida a um processo de craqueamento térmico (aquecimento na presença de catalisadores), dá origem a várias substâncias, entre elas, etileno, propileno, butadieno, buteno, isobutileno, denominados petroquímicos básicos. Estes, por sua vez, são transformados nos chamados petroquímicos finos, tais como polietileno, polipropileno, policloreto de vinila. Na etapa subsequente, os petroquímicos finos são modificados quimicamente ou transformados em produtos de consumo (PiattieRodrigues, 2005).

Segundo Piatti e Rodrigues (2005) e Brás (2011), as reações químicas que levam à formação dos plásticos são designadas por polimerizações. Uma polimerização é uma transformação química em que moléculas pequenas, monômeros, juntam-se para formar moléculas gigantes, as macromoléculas.

Os plásticos são um grupo de polímeros que possuem propriedades mecânicas intermediárias entre aquelas apresentadas pelos elastômeros e pelas fibras. No que diz respeito ao processo tecnológico de preparação e ao comportamento durante o aquecimento, os plásticos são divididos em dois grupos:

i) Termoplástico: material polimérico que possui capacidade de amolecer e fluir quando aquecido, podendo ser moldado no formato desejado. Esta alteração é uma transformação física e reversível. Ex.: polietileno, policloreto de vinila, poliestireno

ii) Termorrígido: são produtos de polimerização em que ocorre formação de ligações cruzadas entre cadeias, tornando-se rígidos, fenômenos conhecido como “cura”. Após a “cura”, tornam-se infusíveis, insolúveis e não recicláveis. Ex.: poliuretano, resina epóxi, baquelite (Piattie Rodrigues, 2005).

Existem diversas classes de polímeros compostos, unicamente, por carbono e hidrogénio (hidrocarbonetos); o polipropileno (PP), o polibutileno (PB) e o poliestireno (PS) são alguns exemplos. Todavia, podem constar outros elementos da composição básica dos polímeros (e. g. cloro no policloreto de vinilo (PVC), azoto e oxigénio no nylon, flúor no teflon, etc.) (Brás, 2011).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da norma técnica NBR 13230:2008, estabeleceu uma simbologia para identificação de embalagens plásticas (Fig. (1)). Por meio desta norma, é possível orientar os programas de coleta seletiva, especialmente catadores e sucateiros que atuam na triagem de materiais destinados à reciclagem.



Figura 1: Símbolos de Identificação de Embalagens Plásticas. 1. PET - Poli (tereflalato de etileno);

2. PEAD - Polietileno de alta densidade; 3. PVC - Poli (cloreto de vinila); 4. PEBD - Polietileno de baixa densidade;

5. PP - Polipropileno; 6. PS - Poliestireno; 7. Outros.(Fonte: NBR 13230:2008)

Os possíveis destinos para os resíduos sólidos em geral, no qual se incluem os plásticos são: depósito em aterro, reciclagem física e reciclagem termoquímica (Costa, 2006). Nesta última, inclui-se a incineração e a pirólise.

A valorização energética através da incineração é o principal destino dos resíduos utilizados atualmente, a seguir à deposição em aterros. Trata-se de um processo que ocorre a altas temperaturas (600 a 1100°C) e que converte resíduos

combustíveis em resíduos não combustíveis e cinzas, reduzindo significativamente a massa e o volume do material original (até 90%) e garantindo ao mesmo tempo a destruição de todos os micro-organismos patogênicos (Paradela, 2007).

O fato é que a incineração consiste em uma combustão incompleta, com alto volume de fuligem, liberação de gases e substâncias tóxicas, necessidade de aprimoramentos adicionais no queimador para permitir um bom rendimento. Dessa forma, ao aplicar o tratamento térmico de pirólise nos resíduos plásticos, esses problemas podem ser sanados

De acordo com os autores Paradela (2007) e Costa (2006), o termo pirólise (do grego: *pur* = fogo; *luo* = soltar), designa por definição a degradação térmica de materiais na ausência de oxigênio. Essa degradação aplicada em plásticos tem grande interesse como uma fonte alternativa de energia ou de matérias-primas químicas, bem como contribui para a solução de problemas ambientais (Gullonet al., 2001)

A técnica de pirólise é comumente utilizada na produção industrial de carvão vegetal a partir da madeira. E é especialmente adequada para a reciclagem química de misturas de resíduos plásticos uma vez que, contraponto a reciclagem física, é mais flexível em relação à presença de impurezas e contaminantes ou mesmo de vários tipos de plástico no fluxo de reciclagem (Paradela, 2007).

