

PRODUÇÃO E ANÁLISES DE COMBUSTÍVEIS SÓLIDOS ALTERNATIVOS OBTIDOS A PARTIR DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS

Production and analysis of alternative solid fuels obtained from agribusiness residues

Producción y análisis de combustivos sólidos alternativos obtenidos a partir de residuos agroindustriales



Revista
Desafios

Artigo Original
Original Article
Artículo Original

Douglas Henrique Pereira^{*1}, Carlos Guilherme Lopes Grotto²

¹Professor do Curso de Graduação em Química Ambiental, Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, Tocantins, Brasil.

²Bacharel em Engenharia de Bioprocessos pela Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, Tocantins, Brasil.

*Correspondência: Departamento de Ciências Exatas e Biotecnológicas, Universidade Federal do Tocantins, Campus de Gurupi, Gurupi – Tocantins, Brasil. CEP: 77410-530. e-mail doug@uft.edu.br

Artigo recebido em 20/08/2018 aprovado em 21/09/2018 publicado em 31/10/2018.

RESUMO

A utilização de carvão vegetal e/ou lenha ainda é acentuada. Isso ocorre porque o mesmo apresenta alto poder calorífico e fácil combustão, características ideais para a utilização em indústrias. Entretanto devido à poluição que o mesmo apresenta seu uso torna-se questionável, contribuindo para o aumento de problemas ambientais e de saúde pública. Assim, surge a necessidade de se obter novas fontes de calor com características semelhantes, visto que o desuso de carvão vegetal/lenha é inviável. A partir disso o presente trabalho teve como objetivo desenvolver e analisar combustíveis sólidos alternativos produzidos a partir de biomassa residual da agroindústria. Produziu-se dois combustíveis sólidos utilizando resíduos agroindustriais (Bagaço de cana-de-açúcar e casca de arroz) agregados à argila e fécula de mandioca, na proporção mássica de 10-5-1 respectivamente. Foram realizados testes comparativos de poder calorífico indireto, densidade, umidade e resistência térmica. Através das análises realizadas observou-se que os combustíveis possuem características físico-químicas semelhantes à do carvão vegetal podendo assim serem empregados como uma alternativa energética.

Palavras-chave: Resíduos; Energia; Alternativa.

ABSTRACT

The use of charcoal and/or firewood is still accentuated. This is because it has high calorific power and easy combustion, ideal characteristics for use in industries. However due to the pollution that it presents its use becomes questionable, contributing to the increase of environmental and public health problems. Thus, it is necessary to obtain new heat sources with similar characteristics, since the disuse of charcoal / firewood is not feasible. From this, the objective of this work was to develop and analyze alternative solid fuels produced from residual biomass from agroindustry. Two solid fuels were then produced using agroindustrial residues (sugarcane bagasse and rice husk) added to the clay and manioc starch, in the mass ratio of 10-5-1 respectively. Comparative tests of indirect calorific value, density, humidity and thermal resistance were performed. Through the analyzes carried out, it was observed that the fuels have physical-chemical characteristics similar to that of charcoal and can thus be used as an energetic alternative.

Keywords: Waste; Energy; Alternative.

RESUMEN

A utilización de carbón vegetal y / o leña todavía es acentuada. Esto ocurre porque el mismo presenta alto poder calorífico y fácil combustión, características ideales para el uso en industrias. Sin embargo debido a la

contaminación que el mismo presenta su uso se vuelve cuestionable, contribuyendo al aumento de problemas ambientales y de salud pública. Así, surge la necesidad de obtener nuevas fuentes de calor con características similares, ya que el desuso de carbón vegetal / leña es inviable. A partir de eso el presente trabajo tuvimos como objetivo desarrollar y analizar combustibles sólidos alternativos producidos a partir de biomasa residual de la agroindustria. Se produjo entonces dos combustibles sólidos utilizando residuos agroindustriales (bagazo de caña de azúcar y cáscara de arroz) agregados a la arcilla y fécula de mandioca, en la proporción másica de 10-5-1 respectivamente. Se realizaron pruebas comparativas de poder calorífico indirecto, densidad, humedad y resistencia térmica. A través de los análisis realizados se observó que los combustibles poseen características físico-químicas semejantes a la del carbón vegetal pudiendo así ser empleados como una alternativa energética.

