

Geração de energia através de resíduos sólidos na indústria de autopeças - estudo de caso

Mazzonetto, Alexandre Witier
Fialho, Larissa

Resumo

O resíduo sólido urbano possui um alto potencial energético, para ser explorados é necessária a sua separação após sua coleta. Este trabalho teve como objetivo identificar boas práticas em uma empresa de autopeças na região de Piracicaba, propor medidas para tratamento e geração de energia elétrica utilizando os resíduos sólidos produzidos pela empresa. Também foram estimadas as possíveis rotas tecnológicas para geração de energia a partir do resíduo industrial, sendo estas: tecnologia do gás do lixo (explorando o biogás gerado pelo resíduo), incineração e gaseificação do resíduo. A gaseificação de biomassa residual mostrou-se mais atrativa ambientalmente e apresentou um maior potencial para aproveitamento energético (kW por tonelada de resíduo), transforma o resíduo sólido em um gás combustível, deixando um teor de cinzas (9 – 13%) inferior ao determinado pela Nova Política Nacional de Resíduo Sólido (PNRS), podendo ser utilizada como adubo ou na composição de cimento.

Palavras-chave: Resíduo Industrial, Potencial Energético, Eletricidade, Gaseificação.

Abstract

Urban solid waste has a high energetic potential, its availability requires separation after collection. This work aimed to identify good practices in an auto parts company in the region of Piracicaba, to propose measures for treatment and generation of electric power using the solid waste produced by the company. Possible technological routes for generating energy from the industrial waste were also estimated: waste gas technology (exploring the biogas generated by the waste), incineration and gasification of the waste. Residual biomass gasification proved to be more environmentally attractive and had a higher potential for energy utilization (kW per ton of waste), transforming the solid residue into a combustible gas, leaving a ash content (9-13%) lower than the determined By the New National Solid Waste Policy (PNRS), and it may be used as fertilizer or in the composition of cement.

Keywords: Industrial waste, Energy Potential, Electricity gasification.

Resumen

RSU tiene un alto potencial energético, para ser explorado se requiere su separación después de la recolección. Este estudio tuvo como objetivo identificar las mejores prácticas en una compañía de piezas de automóviles en la región de Piracicaba, proponer medidas para el procesamiento y la generación de electricidad a partir de residuos sólidos producidos por la empresa. También se estimó las posibles rutas tecnológicas para la generación de energía a partir de residuos industriales, que son: la tecnología de gas residual (que explotan el biogás generado por los residuos), la incineración y la gasificación de los residuos. La gasificación de biomasa de residuos era más respetuosa del medio atractivo y mayor potencial de recuperación de energía (kW por tonelada de residuos) transforma el residuo sólido en un gas combustible, dejando un contenido de cenizas (9 - 13 de%) inferior al determinado la política Nacional en Nuevo en residuos sólidos (PNR) y se puede utilizar como fertilizante o composición de cemento.

Palabras-clave: Residuo Industrial, Potencial Energético, Electricidad, Gasificación.

INTRODUÇÃO

Este trabalho se propõe a aplicar princípios de gestão para reduzir o desperdício e a investigar as possibilidades de geração de energia a partir de resíduos sólidos gerados por uma empresa, num estudo de caso, frente a uma conjuntura de altas tarifas de energia.

Gasta-se energia para transportar e dispor os resíduos sólidos, mas - em lugar de ser lançado em um aterro - há um potencial energético nos resíduos que poderia ser explorado. Fatores como: falta de terrenos adequados próximos a grandes cidades; dificuldade de se obter licenciamento ambiental para grandes obras hidroelétricas e novos aterros; as mudanças climáticas; alto custo da eletricidade; a nova regulação do mercado de energia e a nova Política Nacional de Resíduo Sólido favoreceram a investigação de sistemas com tratamento térmico e geração de energia obtida dos resíduos sólidos.

Foram avaliadas a quantidade e composição dos resíduos sólidos coletados em uma empresa de autopeças da região de Piracicaba (estado de São Paulo), avaliando cenários para geração de energia renovável. Foram comparados os processos de tratamento térmico e geração de energia para determinar os mais adequados às práticas ambientais da empresa.

REVISÃO DE LITERATURA

Características da indústria de autopeças

A estrutura organizacional de fornecedores do setor automobilístico está subdividida em diferentes níveis. No primeiro nível estão os "sistemistas" (os fornecedores de sistemas), em que predominam grandes corporações estrangeiras. No segundo nível, estão os fornecedores de partes e peças e componentes forjados, fundidos, estampados, usinados etc. Em um terceiro nível estão os fornecedores de matérias-primas para os fornecedores dos níveis um e dois, com prevalência de empresas nacionais. E há os fornecedores diretos para as montadoras, dentre os quais, prevalecem as empresas estrangeiras. (CASOTTI & GOLDSTEIN, 2008).

Resíduos

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2004a) define o lixo como os "restos das atividades humanas, considerados pelos geradores como: inúteis, indesejáveis ou descartáveis, podendo se apresentar no estado sólido, semissólido ou líquido, desde que não seja passível de tratamento convencional".

Classificação dos resíduos sólidos urbanos

De acordo com a NBR 10004, a classificação de resíduos envolve: a identificação criteriosa das suas características, segundo as matérias-primas, os insumos e o processo ou atividade que lhes deu origem; a comparação destes com a listagem de resíduos e substâncias que podem causar impacto à saúde e ao meio ambiente, para que possam ser gerenciados adequadamente. Um laudo de classificação pode ser preparado exclusivamente com base na identificação do processo produtivo e no enquadramento dos resíduos. Nele deve constar a origem do resíduo, descrição do processo de segregação e dos critérios adotados na escolha de parâmetros analíticos (ABNT, 2004a).

Segundo Vilhena (2000) os resíduos sólidos podem ser classificados de quatro formas:

- 1) Por sua natureza, como seco ou úmido;
- 2) Pela sua composição química, como matéria orgânica ou inorgânica;
- 3) Pelos riscos potenciais ao meio ambiente, como perigosos e não perigosos;
- 4) Pela sua origem, como urbanos, de serviços de saúde, portos, aeroportos, agrícolas e industriais.

