

5º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



10^o pdpetro

Realização



TÍTULO DO TRABALHO:

GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DA CASCA DA CASTANHA DE CAJU

AUTORES:

MYLLA MONTEIRO ALBUQUERQUE, JOSÉ ELINESIO ROCHA RODRIGUES FILHO, FREDERICO RIBEIRO DO CARMO

INSTITUIÇÃO:

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO (UFERSA)

GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DA CASCA DA CASTANHA DE CAJU

Abstract

The growing demand for energy has significantly intensified the search for new sustainable energy sources. Among existing sources, biomass is one of the most promising due to their thermophysical properties, availability, and be less harmful to the environment than fossil fuels. Brazil, one of the main biomass producers of the world, produces annually ten thousands of tons of cashew, being the northeast the region with the largest production. Every year, the cashew industry generates hundred thousands of tons of tailings in the form of cashew nuts shell, being the fate of these residues a challenging task. The aim of this work was to review the application of cashew nuts shell in the biomass gasification process and its possible effects in the Northeast Region of Brazil.

Keywords: energy, biomass, cashew nuts shell, northeast.

1. Introdução

A utilização de combustíveis fósseis para geração de energia frente aos danos que estes causam ao meio ambiente vem sendo cada vez mais debatido no cenário mundial. Neste sentido, os países estão em constante busca por fontes alternativas para geração de energia que possam ser empregadas de maneira a diminuir a utilização de fontes não renováveis.

No plano mundial, o consumo de energia a partir de combustíveis fósseis é maior comparado às fontes renováveis. São fatores que contribuem para isso: a facilidade do emprego desse tipo de energético e a grande rede mercadológica que se formou em torno desse insumo. Não obstante, as fontes renováveis aparecem como forma de complementar a oferta e para a geração descentralizada de energia. O seu emprego em larga escala ainda apresenta, na maioria dos casos, custos elevados em comparação a tecnologias já mais consolidadas, como é o caso dos geradores a gás natural (ANDRADE, 2007).

A biomassa é uma das fontes para produção de energia com maior potencial de crescimento nos próximos anos. Tanto no mercado internacional quanto no interno, ela é considerada uma das principais alternativas para a diversificação da matriz energética e a consequente redução da dependência dos combustíveis fósseis. Dela é possível obter energia elétrica e biocombustíveis, como o biodiesel e o etanol, cujo consumo é crescente em substituição a derivados de petróleo como o óleo diesel e a gasolina, respectivamente. (ANEEL, 2008).

Segundo Bridgwater (1995), a biomassa é considerada o combustível com maior potencial para o futuro, principalmente quando se leva em conta a possibilidade da utilização de resíduos agrícolas, industriais e domésticos. Sendo assim, o estudo da conversão energética da biomassa torna-se um fator de grande interesse (ANDRADE, 2007).

Neste trabalho foi realizada uma revisão bibliográfica acerca da aplicação da casca da castanha de caju como fonte de biomassa para o processo de gaseificação, o qual diz respeito a combustão de um combustível sólido que é convertido em um gás de baixa ou média capacidade calorífica.

2. A energia no Brasil

A produção de energia no século 20 foi dominada por combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás) que representavam ainda no início do século 21, cerca de 80% de toda a energia produzida no mundo (GOLDEMBERG, 2009).

Diferentemente do restante do mundo, que possui uma matriz energética composta principalmente por fontes não renováveis – como o carvão, petróleo e gás natural –, o Brasil possui uma forte participação de fontes renováveis em sua matriz energética. Conforme pode ser observado na Figura 1, Dados do Balanço Energético Nacional (BEN) de 2018 mostram que cerca de 42,9% da matriz energética brasileira é oriunda de fontes renováveis. Para efeito comparativo, quando considerado a matriz energética mundial, apenas 13,7% são de origem renovável.

O Brasil apresenta-se no cenário mundial como um dos líderes mundiais no setor de energético, impulsionado por seu gigantesco potencial hídrico e contando com um forte programa de combustíveis alternativos.