Segundo Spinace e Paoli (2005), a pirólise à baixa temperatura é a degradação térmica na ausência de oxigênio. Neste caso ocorre principalmente a despolimerização e formação de pequena quantidade de compostos aromáticos e gases leves, como o metano, obtendo-se líquidos de alta temperatura de ebulição, como ceras e materiais de partida para produção de poliolefinas. Na pirólise à alta temperatura ocorre a decomposição térmica na ausência de ar ou deficiência de oxigênio, obtendo-se óleos e gases que, posteriormente, serão purificados por métodos petroquímicos padrões. Em poucos casos é possível recuperar os monômeros como produto principal. A pirólise é uma reação endotérmica, portanto é necessária a adição de calor. Os polímeros com altos teores de impurezas podem ser reciclados por pirólise.

Portanto, por meio deste projeto, propõe-se buscar uma alternativa para reciclar tais resíduos. Espera-se com esta pesquisa, estudar e desenvolver equipamentos para realizar a pirólise adequada de resíduos plásticos de forma a extrair seus subprodutos, ou seja, gases combustíveis para a produção de energia. A inovação é provar para a sociedade que resíduo plástico também pode ser um sinônimo para a palavra combustível. Dessa forma, o plástico pós-uso não será mais visto como lixo. Quebrado o paradigma, tal resíduo se tornará uma fonte lucrativa de energia, semelhante a qualquer outro combustível derivado do petróleo.

3. MONTAGEM DE BANCADA EXPERIMENTAL

Inicialmente, para a construção da bancada experimental de pirólise e combustão de plásticos pós-uso foram estudadas as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT e a literatura científica disponível sobre o assunto. As NBRs fornecem as informações para a aquisição, montagem e uso dos equipamentos necessários para a determinação dos níveis de emissão dos GEE.

Testes preliminares realizados pela equipe de pesquisa do LTCM/FEMEC/UFU, em alguns protótipos mostraram que tanto a parcela condensável quanto a não condensável do gás proveniente de resíduos plásticos é combustível. Além disso, constatou-se que o processo de pirólise deve ser realizado à alta temperatura e pressão (superior a 10 bar) para evitar a solidificação do plástico na linha de extração. Assim a importância de desenvolver uma bancada apropriada e segura para a realização dos testes experimentais.

A Figura (2) apresenta a combustão do Gás Condensável (GC) e Não Condensável (GNC) proveniente da pirólise de 180 gramas de plástico.