Descriptores: Residuos; Energía; Alternativa.

INTRODUÇÃO

A utilização de florestas como fonte de energia é tão antiga quanto à história da humanidade (TAVARES & SANTOS, 2013). No mundo contemporâneo esse uso é acentuado, tendo a madeira como uma das principais fontes de energia. Segundo NEVES et al. (2011), a heterogeneidade em relação às características químicas e propriedades físicas e mecânicas tornam a madeira flexível para diferentes usos, inclusive o energético, sendo a produção de carvão vegetal o maior exemplo disso.

Devido à alta emissão de gases poluentes na atmosfera, seu uso torna-se questionável, já que contribui para o aumento de problemas ambientais como aquecimento global e o efeito estufa. Além disso, existem também os problemas relacionados à saúde humana, já que a fumaça emitida na queima do carvão vegetal é prejudicial ao ser humano, por causar doenças respiratórias, e cardiovasculares fruto da emissão de metais potencialmente tóxicos (MENGEL & KIRKBY, 2001).

Desta forma, surge a necessidade de se obter novas ideias para a criação de fontes alternativas de calor que minimizem as agressões ao meio ambiente, mas que sua utilização seja semelhante à do carvão vegetal, já que o desuso imediato do mesmo é totalmente inviável para a sociedade atual que lhe é dependente energeticamente. Uma alternativa seria a utilização de biomassa de resíduos vegetais, visto que

o Brasil possui grande diversidade e opções (TOSMALQUIN, 2012).

Nesta vertente a biomassa pode ser obtida através de diversos setores e geralmente está associada a um resíduo. A Biomassa é positiva no meio ambiente porque pode ser: *i)* reduzida, *ii)* reciclada, *iii)* reutilizada e *iv)* aproveitada para produzir energia (COSTA & DUARTE, 2011). Isso a torna, em caso de aproveitamento como fonte de energia, uma alternativa que ajuda a reduzir a necessidade de outras fontes, especialmente às não renováveis (COSTA & DUARTE, 2011). Grande parte da biomassa gerada no Brasil diariamente vem da agroindústria, tornando esse setor de fundamental importância para o desenvolvimento de pesquisas e produtos.

Assim, a agroindústria pode ser conceituada como a junção de atividades relacionadas ao processamento de matérias-primas provenientes da agricultura, pecuária, aquicultura ou silvicultura visando a obtenção de produtos (VIANA & CRUZ, 2016). As atividades e os processos envolvidos nas indústrias agrícolas são de fundamental importância para serviços essenciais à população, como por exemplo, a obtenção de alimentos e derivados.

O crescimento cada vez mais evidente do agronegócio brasileiro o coloca em posição de grande relevância no processo de desenvolvimento do país (ROSA et al., 2011). A biodiversidade do país, aliada a crescente necessidade do desenvolvimento de novos

produtos impulsiona de forma acentuada o crescimento desse setor.

Todo esse desenvolvimento gera impactos de ordem ambiental para o território que engloba os processos industriais necessários para a difusão desse setor. Um desses impactos é a grande geração de subprodutos não utilizados na cadeia produtiva das indústrias, os denominados resíduos agroindustriais. A grande produção desses resíduos gera também um enorme potencial para utilização em outros processos (FILHO & FRANCO, 2015).

Pesquisas recentes apontam diversas formas de reutilização para os resíduos agroindustriais. A diversidade e potencialidade de características torna o reuso desse subproduto adequado em áreas distintas, como na biotecnologia e diversas engenharias (FREITAS et al., 2016); (HONORATO et al., 2015); (DA SILVA, CARNEIRO & LOPES, 2017).

Dentre as possibilidades de utilização, destaca-se a que contempla uma necessidade imediata da agroindústria: a energia que movimentava as caldeiras. Resíduos agroindustriais, em geral, representam biomassas com bom potencial energético. Isso porque possuem quantidades altas de carbono fixo, o que favorece a queima para geração de energia. Diferentes formas de utilização desse material já são estudadas atualmente (BORGES et al., 2017); (CAMPOS & DE GALIZA, 2016).