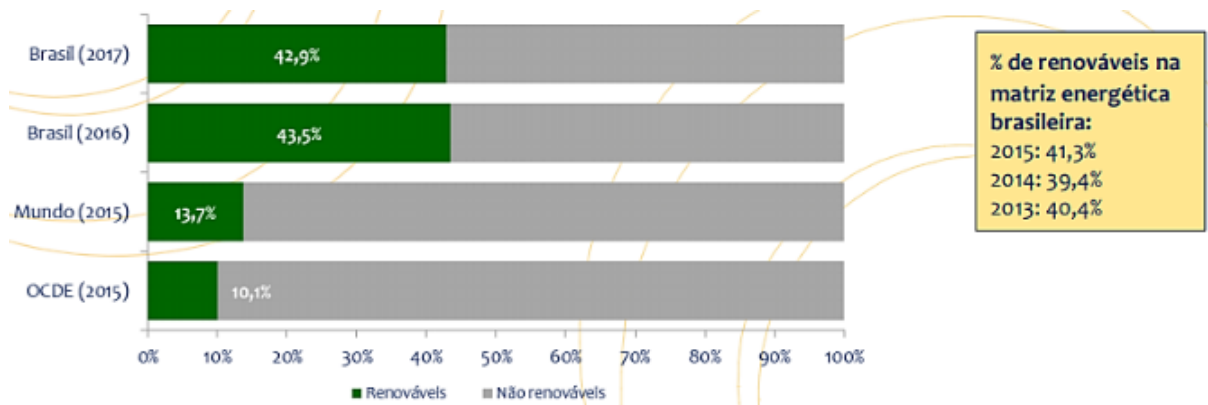


Figura 1. Participação de renováveis na matriz energética
 Fonte: EPE (2018).

A matriz elétrica de um país é formada pelo conjunto de fontes disponíveis apenas para geração de energia elétrica. Da mesma forma que a matriz energética brasileira, a elétrica se destaca em relação ao restante do mundo, que tem a sua geração também baseada na utilização de combustíveis fósseis em termelétricas.

A Figura 2 mostra que a matriz elétrica brasileira é ainda mais renovável do que a matriz energética, isso porque o país é detentor de uma grande quantidade de usinas hidrelétricas, as quais são responsáveis pela maior parte da energia elétrica gerada no país. Além disso, nos últimos anos, há um grande crescimento da energia elétrica gerada a partir de energia eólica.