De acordo com a NBR 10.004 da ABNT, os resíduos sólidos podem ser classificados em:

A. Classe I ou perigosos

São aqueles que, em função de suas características tóxicas, apresentam riscos à saúde pública através do aumento da mortalidade ou da morbidade, ou ainda provocam efeitos adversos ao meio ambiente quando manuseados ou dispostos de forma inadequada.

B. Classe II ou não inertes

São os resíduos que podem apresentar características de combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade, com possibilidade de acarretar riscos à saúde ou ao meio ambiente, não enquadrados nas classificações de resíduos "Classe I ou Perigosos".

C. Classe III ou inertes

São aqueles que, por suas características intrínsecas, não oferecem riscos à saúde e ao meio ambiente. Quando amostrados de forma representativa, segundo a norma NBR 10.004, e submetidos a um contato estático ou dinâmico com água destilada, em temperatura ambiente - conforme teste de solubilização - não tiverem nenhum de seus constituintes solúveis em concentrações superiores aos padrões de portabilidade da água.

A origem é o principal elemento para a caracterização dos resíduos sólidos. Segundo

este critério, os diferentes tipos de lixo podem ser agrupados em espécies de classes:

I. Resíduo doméstico ou residencial

São os resíduos gerados nas atividades diárias em casas, apartamentos, condomínios e demais edificações residenciais.

II. Resíduo comercial

São os resíduos gerados em estabelecimentos comerciais, cujas características dependem da atividade ali desenvolvida. Nas atividades de limpeza urbana, os tipos "domésticos" e "comerciais" constituem o chamado "lixo domiciliar", que, junto com o lixo público, representam a maior parcela dos resíduos sólidos produzidos nas cidades.

O grupo de lixo comercial, assim como o entulho de obras, pode ser dividido em subgrupos chamados de "pequenos e grandes geradores".

III. Resíduo Público

São os resíduos presentes nos logradouros públicos, em geral resultantes da natureza, tais como folhas, galhadas, poeira, terra e areia, e também aqueles descartados irregular e indevidamente pela população, como entulho, bens considerados inservíveis, papéis, restos de embalagens e alimentos.

IV. Entulhos de Obra

A indústria da construção civil é a que mais explora recursos naturais. Além disso, a construção civil também é a indústria que mais gera resíduo.

V. Resíduo Industrial

São os resíduos gerados pelas atividades industriais, são muito variados e apresentam características diversificadas, pois estas dependem do tipo de produto manufaturado. Devem ser estudados caso a caso.

Adota-se a NBR 10.004 da ABNT para se classificar os resíduos industriais: Classe I (Perigosos), Classe II (Não-Inertes) e Classe III (Inertes).

Resíduos Sólidos Industriais

De acordo com a Resolução CONAMA nº 313/2002, Resíduo Sólido Industrial é todo resíduo que resulte de atividades industriais e que se encontre no estado sólido, semissólido, gasoso (quando contido) e líquido – cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto, em corpos d'água, ou exijam para isso soluções, técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2002).

Os resíduos industriais apresentam composição variada, pois isto depende do processo industrial. Os resíduos gerados no ambiente industrial, cuja origem se assemelhe à dos resíduos sólidos urbanos, de acordo com o Art. 13º da Lei nº 12.305/10, podem ser coletados pelos serviços municipais de limpeza urbana e/ou coleta de resíduos sólidos, tendo o mesmo destino final que os resíduos sólidos urbanos. Normalmente as grandes indústrias geradoras necessitam contratar empresas privadas para a coleta e destinação final desses resíduos, assim classificados pela Política Nacional de Resíduos (ABRELPE, 2006).

Conhecer o resíduo gerado na indústria permite o planejamento de estratégias de gerenciamento, que intervenham nos processos de geração, transporte, tratamento e disposição final, buscando garantir a curto, médio e longo prazo, a preservação da qualidade do meio ambiente, bem como a recuperação da qualidade das áreas degradadas (IPEA, 2011).

Legislação

O Decreto nº 7.404 de 23/dez/2010 regulamentou a Lei da PNRS, criando o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, a quem coube disciplinar a recuperação das embalagens dos produtos ou os próprios produtos inservíveis após o uso, para reciclagem, tratamento e disposição final, atribuindo responsabilidades aos atores da cadeia de valor das atividades industriais, com ênfase para os produtos químicos (BRASIL, 2010).

Tratamento e destinação de Resíduos Industriais

No Brasil, de acordo com a PNRS, a destinação dos resíduos industriais é obrigação do gerador. A maioria das organizações terceiriza esse serviço, visto que é mais econômico e eficiente. Ainda que o poder público especifique os padrões de qualidade no gerenciamento de resíduos, quem o está controlando na prática é o próprio gerador, na condição de executor ou contratante. É interessante salientar a obrigatoriedade do poder público fiscalizar esse gerenciamento, fiscalização especialmente importante porque a qualidade dos serviços de tratamento de resíduos não afetam diretamente a qualidade do produto do gerador, mas nem sempre a qualidade dos serviços é uma prioridade para o gerador, ou torna a empresa de tratamento de resíduo, mais competitiva (ABETRE, 2006).

Lora (2000) descreve que o tratamento de resíduos como; qualquer processo que altere as características, composição ou propriedade do resíduo, de maneira a tornar menos impactante sua disposição final no solo ou simplesmente sua destruição.

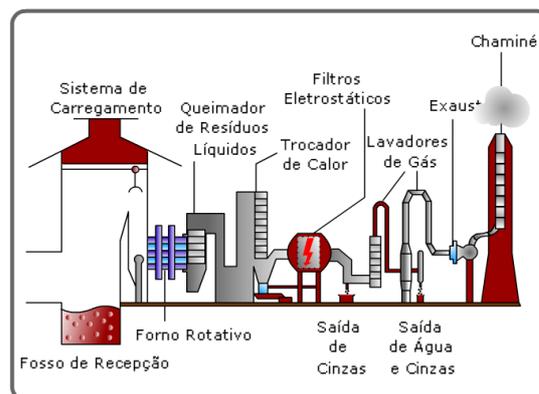
Incineração

O tratamento térmico de resíduos inclui a incineração (combustão em presença de oxigênio), a gaseificação (combustão parcial com deficiência de oxigênio) e a pirólise (combustão em baixa concentração de oxigênio). Estes tratamentos têm como objetivos a destruição dos componentes orgânicos e a redução do volume de resíduos a serem encaminhados para a disposição final (TOCCHETTO, 2009).