Apesar dos diversos benefícios empregados na utilização de biomassa como fonte energética existem alguns problemas. De acordo com Carpio (2011), estes problemas podem ser, o menor poder calorífico, se comparado a combustíveis que são constantemente utilizados, e a necessidade de adequação das caldeiras industriais para utilização das biomassas.

Seria possível então agregar à palha de arroz e/ou o bagaço de cana de açúcar a outros resíduos e assim aumentar sua resistência, obtendo dessa forma uma alternativa viável energeticamente? O presente trabalho apresenta uma proposta de produção e utilização de um combustível sólido, com características semelhantes à do carvão vegetal, tornando-o utilizável nas mesmas funções reaproveitando dois resíduos agroindustriais como fonte de carbono.

MATERIAIS E MÉTODOS

Fabricação do combustível sólido

Para a produção do combustível sólido, foram necessários três materiais com funções específicas devido às suas características, sendo eles: o resíduo agroindustrial: casca de arroz ou bagaço de cana-de-açúcar (fonte de carbono), argila (isolamento térmico) e fécula de mandioca (agregar os materiais). A partir dos materiais apresentados foram produzidos dois combustíveis alterando apenas a fonte de carbono como se pode observar na Tabela 1:

Tabela 1 - Materiais utilizados

Combustível	Fonte de carbono	Demais materiais
Carvão Alternativo I (CA I)	Casca de arroz	Argila e fécula de mandioca
Carvão Alternativo II (CA II)	Bagaço de cana-de-açúcar	Argila e fécula de mandioca

Para a fabricação do combustível foram precisas quatro etapas: trituração da palha de arroz ou

do bagaço de cana, preparação da fécula de mandioca, dissolução da argila e junção dos materiais. A

metodologia adotada se refere à produção de aproximadamente 500g dos combustíveis.

Em um triturador foi adicionado aproximadamente 200g de palha de arroz/bagaço de cana de açúcar. O material foi então triturado por um minuto. Em outro recipiente colocou-se 20 g de fécula de mandioca, adicionou-se 50ml de água de forma gradual até formar uma substância pastosa com características semelhantes à uma cola. Em novo recipiente colocou-se 100 g de argila na forma sólida, adicionou-se 100ml de água, formando assim uma substância pastosa de cor marrom.

Juntou-se em um recipiente os três materiais citados nos itens anteriores. Inicialmente se adicionou ao recipiente com argila, a casca de arroz/bagaço de cana triturada realizando a mistura. Depois adicionou-se a fécula de mandioca. Após a mistura dos materiais, a substância obtida foi moldada conforme a Figura 1. Durante aproximadamente 3h o material ficou exposto à luz solar em temperatura ambiente para a secagem.

Figura 1 - Secagem do combustível sólido



Análises Físico-químicas

Para avaliar a eficiência dos combustíveis produzidos CA I e CA II foram realizadas as análises físicos de ambos juntamente com o carvão vegetal adquirido comercialmente. Para maior confiabilidade, todos os experimentos foram realizados em triplicata.

Densidade

As amostras de carvão vegetal e dos combustíveis sólidos alternativos foram colocadas em béquer e aferidos a massa com auxílio de uma balança

analítica. Em seguida foi adicionado 50mL de água destilada em uma proveta graduada (100mL) sendo então realizada a pesagem. As amostras foram então colocadas na proveta observando-se a variação no volume da água. Foi possível aferir a densidade das amostras através da equação: $\frac{V_{amostra}}{(V_{final}-V_{inicial})}$.

Umidade

Para determinação da umidade as amostras de carvão vegetal e dos combustíveis sólidos alternativos foram trituradas em um cadinho com auxílio de um pistilo e colocadas em béquer para aferição da massa em uma balança analítica. Após isso as amostras foram transferidas para um cadinho higienizado e realizou-se novamente a pesagem.

O material foi então colocado em uma estufa com temperatura ajustada para 100°C durante 1h e 30min. Após esse processo as amostras foram novamente, pesadas observando-se assim a perda de massa úmida. É possível assim identificar a porcentagem de umidade através da equação: $\frac{(100 \times N)}{P}$, em que N é a diferença de massa entre a pesagem inicial e final do experimento e P é o valor inicial aferido da amostra.