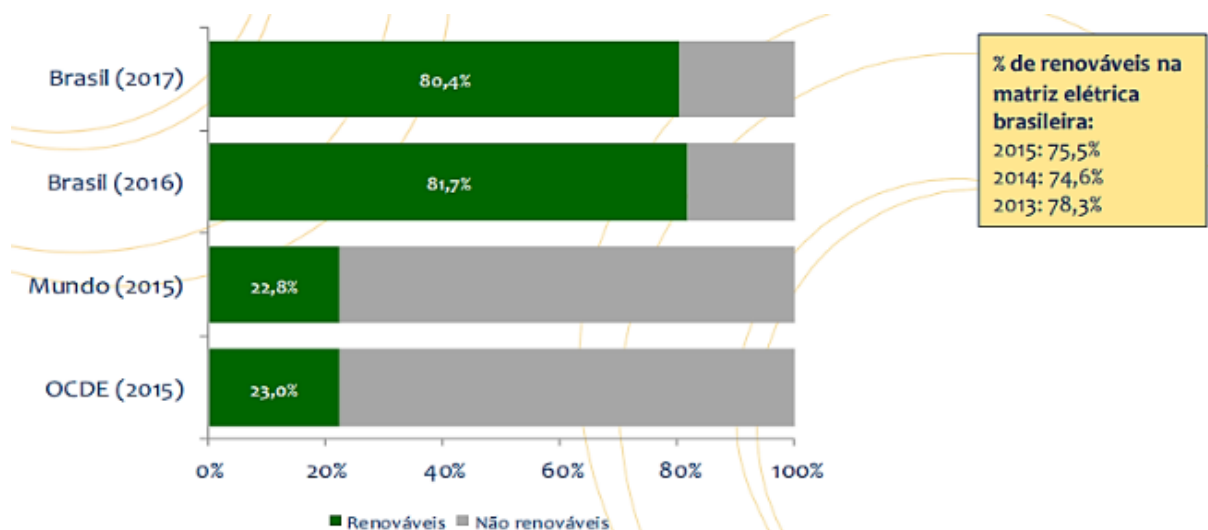


Figura 2. Participação de renováveis na matriz elétrica.
 Fonte: EPE (2018).

3. A biomassa como fonte de energia

Do ponto de vista energético, biomassa é todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica (de origem animal ou vegetal) que pode ser utilizada na produção de energia. Assim como a energia hidráulica e outras fontes renováveis, a biomassa é uma forma indireta de energia solar. A energia solar é convertida em energia química, através da fotossíntese, base dos processos biológicos de todos os seres vivos (ANEEL, 2008). Atualmente, a biomassa vem sendo cada vez mais utilizada na geração de eletricidade, principalmente em sistemas de cogeração e no suprimento de eletricidade para demandas isoladas da rede elétrica (ANEEL, 2008).

Existe muitas tecnologias de conversão energética da biomassa, adequadas para aplicações em pequena e grande escalas. Elas incluem gaseificação, métodos de produção de calor e eletricidade (cogeração), recuperação de energia de resíduos sólidos urbanos e gás de aterros sanitários além dos biocombustíveis para o setor de transportes (etanol e biodiesel). Uma das principais vantagens da biomassa é que, embora de eficiência reduzida, seu aproveitamento pode ser feito diretamente, por intermédio da combustão em fornos e caldeiras. Porém, para aumentar a eficiência do processo e reduzir

impactos socioambientais, tem-se desenvolvido e aperfeiçoado tecnologias de conversão mais eficientes, como a gaseificação e a pirólise, também sendo comum a cogeração em sistemas que utilizam a biomassa como fonte energética (ANEEL, 2008).

A biomassa possui um conteúdo térmico modesto, mas sua disponibilidade, seu caráter renovável e a possibilidade de reduzir a emissão de gases poluentes a tornam uma opção atraente, devido à crescente demanda por energia e o interesse para a redução da disposição deste material no local em que é produzido (TAVARES *et al.*, 2010). Estima-se que a médio e longo prazo, a exaustão de fontes não renováveis e as pressões ambientalistas poderão acarretar maior aproveitamento energético da biomassa. Adicionalmente, a busca dos países por fontes alternativas de energia que ajudem a suprir a demanda por fontes não renováveis reforça a ideia de que haverá uma maior utilização da biomassa como fonte para geração de energia, principalmente no Brasil, que apresenta condições favoráveis para a produção de diversos tipos de biomassa.

Há numerosas áreas em países em desenvolvimento onde o uso de matéria-prima de biocombustíveis melhorados pode ser substituído pela atual utilização de plantas nativas. O uso eficaz dessas novas matérias-primas de biomassa para a coprodução local de aquecimento, eletricidade e combustível de transporte também teria um impacto profundo na capacidade das populações rurais de acessar formas de energia modernas e mais limpas (GOLDEMBERG, 2009).

Dentre as vantagens da utilização de biomassa para a geração de energia elétrica, destacam-se: diversificação da matriz energética, menor emissão de gases poluentes, contribuição para a economia de regiões menos desenvolvidas (GENOVESE *et al.*, 2006).