A incineração é um processo de queima controlada na presença de oxigênio, no qual os materiais à base de carbono são reduzidos a gases e materiais inertes (cinzas e escórias de metal) com geração de calor. Esse processo permite a redução em volume e peso dos resíduos sólidos em cerca de 60 a 90% (HENRIQUES, 2004).

Um incinerador é um equipamento composto por duas câmaras de combustão, de forma que na primeira câmara os resíduos sólidos (como mostrado na Figura 1) e líquidos são queimados à temperatura variando entre 800 e 1.000 °C. Na segunda câmara, os gases provenientes da combustão inicial são queimados a temperaturas da ordem de 1.200 a 1.400 °C. Os gases da combustão secundária são rapidamente resfriados para evitar a recomposição das extensas cadeias orgânicas tóxicas e em seguida tratados em lavadores, ciclones ou precipitadores eletrostáticos, antes de serem lançados na atmosfera através de uma chaminé (Centro de Informação Metal Mecânica - CIMM, 2011).

Figura 1: Incinerador de forno rotativo.



Fonte: Centro de Informação Metal Mecânica – CIMM, 2011.

Aterro Industrial

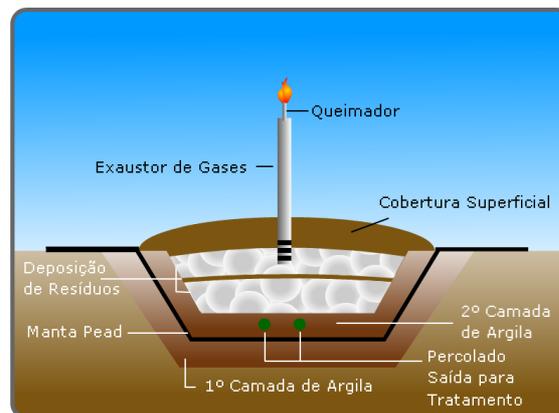
É uma alternativa de destinação de resíduos industriais, utiliza técnicas que permitem a disposição controlada destes resíduos no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública, minimizando os impactos ambientais. Essa técnica consiste em confinar os resíduos industriais

na menor área e volume possíveis, cobrindo-os com uma camada de material inerte na conclusão de cada jornada de trabalho ou intervalos menores, caso necessário (Centro de Informação Metal Mecânica - CIMM, 2011).

A quantidade de resíduos sólidos destinada a aterros sanitários passou de 15,8% para 47,1% (IBGE, 1989, IBGE, 2000). Isto é explicado pelo fato dos resíduos estarem concentrados nas grandes cidades, que possuem capacidade técnica e financeira para fazer a transição de lixões para aterros sanitários. Porém, em 2000, 59% dos municípios brasileiros ainda despejavam seu lixo em lixões. Pesquisa realizada em 2007 (SNIS, 2009), notou-se uma melhora, o percentual de cidades com lixões registrou uma queda para 29,6%. O restante das cidades utilizava aterros controlados (uma medida paliativa), ou uma transição entre lixões e aterros sanitários (LEME, 2010).

Os aterros industriais são classificados nas classes I, II ou III, conforme a periculosidade dos resíduos a serem dispostos. Os aterros Classe I podem receber resíduos industriais perigosos; os Classe II, resíduos não inertes; e os Classe III, somente resíduos inertes (Centro de Informação Metal Mecânica - CIMM, 2011). A Figura 2 apresenta um esquema de Aterro industrial com os cuidados recomendados pela legislação.

Figura 2: Sequência de execução de um aterro industrial.



Fonte: Centro de Informação Metal Mecânica – CIMM, 2011.

Reciclagem

A reciclagem em geral trata de transformar os resíduos em matéria-prima, gerando economias no processo industrial. (Centro de Informação Metal Mecânica - CIMM, 2011).

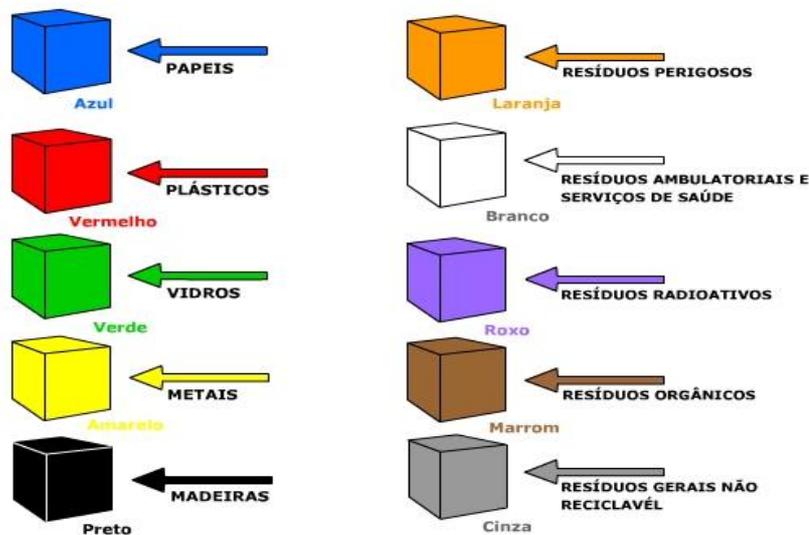
A Lei nº 12.305/10 (BRASIL, 2010a) define reciclagem como o resultado de uma série de atividades pelas quais materiais que se tornariam descartáveis ou descartados, são coletados,

separados e reprocessados (interna ou externamente à indústria) para serem usados como matéria-prima na manufatura de novos produtos. A reciclagem pode envolver desde a recuperação da matéria-prima ou do produto final a partir de um resíduo, até o aproveitamento de um subproduto de um processo como matéria-prima para outro, a recuperação de energia de resíduo de processo ou a recuperação de embalagens (IPEA, 2011).