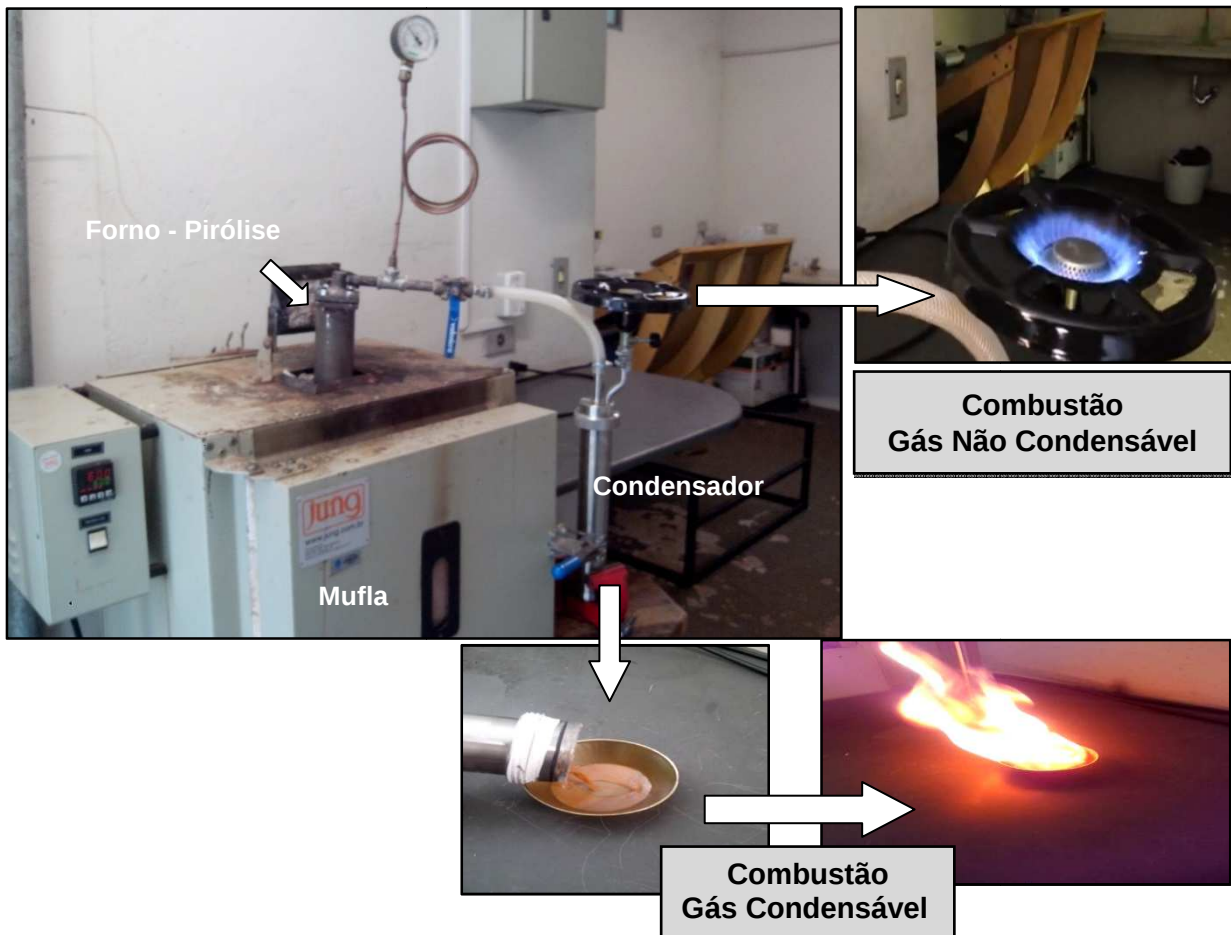


Figura 2: Protótipo para Pirólise de Resíduos Plásticos e Queima dos Gases Condensáveis (GC) e Não Condensáveis (GNC).

No caso da combustão do GNC, nota-se uma chama estável, de coloração azulada bastante semelhante à da combustão de GLP (gás liquefeito de petróleo). No caso GC, a combustão é típica daquela oriunda de óleos.

Diante de tal cenário, surgiram algumas dúvidas relacionadas ao poder calorífico de cada parcela do gás e à relação entre quantidade de resíduos plásticos e a quantidade de gases (GC e GNC) produzidos. Para tais questionamentos Spinace e Paoli (2005) demonstraram que 1 kg de plástico gera 1 litro ($0,001 \text{ m}^3$) de gás condensável. Além disso, os autores comentam que o poder calorífico seria próximo ao de óleo combustível e maior que o do carvão mineral.

Os testes experimentais e os resultados apresentados anteriormente motivaram o desenvolvimento de uma nova bancada de pirólise que inicialmente, na etapa de “warmup”, será alimentada com gás comercial: GLP. Durante o processo de pirólise parte do gás não condensável será usada em substituição ao GLP, o que tornará a bancada autossustentável. O restante dos gases (GC e GNC) será redirecionado para alguma aplicação, tal como, produção de energia elétrica.

A Figura (3) apresenta um esquema da bancada experimental que será desenvolvida no decorrer desta tese de doutorado.