4. A gaseificação da biomassa

A gaseificação pode ser definida como o processo no qual a matéria orgânica (geralmente resíduos como bagaço de cana-de-açúcar, casca de arroz, serragem) é transformada em gás combustível através da queima, em uma condição de escassez de ar em relação à queima estequiométrica. De acordo com Bridgwater (1995), é a conversão através de oxidação parcial a elevadas temperaturas de um elemento carbônico em um gás combustível. O gás combustível gerado a partir da gaseificação da biomassa, também denominado gás de síntese, é uma mistura composta em sua maioria de hidrogênio (H_2) e monóxido de carbono (CO) que possibilita a sua utilização em equipamentos como turbinas a gás (TG) e motores alternativos de combustão interna (MACI) aplicados a conversão de potência.

Existem duas rotas de conversão da biomassa lignocelulósica em biocombustíveis, a rota termoquímica e a rota bioquímica. A rota termoquímica através da pirólise e/ou a gaseificação da biomassa, passa pela obtenção do gás de síntese, seguido da síntese catalítica ou da fermentação, o que torna possível a obtenção de hidrocarbonetos, álcoois, hidrogênio, amônia e GNS (Gás Natural Sintético), entre outros compostos. Os processos da rota termoquímica são conhecidos como processos BTL (*Biomass to Liquid*). Esta rota, também em desenvolvimento, apresenta uma série de desafios na etapa de gaseificação propriamente dita (ANDRADE, 2007).

Segundo Warnecke (2000), a gaseificação pode ser definida como um processo termoquímico localizado em uma região paramétrica entre a combustão e a pirólise. Neste sentido, este processo é entendido como o tratamento termoquímico que, diferentemente da combustão, não permite a oxidação completa do carbono e do hidrogênio presentes no combustível em CO_2 e H_2O , respectivamente, dando origem a compostos combustíveis, tais como CO, H_2 e CH_4 . Além dos gases mencionados anteriormente, o gás produzido também inclui produtos típicos de combustão: CO_2 , H_2O , O_2 (em quantidades mínimas) e N_2 (quando o agente gaseificador é ar), assim como teores menores de hidrocarbonetos, tais como o eteno (C_2H_4), o etano (C_2H_6), entre outros (LORA *et al.*, 2012).

O processo de gaseificação se dá em equipamentos chamados de gaseificadores, onde durante a gaseificação, pode-se identificar as zonas características do processo. Em reatores de leito fluidizado essas zonas não podem ser distinguidas. A Figura 3 exibe um diagrama do processo de gaseificação.

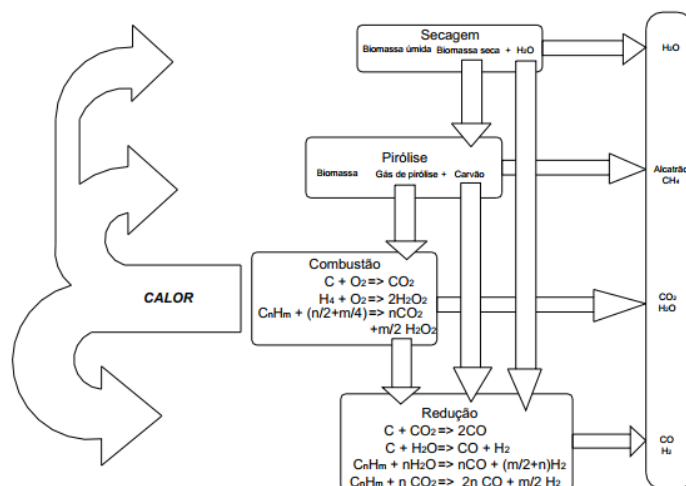


Figura 3. Diagrama do processo de gaseificação.
Fonte: ANDRADE (2007).

Existem quatro etapas para o processo de gaseificação (HUBER *et al.*, 2006):

- **Secagem (173-200°C):** A umidade é removida gradativamente.
- **Pirólise (200-500°C):** Ocorre a decomposição molecular na ausência de oxigênio, produzindo três frações: carvão vegetal, alcatrão e gases, estes ricos em hidrogênio e monóxido de carbono.
- **Oxidação Parcial (800-1300°C):** Utiliza uma quantidade menor de oxigênio do que a combustão, reações exotérmicas predominantes e produzem energia necessária para realizar a próxima fase.
- **Gaseificação ou Redução (500-1000°C):** Antes desta fase todo o oxigênio já foi consumido, ocorrem reações de redução entre os produtos gasosos (CO₂ e H₂O) e os resíduos sólidos para produção de H₂ e CO.