Resistência térmica pela perda de massa

Para quantificar a perda de massa e assim observar a resistência térmica dos combustíveis foram pesadas quantidades de carvão vegetal e de CA I e CA II. Foi ajustada a temperatura de uma mufla para 650°C seguindo os seguintes passos: Inicialmente com porta da mufla aberta os cadinhos foram colocados na parte externa sobre a porta (temperatura de aproximadamente 300°C). Em seguida os cadinhos com as amostras foram colocados no interior da mufla por aproximadamente 3 min em uma temperatura de 500°C.

Por fim a porta da mufla foi fechada e a amostra ficou por 20 minutos na temperatura sugerida no início do experimento (650°C). Após isso, as

amostras foram colocadas em um dessecador (sílica previamente seca durante 24h em estufa à 100°C), durante 20 min. Em seguida as amostras foram pesadas e se calculou a perda de massa no processo.

Poder calorífico indireto

Para determinação do poder calorífico indireto localizou-se quatro estruturas de material cerâmico (para simular a estrutura de uma caldeira) formando uma estrutura quadrangular, em que se adicionou aproximadamente 200 g de cada tipo de carvão. Em um béquer foram adicionados aproximadamente 100 ml de água destilada, colocada acima da estrutura.

Os combustíveis foram acesos. Após aproximadamente 15 min se mediu a temperatura da água com um termômetro de mercúrio em um intervalo de tempo de 5 minutos durante aproximadamente trinta minutos. O processo foi repetido três vezes para cada amostra de combustível e carvão analisados. Por fim calculou-se a média das variações de temperatura das amostras.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram produzidos dois combustíveis sólidos (CA I e CA II) na proporção mássica 10:5:1, obtida através de diversas tentativas. Tal proporção se mostrou ideal devido à consistência do material que apresentou características favoráveis para secagem em curto intervalo de tempo.

Após a secagem, o material foi retirado da forma originando cubos do combustível em forma sólida e consistente e de tamanho uniforme, Figura 2.

Figura 2 - Combustível produzido



Densidade

Densidade é a relação existente entre a massa e o volume de um material, a uma dada pressão e temperatura (CÉSAR, PAOLI & ANDRADE, 2004). Esse parâmetro se faz imprescindível nas análises prévias de um combustível sólido no setor industrial. Através dos experimentos obteve-se os seguintes dados, Tabela 2:

Tabela 2 - Resultado da análise de densidade

Amostra	Carvão Vegetal (g/cm ³)	CA I (g/cm ³)	CA II (g/cm ³)
1	0,9734	1,1266	1,1534
2	0,9596	1,1786	1,1575
3	0,9623	1,1496	1,1725
Média	0,9651	1,1516	1,1611

Na tabela apresentada observou-se que os valores de densidade obtidos analisando as amostras de CA I e CA II foram maiores em relação ao carvão vegetal. Segundo Britto et al. (1982), a densidade é uma propriedade importante na utilização de carvão vegetal na siderurgia, e não havendo prejuízo para as outras propriedades, a mesma deve ser a maior possível.

Segundo Da Silva & Dos Santos (2008) um dos graves problemas encontrados na utilização de combustíveis sólidos alternativos é a baixa densidade. Isso implica em aumento de gastos em transporte e diminuição da eficiência em caldeiras. Diante disso, os resultados aferidos mostram que ambos os

combustíveis sólidos produzidos apresentaram maior eficiência em termos de densidade em uma comparação direta com o carvão vegetal.

Umidade

No que se refere à umidade é amplamente conhecido que o seu teor no carvão vegetal deve ser o mais reduzido possível para o uso. Uma das razões é que a maior parte da água introduzida junto com o carvão é eliminada do interior do alto-forno na forma de vapor (BRITO, 1993). Hansted et al. (2016) mostra que combustíveis com percentuais baixos de umidade tendem a apresentar maior qualidade e consequentemente eficiência na queima.

Umidade de um combustível sólido é o teor de líquidos presentes na massa do mesmo. A partir de uma secagem parcial em estufa é possível observar, através da variação de massa, o percentual de umidade presente no combustível, Tabela 3.

Com os dados obtidos observou-se que os combustíveis produzidos apresentaram menor teor de umidade em relação ao carvão vegetal, o que segundo os autores citados é vantajoso para o uso do mesmo em fornos industriais.