Padronização de Recipientes de Materiais Recicláveis

O Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA publicou no dia 19 de junho de 2001, no Diário Oficial, a Resolução nº 275, de 25 de abril de 2001, que define as cores que serão utilizadas nos recipientes de materiais recicláveis. O objetivo da decisão é estabelecer um padrão nacional de cores e adequá-lo aos padrões internacionais, conforme apresentado pela Figura 3.

Figura 3: Cores da coleta seletiva.



Fonte: Centro de Informação Metal Mecânica – CIMM, 2011.

Outros processos de tratamento

De acordo com o Centro de Informação Metal Mecânica – CIMM, outros processos comuns de tratamento são:

- Neutralização, para resíduos com características ácidas ou alcalinas;
- Secagem ou mescla, que é a mistura de resíduos com alto teor de umidade com outros resíduos secos ou com materiais inertes, como serragem;

- Encapsulamento, que consiste em revestir os resíduos com uma camada de resina sintética impermeável e de baixíssimo índice de lixiviação;
- Incorporação, onde os resíduos são agregados à massa de concreto ou de cerâmica em uma quantidade tal que não prejudique o meio ambiente, ou ainda que possam ser acrescentados a materiais combustíveis sem gerar gases prejudiciais ao meio ambiente após a queima.

Opções de energia renováveis

O lixo é um problema mundial, só no Brasil são gerados 61 milhões de toneladas por ano, constituindo-se em um problema sério (ABRELPE, 2007).

No Brasil, existem grandes problemas em relação à disposição final dos resíduos sólidos. A disposição comum, a céu aberto, conhecida como “lixão” é prática antiga e inadequada para o armazenamento do lixo. Há escassez de aterros sanitários, especialmente nos centros urbanos de maior porte, pois, há falta de espaço físico para que sejam construídos. Assim, a incineração da massa sólida é alternativa, que reduz em grande parte o volume de material descartado. Trata-se de um processo em que os resíduos são destruídos pela combustão. Em alguns casos, o calor gerado pela incineração pode ser utilizado para a geração de energia elétrica. A incineração evita emissões de gases responsáveis pelo efeito estufa em duas vezes: emissão de metano de sua própria degradação – caso fosse aterrada – e evita as emissões de dióxido de carbono decorrente da queima de combustíveis fósseis substituídos (MARANHÃO, 2008).

Energia da biomassa

A energia de biomassa é derivada de matéria viva, como os grãos, as árvores e as plantas aquáticas, além de ser encontrada nos resíduos agrícolas, florestais e de sólidos municipais. A energia de biomassa representou apenas 3,2% do consumo total de energia nos Estados Unidos em 2005 (EIA, 2007) e no Brasil representa menos de 2,2% (MME, 2007).

O termo biomassa engloba um grande número de vegetais presentes na natureza e formados pelo processo de fotossíntese, como também os resíduos gerados a partir da sua utilização, tais como: resíduos florestais e agrícolas, matéria orgânica contida dos resíduos industriais, entre outros. As plantas, no seu processo de crescimento, funcionam como uma verdadeira usina. Absorvem a energia solar, água e o dióxido de carbono do ar, transformando todo esse potencial em energia química (REIS, 2011).

Pesquisas apontam as vantagens de geração de energia elétrica a partir de biomassas para reduzir as emissões de CO₂, gerar empregos e desenvolver tecnologias apropriadas para o uso da biomassa (MACEDO & NOGUEIRA, 2004).

Para Perez (2004) os principais métodos de conversão termoquímica dos resíduos são: a pirólise, a liquefação, a gaseificação e a combustão. A gaseificação, a pirólise e a carbonização, essa última conhecida como pirólise lenta, podem ser consideradas variações de um mesmo processo.

Pirólise

Sánchez (2010) considera a pirólise como decomposição térmica com deficiência de oxigênio, ou seja, com menor quantidade de ar ou oxigênio que a requerida estequiometricamente para a combustão completa, gerando, principalmente, líquidos e sólidos. A pirólise é um processo físico-químico no qual a biomassa é aquecida a temperaturas relativamente baixas (500-800° C) em atmosfera não oxidante, dando lugar à formação de um resíduo sólido rico em carbono (carvão) e uma fração volátil composta de gases e vapores orgânicos condensáveis (licor pirolenhoso). O processo de pirólise consiste em um conjunto de complexas reações químicas acompanhadas de processos de transferência de calor e massa. A composição heterogênea das frações produzidas e as possíveis interações entre si tornam ainda mais complexo o processo.

Gaseificação

Segundo Sánchez (2010), a gaseificação pode ser definida como: A conversão de qualquer combustível sólido em um gás enérgico pela oxidação parcial a temperaturas elevadas (800 ~1000° C). Esta conversão pode ser realizada em vários tipos de reatores, de leito fixo ou de leito fluidizado. O gás produzido tem muitas aplicações práticas, desde a combustão em motores ou em turbinas para a geração de potência e energia elétrica, em bombas de irrigação, na geração direta de calor em queimadores e fornalhas, ou como fontes para produção de matéria-prima em sínteses químicas.

A matéria orgânica nos processos de gaseificação é total ou parcialmente transformada em gases como: monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrogênio, e em certas condições, metano, hidrocarbonetos leves, nitrogênio e vapor d'água em diferentes proporções (CENBIO, 2002).

A necessidade de redução dos efeitos da emissão de CO₂ na atmosfera conduz as pesquisas a uma maior utilização de biomassas e resíduos na matriz energética, pois o CO₂ emitido na oxidação do carbono contido nas biomassas e seus derivados são enquadrados no

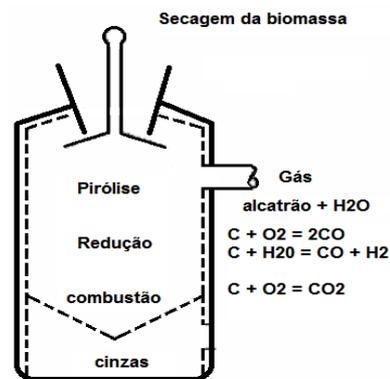
ciclo de absorção do dióxido de carbono na fotossíntese do crescimento de mais biomassa, já o dióxido de carbono da oxidação de derivados do petróleo, não entra nesse balanço, aumentando sua concentração na atmosfera (SÁNCHEZ, 2010).