De uma forma mais geral, a Figura 4 apresenta as etapas básicas do processo de gaseificação de biomassa. A pirólise, que diz respeito a degradação termoquímica que ocorre quando se aplica calor à biomassa, em ausência total de oxidante, constitui a fase do processo na qual se forma o carvão vegetal, alcatrão e gases. Em paralelo, uma fração pequena da biomassa é oxidada, a fim de elevar a temperatura de reação até valores compreendidos entre 800 e 1200°C, dependendo principalmente da quantidade e do tipo de agente de gaseificação fornecido. Assim, é possível atingir o nível de temperatura adequado, tanto para o desenvolvimento da etapa de pirólise como para a gaseificação propriamente dita dos produtos gerados na pirólise (LORA *et al.*, 2012).

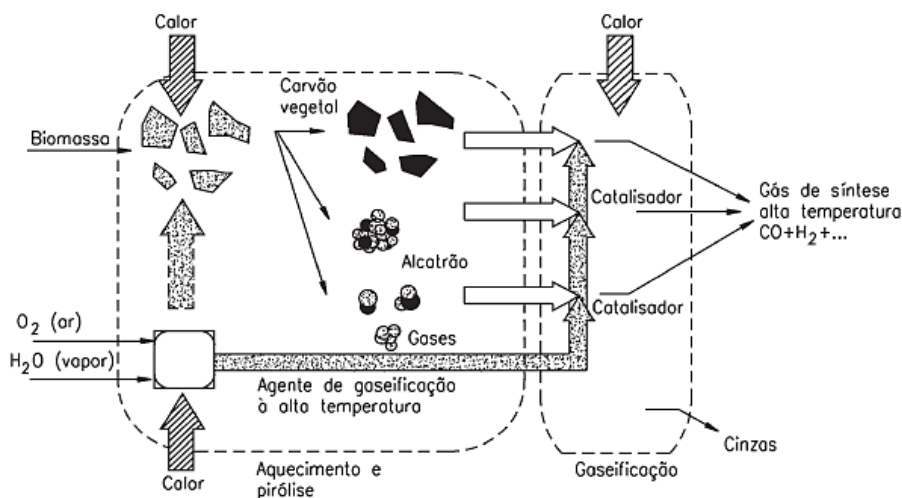


Figura 4. Principais etapas da gaseificação da biomassa.
Fonte: Lora *et al.* (2012).

De acordo com Cortez (1997), a composição do gás gerado é afetada pelas condições de operação do gaseificador como temperatura e pressão, pelas características do combustível como umidade, tipo, composição e teor de oxigênio no agente gaseificador (ANDRADE, 2007).

Dentre as vantagens da gaseificação estão: menor emissão de gases poluentes, possuir uma ampla versatilidade de produtos obtidos de diversos subprodutos sólidos, não exige controle tão intenso de oxigênio como na combustão, requer uso de equipamentos compactos, consequentemente que utilizam menos matérias-primas e possui alta eficiência térmica (REZAIYAN; CHEREMISINOFF, 2005).

5. A casca da castanha de caju

Junto à necessidade de redução dos impactos ambientais, soma-se que o foco da produção energética, baseada em biomassas, deve ser preferencialmente no potencial dos resíduos agrícolas não comestíveis, contaminado de biomassa e resíduos de biomassa industrial, e culturas energéticas de ciclo curto (plantações de grama, florestas e algas), a serem cultivadas apenas em locais de baixa produção, degradados ou terras contaminadas não aráveis e em águas residuais ou lagoas contaminadas (VASSILEV *et al.*, 2012), para que não haja concorrência entre as produções energética e alimentícia (TAVARES, 2016). A casca da castanha de caju surge nesse cenário como um resíduo atrativo para aplicação como fonte de biomassa, visto que a utilização desse resíduo sólido para a produção de energia reduziria a problemática da destinação do mesmo, podendo substituir a lenha para aplicação energética ou até mesmo em outros processos químicos, como o tratamento termoquímico para geração de energia.