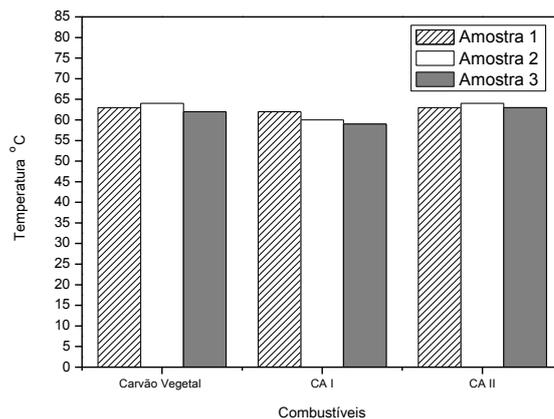
Tabela 3 - Resultado da análise de umidade

Amostra	Carvão Vegetal (%)	CA I (%)	CA II (%)
1	7,34	6,79	7,09
2	7,42	6,40	7,14
3	7,75	6,67	7,11
Média	7,50	6,62	7,11

Poder calorífico indireto

Segundo Quirino et al (2005) o poder calorífico pode ser definido como a quantidade de energia na forma de calor liberada durante a queima. Observando essa forma de gerar calor através da variação de temperatura de um líquido como a água destilada, pode aferir o poder calorífico indireto. Os resultados do poder calorífico encontram representados no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Poder calorífico indireto determinado através da variação de temperatura da água destilada.



Observou-se que a temperatura final da água destilada nos experimentos utilizando o carvão vegetal foram maiores após um período de vinte minutos, entretanto a proximidade dos valores mostra que o combustível produzido apresenta boa capacidade de gerar calor. A maior variação de temperatura pode ser explicada através da maior quantidade de carbono presente no carvão vegetal que possibilita a queima mais eficiente.

Resistência térmica pela perda de massa

A perda de massa acelerada de combustíveis alternativos (quando estão em combustão) é um problema enfrentado pelos mesmos quando surgem como opção aos combustíveis usuais. Assim, para medir a resistência térmica dos combustíveis utilizou-se o princípio da perda de massa em uma queima induzida em mufla observando a variação da massa em relação ao tempo de queima, obteve-se os seguintes dados, Tabela 4:

Tabela 4 – Resultado da Resistência térmica pela perda de massa

Material	Média da perda de massa (%)
Carvão Vegetal	44%
CAI	53%
CAII	51%
Palha de arroz	78%
Bagaço de Cana	71%

Com os resultados representados na Tabela 4 foi possível observar que a perda de massa nos

resíduos agroindustriais é de fato consideravelmente mais rápida em relação ao carvão vegetal. Analisando a utilização de CA I e CA II notou-se que houve uma diminuição na perda de massa de 25% e 20% respectivamente em relação à utilização da palha de arroz e bagaço de cana. A diminuição na perda de massa é explicada pelo aumento da resistência térmica causada possivelmente pela utilização da argila na formula dos combustíveis.

CONCLUSÃO

Os combustíveis sólidos produzidos no presente trabalho se mostraram viáveis em relação a sua produção, que aconteceu de forma simples, rápida e reutilizando resíduos como palha de arroz e bagaço de cana. O material obtido apresentou aspecto e forma favorável, semelhante a combustíveis sólidos já utilizados. As análises realizadas demonstraram que a densidade e a umidade dos combustíveis produzidos foram melhores que a do carvão vegetal utilizado, apresentando características essenciais para uma possível utilização em larga escala.

Em termos de poder calorífico indireto e resistência térmica, os combustíveis produzidos se mostraram com valor inferior, porém muito próximos dos obtidos no carvão vegetal. A viabilidade de produção e utilização como alternativa foram comprovadas devido às análises físico-químicas. Com os resultados obtidos cria-se possibilidades para o desenvolvimento de pesquisas relacionadas à utilização de diferentes formas de resíduos agroindustriais como fonte de energia direta.

AGRADECIMENTO

O autor D. H. Pereira agradece o suporte financeiro do CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), processo n. 446651/2014-1, a CAPES e a Universidade federal

do Tocantins-UFT, pois o desenvolvimento desta pesquisa contou com benefícios do Programa Novos Pesquisadores da UFT (PROPESQ/UFT).