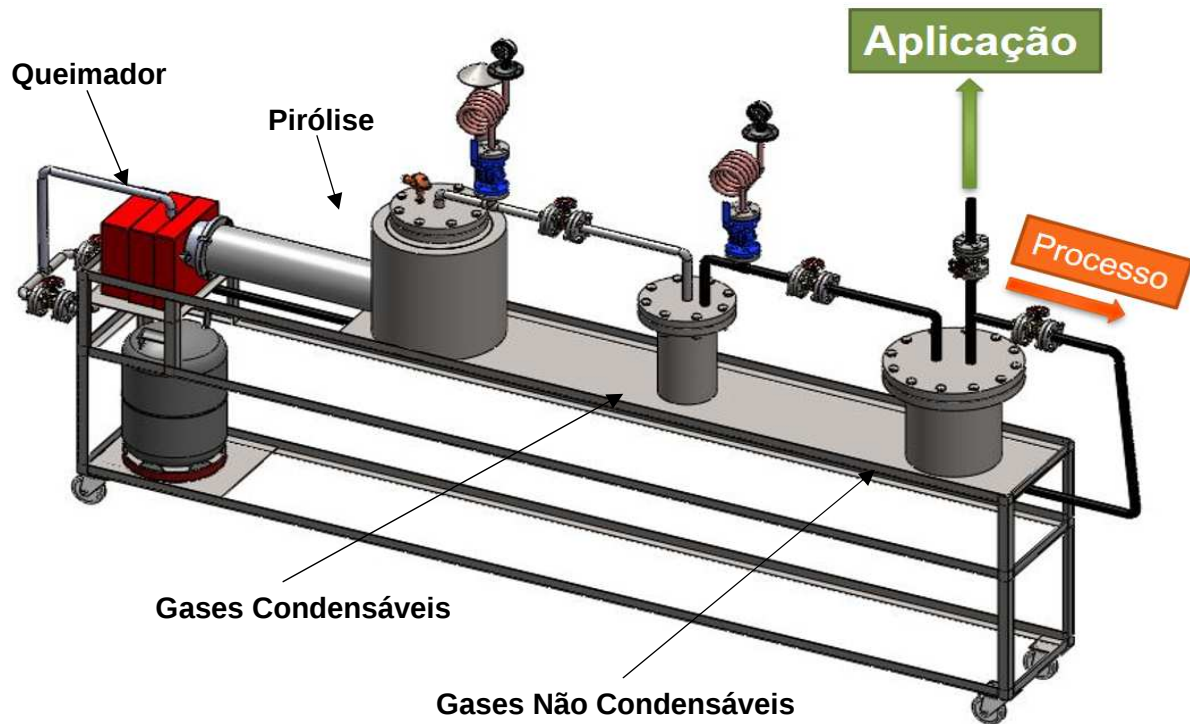


Figura 3: Proposta de Bancada Experimental

4. RESULTADOS

Ressalta-se que esta pesquisa está no primeiro semestre de desenvolvimento com previsão de término para 2019. Todavia, resultados visuais e preliminares já foram satisfatórios.

Por meio de cálculos, foi possível sanar a seguinte dúvida: a bancada é realmente viável, ou seja, ela seria capaz de produzir uma quantidade de combustível para o processo de pirólise e ainda restaria combustível para aplicação em formas alternativas de produção de energia.

Segundo Blest (2016), para realizar a pirólise de 1 kg de resíduo plástico são necessárias 3 horas de aquecimento e são gastos aproximadamente 1000 watts de energia. Portanto, pode-se concluir que o custo energético do processo (CE) (energia necessária para realizar a pirólise de 1 kg de plástico), conforme Eq. (1), será:

$$CE = 1000 \cdot 3 \cdot 3600 = 10800 \left[\frac{kJ}{kg \text{ de Plástico}} \right] \quad (1)$$

Por meio das análises termogravimétricas realizadas por Bannachet al. (2011), constatou-se que o processo de pirólise proporciona em torno de 20% em massa de resíduos sólidos e 80% em massa de combustível (GC e/ou GNC). De acordo com Copagaz (2016), o poder calorífico médio de gases hidrocarbonetos é de aproximadamente 41000 kJ/kg de combustível (energia produzida a partir da combustão de 1 kg de combustível). Logo, por meio da Eq. (2) tem-se que:

$$M = \frac{10800 \cdot 1}{41000} = 0,26 [kg \text{ de combustível}] \quad (2)$$

Portanto, conclui-se que seriam necessários 0,26 kg de combustível para realizar o processo de pirólise e o restante 0,80 kg – 0,26 kg = 0,54 kg poderiam ser aproveitados em sistemas alternativos de produção de energia.