Na Figura 5 é apresentado, de forma simplificada, o processamento da castanha de caju: *secagem* – até obter umidade de 7 a 9%; *limpeza*; *classificação*: separação por tamanho; *armazenagem* (podendo ser armazenadas por mais de um ano); *pesagem*; *cozimento* – pode ser realizada em autoclave a 110 °C por 10 minutos ou em caldeirão aberto (sem pressão) sobre fonte de calor, por aproximadamente 30 minutos, as castanhas ficam isoladas da água, entrando em contato apenas com o vapor desta; *resfriamento e secagem*; *decorticação*; a amêndoa segue para o beneficiamento enquanto da casca é retirado o líquido da castanha de caju (LCC) e descartado o resíduo.

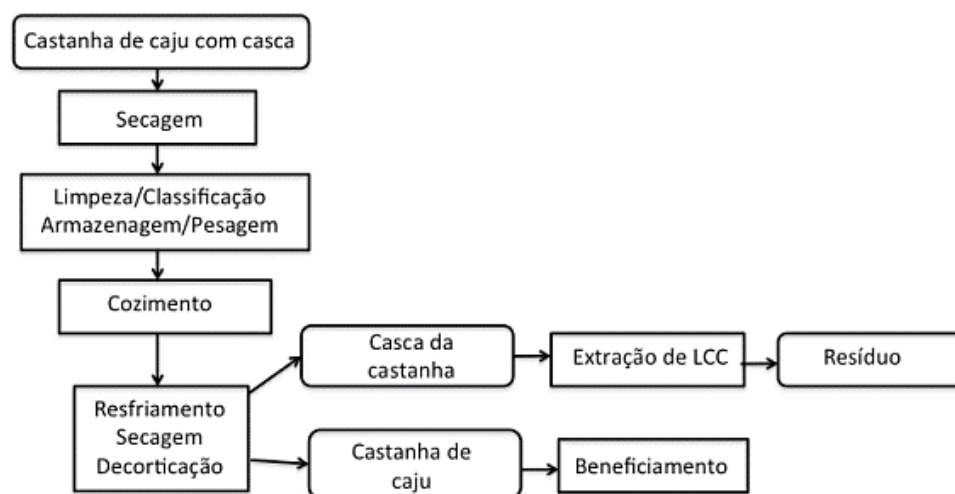


Figura 5. Fluxograma simplificado do beneficiamento da castanha de caju.
Fonte: Tavares (2016).

Muitas tentativas já foram feitas em substituir a lenha utilizada nas indústrias de beneficiamento de castanhas de caju por cascas de castanha de caju, porém, a eficiência da combustão é baixa e causa problemas socioambientais como emissão de gases de efeito estufa, acúmulo de alcatrão e fuligem em residências próximas às fábricas, incomodando a vizinhança (TIPPAYAWONG *et al.*, 2011).

Dessa forma, o estudo para aplicação desse resíduo em outros processos químicos torna-se justificável, visto que o mesmo pode ser melhor aproveitado diante das propriedades que pode apresentar. A aplicação deste em processos de gaseificação surge nesse cenário como uma alternativa à queima da casca da castanha de caju.