De acordo com Rocha; Oliveira & Silva (2011), as etapas do processo de gaseificação podem ser descritas como:

- Secagem da Biomassa - através do controle da temperatura permitindo-se a secagem da biomassa, sem que ocorra sua decomposição;
- Pirólise - decomposição química por calor do resíduo, na ausência de oxigênio, resultando num resíduo rico em carbono. O processo consiste na trituração de resíduos, que podem ser RSU, proveniente de indústrias, etc., destinados posteriormente a um reator ocorrendo à separação dos subprodutos. As reações de pirólise iniciam-se em temperaturas em torno de 400° C;
- Combustão - O resíduo nesta etapa reage com oxigênio, vapor d'água, gás carbônico e hidrogênio, reagindo entre si, resultando em uma mistura de gases e
- Redução - os gases provenientes da combustão seguem para a zona de redução, onde há ausência de oxigênio, e reações ocorrendo originando componentes combustíveis do gás produzido.

Na Figura 10 é apresentado o processo de gaseificação, onde é discriminada cada etapa.

Figura 4: Esquema de reações do processo de gaseificação.



Fonte: Rocha; Oliveira; Silva (2011).

Olivares *et al* (2008) dizem que há uma ampla variedade de configurações de reator propostas e operadas no mundo para realizar a pirólise rápida de biomassa: de leito fluidizado borbulhante, de leito fluidizado circulante, de pirólise ablativa (reator Vortex), de fluxo arrastado, reator de cone rotativo, reator de pirólise a vácuo, reator ciclônico.

De acordo com Henriques (2004) a extração de calor máxima de um respectivo combustível depende da eficiência de misturar o abastecimento da carga com oxigênio ou ar. Isto é perfeitamente alcançado no caso dos combustíveis gasosos, sendo por isso considerada a conversão de RSU em combustível gasoso uma das melhores opções. Neste processo depois que o RSU sofre o pré-tratamento, ele é alimentado na câmara de gaseificação principal onde a biomassa é convertida em gás. O gás proveniente do processo depois de esfriado e limpo produz energia quando alimentado numa máquina de combustão interna conectada a um gerador elétrico.

De acordo com Sánchez (2010), a classificação dos gaseificadores poder ser feita com relação ao:

- Poder calorífico do gás produzido - gás de baixo, médio e alto poder calorífico, sendo respectivamente, até 5 MJ/Nm³, 5 a 10 MJ/Nm³ e maior que 10 MJ/Nm³;
- Tipo de agente gaseificador - ar, oxigênio ou hidrogênio (hidrogaseificação);
- Pressão de trabalho - baixa pressão ou pressão atmosférica e pressurizados até 2000 kPa e,
- Tipo e forma de biomassa - resíduos agrícolas, resíduos industriais, RSU, biomassa em natura, biomassa peletizada e biomassa pulverizada.

No entanto a classificação mais usual é pela Direção do Movimento Relativo da Biomassa e do Agente de Gaseificação, sendo elas: Contra fluxo ou contracorrente; Fluxo direto ou paralelo e Fluxo cruzado e, leito fluidizado.

No Quadro 1 são apresentadas algumas vantagens e desvantagens do uso deste tipo de processo tecnológico para recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos.

Quadro 1. Vantagens e desvantagens da utilização da gaseificação

	Vantagens	Desvantagens
Gaseificação	As cinzas e o carbono residual permanecem no gaseificador, diminuindo assim a emissão de particulados; Alta eficiência térmica, variando de 60% a 90%, conforme o sistema implementado; Associada a catalisadores, como alumínio e zinco, a gaseificação aumenta a produção de H ₂ e CO (gás combustível) e diminui a produção de CO ₂ ; A taxa de gaseificação pode ser facilmente monitorada e controlada.	O resíduo deve estar limpo, sem a presença, por exemplo, de terras; Potencial de fusão das cinzas a temperaturas acima de 900° C, que pode aumentar a corrosão no equipamento; O alcatrão formado durante o processo de gaseificação, se não for completamente queimado, pode limitar as aplicações do <i>syngas</i> .

Fonte: Elaborado a partir de FEAM; DPED; GEMUC (2012).

Potencial de geração de energia com gaseificação

Segundo HENRIQUES (2004), o gás resultante da gaseificação após passar pelo processo de limpeza pode ser usado em uma turbina a gás com ciclo combinado, permitindo uma maior eficiência do processo, que pode ser de até 40%.

Assim, de acordo com Young (2010) e EPA (2002) a produção de energia, obtidos pelas tecnologias de processos termoquímicos podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1. Potencial de aproveitamento energético do RSU por tipo de processo térmico.

Tipo de processos termoquímicos	Produção líquida de energia para a rede
Incineração (EPA, 2002)	523 k Wh/t RSU
Queima da massa/combustão - Incineração	493 kWh /t RSU
Pirólise	518 kWh /t RSU
Pirolise/Gaseificação	621 kWh/t RSU
Gaseificação convencional	621 kWh/t RSU
Gaseificação por plasma	740 kWh/t RSU

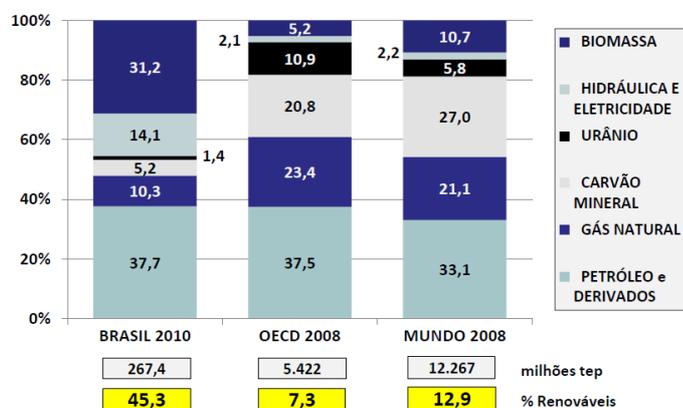
Fonte: Baseado em Young (2010) e EPA (2002).