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho, apresentou-se uma proposta de conversão de resíduos plásticos em energia. Por meio de dados da literatura científica e testes preliminares em laboratório, espera-se desenvolver uma bancada experimental para atender aos objetivos propostos. Os cálculos preliminares mostram que o processo de conversão de resíduos plásticos em combustível seria viável, ou seja, cerca de 32,5% do gás combustível gerado seria usado pela própria bancada experimental e o excedente, cerca de 67,5%, seria usado para geração de energia. Assim, diante de tal cenário, a próxima etapa consiste em construir a bancada e comprovar na prática a viabilidade deste projeto de pesquisa.

6. AGRADECIMENTOS

Aos órgãos de fomento pelo suporte financeiro: CNPq, FAPEMIG, CAPES.

7. REFERÊNCIAS

- ABNT. “NBR 13230: Embalagens e Acondicionamento Plásticos Recicláveis – Identificação e Simbologia”. Rio de Janeiro, 2008, 8p.
- Bannach, G., Perpetuo, G.L., Cavalheiro, E.T.G., Cavalheiro, C.C.S. e Rocha, R.R. “Efeitos da História Térmica nas Propriedades do Polímero PET: Um Experimento para Ensino de Análise Térmica”. *Química Nova*, Vol.34, Nº 10, 2011, pp.1825-1829.
- Blest. “Desk – Top Waste Plastic Oiling System Be-h”. 18 de Janeiro de 2016. <http://www.blest.co.jp/be-h_eng.html>.
- Brás, D.M. “Estudo da Pirólise de Resíduos Plásticos Provenientes do Abate de Automóveis”. Dissertação de Mestrado, UNL/FCT, Lisboa, 2011.<http://run.unl.pt/bitstream/10362/6888/1/Bras_2011.pdf>.
- Copagaz. “Gás Liquefeito de Petróleo”. 20 de Julho de 2016. <http://www.copagaz.com.br/representantes/o_que_e_glp.asp>.
- Costa, P.A.C. “Produção de Hidrocarbonetos Líquidos e Gasosos por Pirólise de Resíduos Plásticos”. Tese de Doutorado, UNL/FCT, Lisboa, 2006.<<http://repositorio.lneg.pt/handle/10400.9/415>>.
- Gonçalves, C.K. “Pirólise e Combustão de Resíduos Plásticos”. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
- Gorni, A.A. “Aproveitamento de Plástico Pós-Consumo na Forma de Combustível para Altos-Fornos e Coquerias”. *PastShow*, Aranda Eventos, São Paulo, 2004.
- Gullon, I.M., Esperanza, M., Font, R. “Kinetic Model for the Pyrolysis and Combustion of Poly-(ethylene terephthalate)(PET)”. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, Vol.58, 2001, pp. 635-650. DOI:10.1016/S0165-2370(00)00141-8
- Nobel Prize. “Plastics and Polymers”. 2007.12 de Janeiro de 2016. <<http://www.nobelprize.org/educational/chemistry/plastics/readmore.html>>.
- Paradela, F.M.R. “Estudo da Pirólise de Misturas de Resíduos Plásticos e de Biomassa”. Dissertação de Mestrado, UNL/FCT, Lisboa, 2007. <<http://repositorio.lneg.pt/handle/10400.9/450>>.
- Piatti, T.M., Rodrigues, R.A.F. “Plásticos: Características, Usos, Produção e Impactos Ambientais”. *EDUFAL*, Maceió/AL, 2005. 51p. il. – (Conversando sobre ciências em Alagoas).
- Sharuddin, S.D.A., Abnisa, F., Daud, W.M.A.W., Aroua, M.K. “A Review on Pyrolysis of Plastic Wastes”. *Energy Conversion and Management*, Vol.115, 2016, pp. 308-32. DOI: 10.1016/j.enconman.2016.02.037.
- Spinace, M.A.S., Paoli, M.A. “A Tecnologia da Reciclagem de Polímeros”. *Química Nova (Online)*, Vol. 28, Nº 1, São Paulo, 2005, pp.65-72. ISSN 1678-7064. 23 de Fevereiro de 2016. <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422005000100014>.

8. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.