5.1. O cenário da castanha de caju no nordeste brasileiro

O Brasil é um dos cinco maiores produtores mundiais de castanha de caju, e o Nordeste o local onde mais se produz o fruto. Essa cultura tem uma grande importância econômica para a região, com cerca

de 300 mil produtores gerando vários empregos. Em 2007, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE (2007), no Nordeste foi plantada uma área de 741.607 hectares, com 1.332.110 toneladas colhidas de caju. A produção de caju destina-se mais à comercialização da castanha de caju, do que a do seu pedúnculo. Essa produção gera várias toneladas de rejeito por ano, na forma de casca da castanha. Essas cascas não são totalmente aproveitadas, pois grande parte é jogada em aterros (TAVARES *et al.*, 2010).

A qualidade de vida também está associada ao consumo de energia. Indiferente a essa preposição cerca de um terço da população mundial ainda não tem acesso à energia elétrica segundo a Agência Internacional de Energia (IEA). Essa realidade se reflete no Brasil, principalmente na região norte e nordeste, onde existem comunidades onde seria inviável a instalação de subestações e montagem de uma rede elétrica, desde que, principalmente na região norte, existem localidades praticamente inacessíveis. Sendo assim, a implantação da geração distribuída tornasse uma das únicas perspectivas para essas comunidades, onde se deve considerar, sempre, a vocação energética da localidade (ANDRADE, 2007).

No Brasil existem projetos que auxiliam pequenos produtores. São minifábricas de cooperativas, que fazem o beneficiamento da castanha de caju, otimizam a produção e podem aumentar, em média, 25% a renda dos produtores. Esse projeto começou a se desenvolver em municípios com potencialidade para a cajucultura e com baixo índice de desenvolvimento humano (TAVARES *et al.*, 2010).

Visto que o nordeste brasileiro é um grande produtor da castanha de caju, a utilização dos resíduos gerados pela cajucultura surge como uma forma de promover o desenvolvimento da economia da região, gerando empregos, oportunidades locais, o que resultaria em um menor fluxo de pessoas saindo dessa região para os grandes centros comerciais, e promovendo, conseqüentemente, o aumento do índice de desenvolvimento humano da região.

5.2. A casca da castanha de caju como fonte de biomassa

A casca da castanha de caju apresenta um grande potencial como fonte renovável para a geração de energia, por seu poder calorífico apresentar excelentes valores em relação a outras biomassas e por apresentar 60% da massa da noz de caju, sendo uma biomassa muito abundante no Nordeste (TAVARES *et al.*, 2010).

Em estudo sobre a utilização dos produtos da gaseificação de cascas de castanha de caju para aquecimento de água em indústria alimentícia, Tipayawong *et al.* (2011) mostraram que o gaseificador funcionou satisfatoriamente com esta matéria-prima, podendo fornecer a potência térmica necessária para a fábrica de processamento de alimentos (TAVARES, 2016).

Pode-se também obter hidrogênio a partir das cascas e usá-lo em células a combustível para transformação em energia elétrica, sendo uma alternativa para a implantação de luz elétrica em comunidades isoladas que ainda não a possuem (TAVARES *et al.*, 2010).

Em uma avaliação dos processos de gaseificação e pirólise da casca da castanha de caju em leito fixo, verificou-se que, ao alimentar o reator com vapor de água, a degradação da biomassa é maior com menos resíduo carbonoso e maior geração de gases. Além disso, o processo é um bom meio para geração de gás de síntese, gerando hidrogênio à baixas temperaturas (670-880 °C), porém, para a geração de energia elétrica, o gás gerado sem a injeção de vapor de água possui um maior poder calorífico. Neste sentido, o gás de síntese da casca da castanha de caju poderá ser uma alternativa à queima direta (FIGUEIREDO, 2009; TAVARES, 2016).

6. Conclusão

Diante do exposto neste estudo, é observado que a aplicação da casca da castanha de caju como fonte de biomassa para produção de energia é uma boa alternativa a processos energéticos já existentes. Esta possui grande potencial para utilização como fonte alternativa e renovável de energia quando aplicadas em processos de conversão térmica.