Eficiência energética

De acordo com Tolmasquim & Guerreiro (2012) eficiência no uso da energia entrou na agenda mundial a partir dos choques no preço do petróleo dos anos 1970, quando ficou claro que o uso das reservas de recursos fósseis teria custos crescentes, seja do ponto de vista econômico, seja do ponto de vista ambiental. Logo se reconheceu que um mesmo serviço poderia ser obtido com menor gasto de energia e, conseqüentemente com menores impactos econômicos, ambientais e sociais. Os custos elevados da energia de origem fóssil, a preocupação com a questão das mudanças climáticas decorrentes do aquecimento global do planeta, aquecimento este atribuído, em grande medida, à produção e ao consumo de energia, trouxe argumentos novos e definitivos que justificam destacar a eficiência energética quando se analisa em perspectiva a oferta e o consumo de energia.

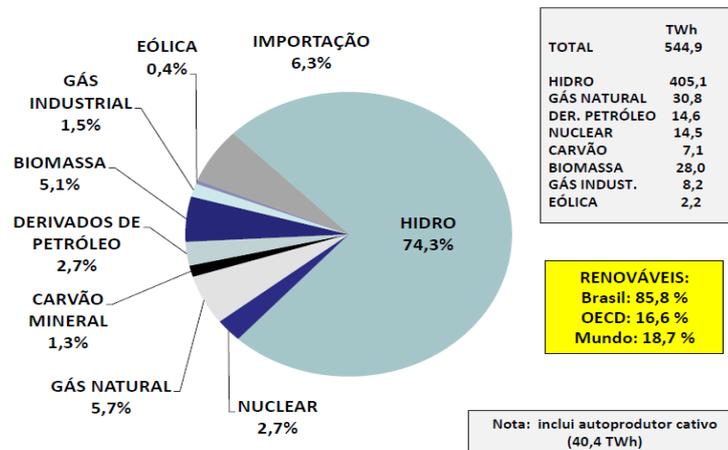
As Figuras 3 e 4 ilustram a matriz energética brasileira e sua oferta no mercado global.

Figura 3: Matriz de Oferta Interna de Energia Brasil e Mundo – 2001/2008 (%).



Fonte: Ministério das Minas e Energia 2010.

Figura 4: Matriz de Oferta de Energia Elétrica (%).



Fonte: Ministério das Minas e Energia 2010.

O Brasil dispõe de uma matriz elétrica de origem predominantemente renovável, com destaque para a geração hidráulica que responde por 65,2% da oferta interna. As fontes renováveis representam 74,6% da oferta interna de eletricidade no Brasil, que é a resultante da soma dos montantes referentes à produção nacional mais as importações, que são essencialmente de origem renovável (BEN/EPE, 2015).

Para Mazzonetto, Obata & Almeida (2016), há possibilidade de se utilizar múltiplas tecnologias com os resíduos industriais, pois apresentam boas condições para serem pirolisadas, gaseificadas ou usadas diretamente em caldeiras.

Sistema de Gestão de Energia – ISO 50001

Utilizar a energia de forma eficiente ajuda as organizações a economizar dinheiro, bem como ajuda a preservar os recursos e combater as alterações climáticas. ISO 50001 apoia organizações em todos os setores de usar a energia de forma mais eficiente, através do desenvolvimento de um sistema de gestão de energia (SGE).

ISO 50001 é baseado no modelo de sistema de gestão de melhoria contínua também utilizada para outros padrões bem conhecidos, tais como ISO 9001 ou ISO 14001. Isto torna mais fácil para as organizações a integrar a gestão de energia em seus esforços globais para melhorar a qualidade e gestão ambiental.

Quadro de requisitos para as organizações:

- Desenvolver uma política para o uso mais eficiente da energia;

- Fixar metas e objetivos para atender a política de;
- Usar os dados para melhor compreender e tomar decisões sobre o uso de energia;
- Medir os resultados;
- Rever o quão bem a política funciona; e
- Melhorar continuamente a gestão da energia.

ESTUDO DE CASO

A empresa estudada localiza-se na região de Piracicaba, estado de São Paulo, a mesma forneceu as informações sobre os resíduos e o custo seus custos envolvidos no processo. As informações fornecidas viabilizaram as estimativas do potencial energético.

Empresa

A empresa possui certificações: ISO 14001 (Certificação ambiental), ISO 18000 e OHSAS (Certificação de Saúde e Segurança do Trabalho), ISO 9001 (Certificação de Qualidade) e está se estruturando para obter a ISO 50001 (Certificação de Gestão de Energia).

Resíduos gerados pela empresa

Analisando o resíduo sólido da empresa, notou-se que há predominância de matéria orgânica em relação aos outros componentes. Esta parcela, quando decomposta no aterro, produzirá biogás, que poderá ser usado para gerar eletricidade. Papéis (quando não contaminados ou sujos), plásticos, vidros, metais e embalagens tetra pak podem ser reaproveitados em processos de coleta seletiva e reciclagem, ou ainda, com exceção dos metais e vidros, utilizados na geração de energia por processos de gaseificação. Materiais especiais, considerados na categoria “outros”, devem receber tratamento adequado e a população conscientizada sobre o descarte e políticas de logística reversa.

Em entrevista com o responsável pelo gerenciamento de resíduos da empresa estudada, verificou-se que o custo anual com destinação e tratamento de resíduos é de aproximadamente 90 mil reais.

Os resíduos gerados pela empresa estudada no ano de 2013, bem como suas quantidades estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Resíduos gerados no ano de 2013 pela empresa estudada, com destaque para os utilizados na estimativa do potencial energético.

Identificação	Classificação	Quantificação	Unidade de medida
Sucata plástica	IIB	109.065	Tonelada
Papel / Papelão	IIB	574.4	Tonelada
Sucata de alumínio	IIB	15.57	Tonelada
Sucata de metal ferroso	IIB	48.48	Tonelada
Não recicláveis	IIB	32.752	Tonelada
Orgânicos	IIA	534.2	Tonelada
Madeira	IIB	102.442	Tonelada
Lâmpadas fluorescentes	I	1139	Unitário
Contaminados	I	8.43	Toneladas
Ambulatorial	I	0.0499	Toneladas
Óleo integral usado	I	140	Litros
Papelão de construção	IIA	0.167	m³
Plástico de construção	IIA	0.315	m³
Ferro de construção	IIA	0.778	m ³
Entulho de construção	IIA	235	m ³
Madeira de construção	IIA	12	m³

Os itens em negrito foram considerados para a estimativa do potencial energético deste trabalho.

