

POSSIBILIDADES DE UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS AGROPECUÁRIOS BRASILEIROS NA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA: UMA ANÁLISE ECONÔMICA

Uonis Raasch Pagel¹

Adriana Fiorotti Campos²

Victor Hugo Alves de Souza³

Jaqueline Carolino⁴

Resumo

O presente artigo, elaborado sob métodos bibliográfico e documental, objetiva analisar sob a ótica econômica, a produção de energia elétrica a partir de fontes residuais agropecuárias no Brasil. Os resultados encontrados demonstram que existem altos dispêndios ao longo de toda a cadeia produtiva e restrições logísticas que corroboram por inviabilizar economicamente a

¹Gemólogo, Tecnólogo em Petróleo e Gás, Mestre em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). E-mail: uonis_pagel@hotmail.com. Tel: (27) 99843-7663.

²Economista, Doutora em Planejamento Energético pelo PPE/COPPE/UFRJ. Professora da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). E-mail: afiorotti@yahoo.com. Tel: (27) 99801-6684.

³Administrador, Mestre em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). E-mail: victor_hugodesouza@hotmail.com. Tel: (27) 99991-5575.

⁴Economista, Doutoranda em Propriedade Intelectual e Inovação pelo INPI. Professora da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). E-mail: jqcarolino@yahoo.com.br. Tel: (27) 98832-2549.

produção energética elétrica a partir desse tipo de fonte, recorrendo à necessidade de ações em termos de aumentar a eficiência energética tecnológica, políticas para superar a falta de acesso a capital e melhorias logísticas.

Palavras-Chave: Fontes renováveis; Energia elétrica; Resíduos agropecuários.

1. INTRODUÇÃO

O atual cenário mundial mostra que o mercado de energia ecoa fortemente na quase totalidade das atividades humanas e ainda encontra-se extremamente dependente da geração e utilização de energia a base de combustíveis fósseis, e de empreendimentos que imputam grandes impactos ao ecossistema natural (SILVA, 2006), exigindo cada vez mais o desenvolvimento de fontes alternativas e sustentáveis. Nesse contexto, novas fontes, principalmente, renováveis, surgem como alternativa fundamental para superar a futura escassez de fontes de energia não-renovável e a poluição ambiental causada por estas. Todavia, a poluição ambiental não é um problema enfrentável somente através de alternativas tecnológicas mais brandas, limpas, ou menos impactantes, mas também de tecnologias com base no reaproveitamento (LINO; ISMAIL, 2011). O que oportuniza que sistemas de geração de energia elétrica, como a proveniente a partir de resíduos sólidos, venham a ser implantados.

Analisada sob a ótica da economia sustentável, a inserção de novos modelos de geração de energia elétrica, como a proveniente de resíduos sólidos agropecuários, se configura, em princípio, como um ganho incontestável tanto para a sociedade quanto para o meio ambiente. O aproveitamento energético destes resíduos disponibiliza uma fonte de energia primária, renovável e alternativa. Além disso, a valorização e a minimização de resíduos são estratégias dos modelos de gestão em “Produção Mais Limpa” (P+L) e do “Mecanismo de Desenvolvimento Limpo” (MDL), que buscam a maior sustentabilidade nos sistemas produtivos, através da redução no consumo de energia, do uso racional dos recursos e da redução dos impactos ambientais negativos; possibilitando a emissão de créditos de carbono.

Neste campo, estudos mostram que os resíduos agropecuários, gerados no meio rural, têm um grande potencial energético e que sua reutilização apresenta um mecanismo favorável para otimizar o uso de energia e a preservá-lo, incluindo como benefícios adicionais a não exploração e utilização de matérias-primas exauríveis (como petróleo, gás natural, urânio, etc.) para a geração de eletricidade, bem como, as emissões evitadas de dióxido de carbono (CO₂)

para a atmosfera como resultado da reutilização. Isso pode ser verificado pelo uso intenso de tecnologias, pelas qualidades alternativas a fontes de energia não renováveis e pelos efeitos ambientais positivos, apontando, todos, na direção de uma economia pós-carbono.

Além disso, a utilização destes, culmina na abertura de vários postos de trabalho para trabalhadores rurais não qualificados, contribuindo para um ciclo virtuoso de aumento dos níveis de consumo e qualidade de vida, inclusão social, geração de receitas, fortalecimento da indústria local, promoção do desenvolvimento regional e redução do êxodo rural. Vale ressaltar também, o caráter complementar à fonte hidráulica que este tipo de fonte adquire, quando utilizada em termelétricas, em períodos nos quais o nível dos reservatórios das grandes usinas hidrelétricas é baixo, tornando-se um suplemento ao Sistema Interligado Nacional (SIN).