Todos os autores declararam não haver qualquer potencial conflito de interesses referente a este artigo.

REFERÊNCIAS

BORGES, A. C. P. et al. Energias renováveis: Uma contextualização da biomassa como fonte de energia. **Ede-revista eletrônica do prodema**, v. 10, n. 2, 2017.

BRITO, J., O. **Reflexões sobre a qualidade do carvão vegetal para uso siderúrgico, 1993**. Disponível em <<http://www.ipef.br/PUBLICACOES/ctecnica/nr181.pdf>>. Acesso em 18 de outubro de 2017.

CAMPOS, A., F.; DE GALIZA, J., J., M. Regulação de resíduos sólidos urbanos para geração de energia a partir do biogás: estudo de viabilidades em regiões da grande Vitória/Es. **Revista Augustus**, v. 20, n. 40, p. 56-69, 2016.

CARPIO, R. C; et al. Critérios de avaliação termodinâmica para sistemas de cogeração em usinas de açúcar. In: **Anais do XV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica (em CD-ROM)**, Águas de Lindóia-SP, 10p. 1999.

CÉSAR, J.; PAOLI, M. A.; ANDRADE, J. C. A. Determinação da densidade de sólidos e líquidos. **CHEMKEY, Liberdade para aprender**, v. 4, n. 16, p. 16-22, 2004.

COSTA, P., R., de O; DUARTE. A Utilização da Biomassa da Cana-de-Açúcar como fonte de energia renovável aplicada no setor sucroalcooleiro. **Revista de Administração da UNIFATEA**, v. 3, n. 3, p. p. 81-96, 2011.

DA SILVA, J., W., F.; CARNEIRO, R., A., F.; LOPES, J., M., L., M. Da Biomassa Residual Ao Briquete: Viabilidade Técnica Para Produção De Briquetes Na Microrregião De Dourados-Ms. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 6, n. 4, 2017.

DA SILVA, M. B; DOS SANTOS, A. M. Avaliação energética do bagaço de cana em diferentes níveis de umidade e grau de compactação. **XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Rio de Janeiro**, p. 1-11, 2008.

FILHO, W., B., N.; FRANCO, C., R. Avaliação do Potencial dos Resíduos Produzidos Através do

Processamento Agroindustrial no Brasil. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 6, p. 1968-1987, 2015.

FREITAS, M. et al. Produção de lipase a partir de *Candida rugosa* NRRL Y-95 utilizando meio de cultura contendo resíduos agroindustriais. In: **COBEQ 2016-XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Química (Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Química)** p. 1-8. Associação Brasileira de Engenharia Química (ABEQ), 2016.

HANSTED, A. L. S. et al. Caracterização físico-química da biomassa de *Leucaena leucocephala* para produção de combustível sólido. **Revista Virtual de Química**, v. 8, n. 5, 2016.

HONORATO, A., C., et al. Biossorção de azul de metileno utilizando resíduos agroindustriais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 7, p. 705-710, 2015.

MENGEL, K; KIRKBY, E. A. Principles of plant nutrition. **Kluwer Academic Publishers**. p.849, 2001.

NEVES, T. A. et al. Avaliação de clones de Eucalyptus em diferentes locais visando à produção de carvão

vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n. 68, p. 319, 2011.

QUIRINO, W., F. et al. Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. **Revista da Madeira**, v. 89, n. 100, p. e106, 2005.

ROSA, M. F. et al. Valorização de resíduos da agroindústria. **II Simpósio internacional sobre gerenciamento de resíduos agropecuários e agroindustriais–II SIGERA**, v. 15, 2011.

TAVARES, S. R. L.; SANTOS, T. E. Uso de diferentes fontes de biomassa vegetal para produção de biocombustíveis sólidos. **Holos**, v. 5, 2013.

TOLMASQUIM, M. T. Perspectivas e planejamento do setor energético no Brasil. **Estudos Avançados**. São Paulo, v. 26, n. 74, p. 247-260, jan. 2012

VIANA, L. G.; CRUZ, P. S. Reaproveitamento de resíduos agroindustriais. In: **IV Congresso Baiana de Engenharia Sanitária e Ambiental** p. 1-3, 2016.