RESULTADOS ESPECÍFICOS

Geração de energia utilizando resíduos sólidos

Um dos grandes desafios do que tange o assunto “resíduos sólidos” é a destinação final. Alguns produtos tem a capacidade de reciclagem limitada, uma alternativa de destinação final, para estes resíduos, evitando sua deposição de forma inadequada seria o tratamento térmico. Assim, foram analisadas as alternativas de geração de energia elétrica a partir dos RSI em estudo. Considerando-se a política ambiental, mediante comparação dos processos de tratamento térmico e geração de energia, a fim de estimar o potencial de geração.

Potencial de aproveitamento energético com gaseificação

O potencial de aproveitamento energético com a incineração e a gaseificação foram estimados utilizando-se as taxas apresentadas por EPA (2002) e por Young (2010) para cada processo. Os resultados das estimativas são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Energia potencial calculada em M Wh.

Processo	Taxa de conversão [kWh / ton. RSU]	RSU/Mês [ton.]	RUS/Ano [ton.]	MW.h/mês	MW.h/ano
Incineração (EPA, 2002)	523	113,505	1362,066	59,363	712,360
Queima da massa/combustão - Incineração	493	113,505	1362,066	55,958	671,498
Pirólise	518	113,505	1362,066	58,796	705,550
Pirolise/Gaseificação	621	113,505	1362,066	70,487	845,843
Gaseificação convencional	621	113,505	1362,066	70,487	845,843
Gaseificação por plasma	740	113,505	1362,066	83,994	1007,929

Fonte: Baseado nos índices da Tabela 1 de EPA (2002) e Young (2010).

O processo de gaseificação convencional é o mais eficiente, pois tem um baixo consumo energético e de insumos durante o processo, alta taxa de geração de energia e baixo custo de implantação. A gaseificação convencional é um processo sustentável, pois suas cinzas podem ser utilizadas como adubo. A Tabela 4 estima a receita mensal de 2013 e as possíveis receitas anuais dos anos subsequentes.

Tabela 4 – Receita possível oriunda dos resíduos processados pelas tecnologias.

Processo	MW.h/mês	MW.h/ano	Receita mensal [R\$/mês]	Receita Anual 2013	Receita Anual 2014	Receita Anual 2015
Incineraç. (EPA, 2002)	59,363	712,360	15.585,06	187.020,73	491.527,49	205.241,13
Queima/combustão - Incineração	55,958	671,498	14.691,08	176.292,96	463.332,80	193.468,21
Pirólise	58,796	705,550	15.436,06	185.232,77	486.828,38	203.278,97
Pirolise/Gaseificação	70,487	845,843	18.505,40	222.064,76	583.630,16	243.699,31
Gaseificação convenc.	70,487	845,843	18.505,40	222.064,76	583.630,16	243.699,31
Gaseific. por plasma	83,994	1007,929	22.051,52	264.618,24	695.469,11	290.398,53

Fonte: Baseado nos resultados da Tabela 2 e nos valores médios das tarifas de energia (CCEE).

A Tabela 4 considerou o valor médio anual da tarifa de energia baseado nos valores da CCEE, para 2013 R\$ 262,537/MW.h; para 2014 R\$ 689,998/MW.h e para 2015 R\$ 288,114/MW.h.

Desconsiderou-se a opção de geração de energia através de plasma, devido ao consumo maior de energia durante o processo e custo de implantação superior ao da gaseificação convencional. Por mais que a gaseificação por plasma apresentar uma taxa de conversão e resultado maiores, há um maior consumo de energia e insumo para o mesmo, assim o que gera a mais é consumido no processo, além do custo superior na implantação.

CONCLUSÕES

A gaseificação convencional foi considerada mais interessante por ter um custo inicial inferior a gaseificação à plasma e por produzir mais energia do que a incineração. No caso da gaseificação de biomassa, o gás gerado no processo pode ser utilizado como combustível em caldeira ou motogerador. O rejeito proveniente deste processo (cinzas), não representa problema ambiental, pois pode ser usado como adubo na área do jardim da empresa, evidenciando assim, uma melhor opção tecnológica já que a gaseificação resulta ao final do processo um gás produto (ou gás de síntese – uma mistura de gases combustíveis), o qual é combustível.

Verificou-se que a gestão de resíduos é um nicho de mercado cada vez mais interessante, pois que a gaseificação dos resíduos da empresa estudada tem o potencial de gerar aproximadamente 15% de economia no consumo de energia.

REFERÊNCIAS

- ABETRE. 2006. Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos. *Perfil do setor de tratamento de resíduos e serviços ambientais*. São Paulo: ABETRE, 2006.
- ABNT, 2004a. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: *Resíduos sólidos - Classificação*. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 71p.
- ABNT, 2004b. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10005: *Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos*. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 16p.
- ABNT, 2004c. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10006: *Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos*. 2a ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 3p.
- ABNT, 2004d. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10007: *Amostragem de resíduos sólidos*. 2a ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 21p.
- ABRELPE Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil*. 2005. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br>. Acesso em 19 de maio de 2014.
- ABRELPE Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil*. 2007. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br>. Acesso em 19 de maio de 2014.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. *Banco de Informações de Geração – BIG*. 2003. Disponível em: www.aneel.gov.br/15.htm.
- ANELL, Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). *Atlas de energia elétrica do Brasil / Agência Nacional de Energia Elétrica*. – Brasília: ANEEL, 2002

bioenergia em revista: diálogos, ano 6, n. 2, p. 08-30, jul./dez. 2016.

Mazzonetto, Alexandre Witier; Fialho, Larissa

Geração de energia através de resíduos sólidos na indústria de autopeças - estudo de caso

BEN/EPE Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). *Balanço Energético Nacional 2015: Ano base 2014 / Empresa de Pesquisa Energética.* – Rio de Janeiro: EPE, 2015. Brazilian Energy Balance 2015 Year 2014 / Empresa de Pesquisa Energética – Rio de Janeiro: EPE, 2015.

https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2015.pdf Acesso em 15/10/ 2016

BRASIL, 2002. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 313, de 29 de outubro de 2002. Diário Oficial da União, Brasília, edição de 22 de novembro de 2002.