No Brasil, a questão do aproveitamento energético dos resíduos agropecuários está condicionada à disponibilidade destes, decorrente da grande produção agrícola, florestal e pecuária que o país detém. Frente às expectativas da valorização destes resíduos para diversas aplicações sustentáveis, pesquisas mostram que a densidade energética proveniente de tal fonte é considerada elevada. Conjectura-se que a energia potencial que pode ser produzida a partir de resíduos oriundos da atividade agropecuária no Brasil, chega a 23 GW/ano, o equivalente a 201.471 GWh/ano. Isso representa cerca de 17% do consumo total de energia do país, o que permitiria uma redução considerável das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) (EPE, 2014b). No entanto, todo este potencial ainda não tem sido suficientemente aproveitado. Daí, questiona-se: quais são os fatores que têm obstaculizado os resíduos sólidos agropecuários de serem fontes promissoras e altamente potenciais na produção de energia elétrica no Brasil?

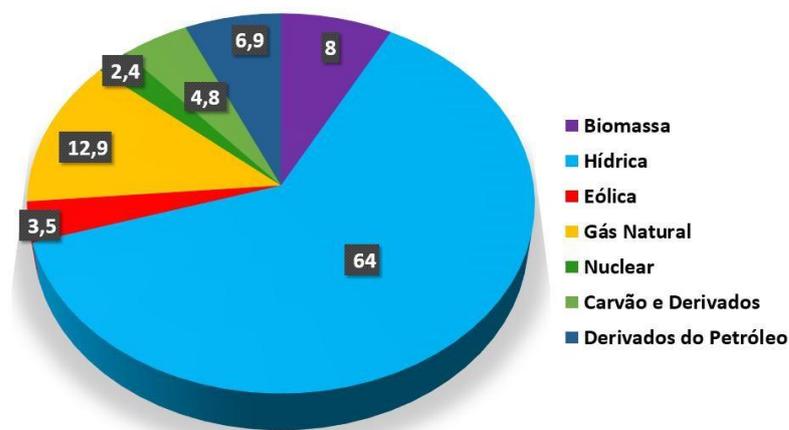
Assim, o artigo em tela, elaborado sob múltiplas fontes de informações, com ênfase ao uso de dados secundários e de pesquisa bibliográfica e documental, objetiva analisar sob a ótica econômica, a produção de energia elétrica a partir de fontes residuais agropecuárias brasileiras, identificando desafios que têm obstaculizado esse aproveitamento na atualidade.

2. ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS NO BRASIL

No Brasil, muito embora existam incentivos governamentais cujos objetivos visam à diversificação da matriz energética brasileira, e nesta inclui-se a produção e utilização de fontes energéticas renováveis, ainda é notória a participação de destaque que o petróleo, o gás natural e o carvão mineral ocupam na matriz, respondendo respectivamente, por 37,3%, 13,2% e 5,9% da oferta interna de energia em 2015 (EPE, 2016).

Apesar do predomínio dos combustíveis fósseis na matriz energética, o Brasil, em contrapartida, dispunha em 2015 de uma das matrizes elétricas mais limpas do mundo e com origem predominantemente renovável, com destaque para a geração hidráulica⁵ (64%), biomassa (8%) e eólica (3,5%) (Gráfico 2).

Gráfico 1 – Oferta interna de energia elétrica por fonte no Brasil (%), em 2015



Fonte: EPE (2016).

De modo geral, as fontes renováveis têm se tornado uma alternativa energética bastante eficiente nos últimos anos no país, sendo responsáveis pela produção de 121 Mtep, o que levou o país à quarta posição no *ranking* mundial dos maiores produtores de energia por fontes renováveis, atrás somente da China (311 Mtep), Índia (199 Mtep) e Estados Unidos (129 Mtep) em 2014 (MME, 2015).

⁵Em função do alto potencial hidrelétrico, o Brasil historicamente investiu nesta forma de geração de eletricidade.

Neste contexto, a biomassa⁶ vem sendo cada vez mais utilizada pelo produtor rural ou agroindústria para a queima direta visando a geração de eletricidade, principalmente em sistemas de cogeração e no suprimento de eletricidade para demandas isoladas da rede elétrica (autoprodução), atingindo o percentual de 8% da oferta interna total de energia elétrica brasileira em 2015, o que corresponde à 12,3 GW dos 133,9 GW da eletricidade gerada no Brasil no referido ano (SOUZA et al., 2015). Entretanto, este percentual ainda é considerado pequeno frente a todo o seu potencial.