A casca da castanha de caju é um bom material para ser usado em gaseificação por ser um combustível renovável e gerar um gás menos poluente frente às demais conversões térmicas. Além disso, a combustão desse resíduo no processo apresenta baixa quantidade de rejeitos. Vale ressaltar ainda que os estudos relatados nesse trabalho afirmam que a melhor rota para a gaseificação a partir da casca da castanha de caju, para geração de energia elétrica, é a rota na qual há a injeção de vapor d'água, visto que o teor de gás hidrogênio (H₂) gerado tenderá a aumentar, apresentando resultados satisfatórios.

Apesar de a utilização da casca de caju para a produção de energia apresentar poucos estudos na literatura, esta biomassa apresenta-se como uma promissora fonte de energia alternativa, em especial nas regiões norte e nordeste do Brasil, as quais são as maiores produtoras de caju do país.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, Rubenildo Vieira. Gaseificação de Biomassa: Uma Análise Teórica e Experimental. 2007.

Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. Atlas de Energia Elétrica do Brasil. 3ª ed. Parte II: Fontes Renováveis. Cap. 4: Biomassa. 2008. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: 17 de junho de 2019.

Empresa de Pesquisa Energética – EPE. Balanço Energético Nacional (BEN) 2018: Relatório síntese – ano base 2017. 2018. Disponível em: <<https://bit.ly/2JG4cji>>. Acesso em: 17 de junho de 2019.

BRIDGWATER, A. V. The technical and economic feasibility of biomass gasification for power generation. **Fuel**, v. 74, n. 5, p. 631-653, 1995.

FIGUEIREDO, Flávio Augusto Bueno et al. Pirólise e gaseificação de casca de castanha de caju: avaliação da produção de gás, líquidos e sólidos. 2009.

GENOVESE, Alex Leão; UDAETA, Miguel Edgar Morales; GALVAO, Luiz Cláudio Ribeiro. Aspectos energéticos da biomassa como recurso no Brasil e no mundo. **Proceedings of the 6. Encontro de Energia no Meio Rural**, 2006. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022006000100021&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 17 de junho de 2019.

GOLDEMBERG, José. Biomass and energy. **Química nova**, v. 32, n. 3, p. 582-587, 2009.

HUBER, George W.; IBORRA, Sara; CORMA, Avelino. Synthesis of transportation fuels from biomass: chemistry, catalysts, and engineering. **Chemical reviews**, v. 106, n. 9, p. 4044-4098, 2006.

KNOEF, Harrie. Review of small-scale biomass gasification. In: **Pyrolysis and Gasification of Biomass and Waste Expert Meeting, Strasbourg, France**. 2002.

LORA, Electo Eduardo Silva et al. Gaseificação e pirólise para a conversão da biomassa em eletricidade e biocombustíveis. **Biocombustíveis**. Interciência, p. 411-498, 2012.

REZAIYAN, John; CHEREMISINOFF, Nicholas P. **Gasification technologies: a primer for engineers and scientists**. CRC press, 2005.

TAVARES, Beatriz Galvão et al. Estudo do potencial da casca de castanha de caju para a obtenção de hidrogênio. **Nova**, v. 23, p. 538-546, 2000.

TAVARES, Priscilla Torquato et al. Caracterizações física e química de resíduos sólidos da cajucultura e avaliação do potencial energético em processos de conversão térmica. 2016.

TIPPAYAWONG, N. et al. Gasification of cashew nut shells for thermal application in local food processing factory. **Energy for Sustainable Development**, v. 15, n. 1, p. 69-72, 2011.

VASSILEV, Stanislav V. et al. An overview of the organic and inorganic phase composition of biomass. **Fuel**, v. 94, p. 1-33, 2012.

WARNECKE, Ragnar. Gasification of biomass: comparison of fixed bed and fluidized bed gasifier. **Biomass and bioenergy**, v. 18, n. 6, p. 489-497, 2000.

ZHANG, Linghong; XU, Chunbao Charles; CHAMPAGNE, Pascale. Overview of recent advances in thermo-chemical conversion of biomass. **Energy Conversion and Management**, v. 51, n. 5, p. 969-982, 2010.