BRASIL, 2010a. *Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei no 12.305/2010)*. Brasília: Diário Oficial da União, 2010. Disponível em <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em 19 de maio de 2014.

BRASIL, 2010b. Decreto n. 7.404 de 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a Lei n. 12.305 de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, Brasília, 23 de dezembro de 2010. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/decreto/d7404.htm>. Acesso em 19 de maio de 2014.

CASOTTI, B. P. & GOLDENSTEIN, M. *Panorama do setor automotivo: as mudanças estruturais da indústria e as perspectivas para o Brasil* BNDES - Biblioteca Digital, 2008

https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/2566/1/BS%2028%20Panorama%20do%20setor%20automotivo_P.pdf.

CIMM. 2011. Centro de Informação de Metal Mecânica. Disponível em:

http://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/3668-residuos-solidos-industriais#.U3pBJceUIXw. Acesso em 19 de maio de 2014.

EPA, U.S Environmental Protection Agency – *Solid Waste Management and Green House Gases – A Life-Cycle Assessment of Emissions and Sinks*. US.EPA. 2002.

FAPESP. *Um futuro com energia sustentável: iluminando o caminho / Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo; tradução, Maria Cristina Vidal Borba, Neide Ferreira Gaspar.* – [São Paulo]: FAPESP; [Amsterdam]: InterAcademyCouncil; [Rio de Janeiro]: Academia Brasileira de Ciências, 2010. <http://www.fapesp.br/publicacoes/energia.pdf> Acesso em 12/10/2016.

FONSECA, M. J. de A. *Aplicação do sistema enxuto de negócios em indústria de processo – alimentícia*, SP: [s.n.], 2005.

HENRIQUES, R. M. *Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos: uma Abordagem Tecnológica* [Rio de Janeiro] - Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2004.

IPEA Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. *Caderno de diagnóstico Resíduos Sólidos Industriais*. São Paulo: IPEA, 2011. Disponível

em:http://agencia.ipea.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=16525. Acesso em 19 de setembro de 2016.

IPEA. *Estrutura Produtiva Avançada e Regionalmente Integrada: desafios do desenvolvimento produtivo brasileiro*. Livro 5 – Volume 1, 2010 Acesso em 19 de outubro de 2016.

LEME, M. M. V. *Avaliação das Opções Tecnológicas para geração de energia através dos Resíduos Sólidos Urbanos: estudo de caso – Itajubá, (MG) : [s.n.], 2010.*

bioenergia em revista: diálogos, ano 6, n. 2, p. 08-30, jul./dez. 2016.

Mazzonetto, Alexandre Witier; Fialho, Larissa

Geração de energia através de resíduos sólidos na indústria de autopeças - estudo de caso

LORA, E. E. S. Prevenção e controle da poluição nos setores energéticos, industrial e de transporte/. Brasília. Ed. Interciências, ANEEL, 2000.

MACEDO, I. C. & NOGUEIRA, L. A. H. *Avaliação de biodiesel no Brasil*: 2004. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2004. 48p. <http://www.ambiente.sp.gov.br/wp-content/uploads/publicacoes/etanol/NAEBiocombustiveis.pdf>.

MARANHO, A. da S. *Potencial de geração de energia elétrica a partir de resíduos sólidos urbanos para Bauru e região*. Dissertação, Faculdade de Engenharia da UNESP – Campus Bauru, 2008.

MARCONDES, A. B. *Um estudo de caso sobre implantação da manutenção enxuta e impactos nos métodos de análise de investimentos*. Campinas - SP: [s.n.], 2003.

MAZZONETTO, A. W.; OBATA, S. H. & ALMEIDA, I. B. P. de Potencial energético do resíduo da construção civil visando construções sustentáveis e envolvimento dos alunos. In *PBL2016 International Conference*. São Paulo, 2016. <http://www.panpbl.org/site/evento/wp-content/uploads/2016/10/6146307.pdf> Acesso em setembro de 2016.

OLIVARES, E; ROCHA, J. D; MESA, J. M; BROSSARD, L. E. Pirólise rápida de materiais lignocelulósicos para a obtenção de bio-óleo. In: CORTEZ, L. A. B; SILVA, E. E; OLIVARES, E. *Biomassa para energia*. Ed. Unicamp, Campinas/SP. 2008. Capítulo 11, p.353-418.

PÉREZ, J. M. M. *Testes em uma planta de pirólise rápida de biomassa em leito fluidizado*: critérios para sua otimização. Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 2004, 189 p. Tese (Doutorado).

REIS, L. B. dos. *Matrizes Energéticas*: conceitos e usos em gestão e planejamentos. Barueri, SP: Manole, 2011. – (Serie sustentabilidade). 1º Ed.2011.

SÁNCHEZ, C. G. (org.). *Tecnologia da Gaseificação de biomassa* 01. Ed. Campinas: Átomo, 2010. V. 01. 432p.

TOCCHETTO, M. R. L. *Gerenciamento de Resíduos Sólidos Industriais*. Universidade Federal de Goiás. Curso de Especialização em Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos e Líquidos, 2009.

TOLMASQUIM, M. T. *Estudos avançados*: Perspectivas e planejamento do setor energético no Brasil - São Paulo. vol. 26 n°. 74, 2012 <http://www.scielo.br/pdf/ea/v26n74/a17v26n74.pdf> Acesso 20/10/2016.

YOUNG, G. C. *Municipal Solid Waste to Energy Conversion Processes*: economic, technical, and renewable comparison. John Wiley & Sons. Hoboken, New Jersey, 2010, 394p.

bioenergia em revista: diálogos, ano 6, n. 2, p. 08-30, jul./dez. 2016.

Mazzonetto, Alexandre Witier; Fialho, Larissa

Geração de energia através de resíduos sólidos na indústria de autopeças - estudo de caso

1 Alexandre Witier Mazzonetto – Professor da FATEC Piracicaba e Tatuapé
– Centro Paula Souza; awmazzo@yahoo.com.br

2 Larissa Fialho – Tecnóloga em Gestão Empresarial – FATEC Piracicaba -
fialho.lari@gmail.com