No caso brasileiro, a geração de eletricidade a partir de biomassa conta com significativos atrativos: clima tropical, elevada taxa de insolação ao longo de todo o ano; grandes extensões territoriais; potencial de produção alimentar com significativa presença de resíduos vegetais; manutenção do perfil renovável da geração elétrica brasileira; incremento da participação de unidades termelétricas na matriz de geração, aumentando a flexibilidade do sistema e reduzindo sua incerteza hidrológica, etc. (TOLMASQUIM, 2016).

No decorrer dos últimos anos, o potencial brasileiro de geração de eletricidade à base de biomassa oriunda do meio rural se distribuiu conforme apresentado na Tabela 1. É notória a capacidade instalada de geração elétrica que o país detém na atualidade advinda de tal fonte, totalizando aproximadamente 14,1 GW.

⁶Uma das maiores fontes de energia primária e renovável disponível nas áreas rurais, que aparece na forma de matéria orgânica, tais como restos de colheita, esterco animal, florestas energéticas e efluentes agroindustriais (SAIDUR et al., 2011), é considerada uma das primeiras fontes de energia com propriedades muito específicas e de alto potencial energético.

Tabela 1 – Capacidade instalada de geração elétrica a partir de biomassa no Brasil, em 2017

Fontes			Capacidade Total		
Orig em	Fonte nível 1	Fonte nível 2	Nº de usinas	de (kW)	%
		Bagaço da cana-de-açúcar;			6,
	Agroindustriais	Biogás; Casca de arroz	416	10.986.759	8755
		Biocombustíveis líquidos			0,
		Óleos vegetais	3	4.670	0029
		Carvão vegetal; Gás de alto forno; Lenha; Licor negro;		3.048.	9076
Biomassa	Floresta	Resíduos florestais	87	248	
		Resíduos animais			0,
		Biogás	11	2.099	0013

Fonte: ANEEL (2017).

2.1. DIAGNÓSTICO DA DISPONIBILIDADE DE RESÍDUOS NO BRASIL

A utilização da biomassa para fins energéticos já é uma realidade, porém, para afirmar e indicar um determinado material como bom gerador de energia, é necessário a determinação de seu poder calorífico (PAULA et al., 2011). Conjectura-se que com 500 mil toneladas de resíduos, uma termelétrica possa produzir 42 MW/h, durante 4.600 h/ano (ENERGIA LIMPA, 2014). Todavia, é o montante de biomassa produzida que determina o volume de resíduos disponíveis para a geração de eletricidade.

Com o intuito de apresentar as potencialidades de resíduos oriundos do meio rural, o setor agrícola brasileiro apresentou expressivos ganhos entre as safras da década de 1990 e a safra de 2010, com crescimentos de 72% na produtividade da soja, 141% do milho, 105% do feijão, 127% do arroz, 202% do algodão, dentre outras culturas (EPE, 2014a). Consequentemente, houve maiores índices de geração de resíduos, os quais, indicam grande viabilidade em termos

percentuais de aproveitamento energético (Tabela 2). Observou-se ainda, que no período em questão, a disponibilidade de energia primária mapeada, oriunda desta fonte renovável, foi de aproximadamente 37 milhões de tep.

Tabela 2 – Síntese de indicadores de disponibilidade e poder calorífico de resíduos agrícolas

	Resíduos disponíveis 2010 [10⁶ tBbs]	Energia disponível nos resíduos [ktep/ano]	Energia necessária para disponibilização dos resíduos [ktep/ano]	% da energia disponível
Palha de arroz	14	5.281	164	3,1
Palha de feijão	4	478	47	9,8
Resíduos de algodão	1	412	10	2,4
Ramas de mandioca	16	2.341	52	2,2
Palha de milho	101	17.048	1.195	7,0
Palha de soja	94	9.848	1.116	11,3
Palha de trigo	17	2.006	200	10,0

Fonte: EPE (2014a).

Nota: tBbs: Tonelada de biomassa em base seca.

Os resíduos são gerados ao longo de toda a cadeia produtiva agropecuária. No entanto, ressalta-se que, a quantidade e os tipos podem variar de acordo com as características da floresta e espécie, da natureza da matéria-prima, do grau de processamento do produto, da eficiência do processo de transformação, dos tipos de tecnologias empregadas pela indústria, do número de operações, etc. (ABIB, 2012).

De acordo com o Centro Nacional de Referência em Biomassa (CENBIO, 2012), a disponibilidade dos resíduos agropecuários é estimada com base na produção agrícola, no material orgânico resultante após a extração de madeiras e na atividade pecuarista dos municípios. Na Tabela 3, é possível visualizar a disponibilidade destes resíduos no território brasileiro.

Tabela 3 – Disponibilidade de resíduos agropecuários no Brasil

Região	Agrícolas (Mt/ano)	Florestais (Mm³/ano)	Pecuários¹ (Mt/ano)
Norte	9	0,5	17
Nordeste	23	2	41
Sudeste	29	6	72
Sul	110	8	74
Centro- oeste	77	0,5	33
Brasil	249	18	238

Fonte: EPE (2014b).

Nota: (1) Inclui resíduos de rebanhos bovino, suíno e avícola confinados.

Na Tabela 4, são apresentados os percentuais de energia primária disponível nos resíduos agropecuários segundo regiões brasileiras. É perceptível que os maiores percentuais estão concentrados nas regiões Sul e Centro-oeste, respondendo por 44,9% e 24,6%, respectivamente. Tal fato se dá em função da grande concentração produtiva das culturas agropecuárias nestas regiões e da demanda por exportação de grãos brasileiros.

Tabela 4 – Energia primária disponível nos resíduos agropecuários distribuídos por região no Brasil (ktep/ano e %)

Região	ktep/ano	%
Norte	2.369	4,9
Nordeste	5.124	10,5
Sudeste	7.370	15,1
Sul	21.865	44,9
Centro-oeste	12.004	24,6
Brasil	48.732	100

Fonte: Elaboração própria a partir de EPE (2014b).

2.2. POSSIBILIDADES DE COMERCIALIZAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA PRODUZIDA A PARTIR DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS

As possibilidades de comercialização da energia elétrica produzida a partir de resíduos agropecuários no Brasil se distinguem em: venda no Mercado Livre; venda no Mercado Regulado, sob o sistema de Leilões; Autoprodução e Produção Independente; e Geração Distribuída e Compensação (Quadro 1).

Quadro 1 – Possibilidades de comercialização da energia elétrica produzida a partir de resíduos agropecuários no Brasil

Formas	Descrição	Comentários
Venda no Mercado Livre	Comercialização por meio de contratos bilaterais entre as partes envolvidas no Ambiente de Contratação Livre (ACL).	Geradores, importadores e exportadores, consumidores livres e especiais, têm total liberdade para negociar a compra e venda da energia, estabelecendo volumes, preços, prazos e condições de fornecimento. Não é permitida às distribuidoras a aquisição de energia neste mercado.
Venda no Mercado Regulado: Leilões	Realizados pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). A comercialização se dá por meio de contratos bilaterais entre as partes envolvidas no Ambiente de Contratação Regulado (ACR).	Consumidores adquirem a energia elétrica por meio das distribuidoras. Há regulação específica, como preços e prazos. Ambiente onde ocorrem os Leilões de Energia Nova (A-3; A-5), Velha (A1), de Reserva (LER), de Fontes Alternativas (LFA) e de Ajuste (LA).
Autoprodução e Produção Independente	Comercialização por meio das figuras: Autoprodutor de Energia (APE) ou Produtor Independente de Energia (PIE).	APE: uso próprio e exclusivo da energia elétrica gerada. PIE: produção da energia elétrica para comercializar por sua conta e risco próprio no ACR (por meio de leilões) ou no ACL (entre consumidores livres e/ou especiais).
Geração Distribuída e Compensação	Acesso de Micro e Minigeração Distribuída aos sistemas de distribuição e	Resoluções Normativas ANEEL nºs 482/2012 e 687/2015: Micro: central geradora de energia elétrica com potência instalada < ou = a 75 kW (com fontes alternativas).

	compensação de energia elétrica para unidades com até 5 MW.	Mini: central geradora de energia elétrica com potência instalada > 75 kW e < ou = a 5 MW (com fontes alternativas).
--	---	--

Fonte: Adaptado de Galiza (2017).

Assim, com vistas ao aumento da participação da bioeletricidade no panorama energético nacional, observa-se que o governo federal brasileiro tem praticado vários incentivos para as formas de contratação e comercialização da energia elétrica proveniente de fontes alternativas e renováveis, com destaque para os modelos de Autoprodutor (APE) e Produtor Independente de Energia (PIE), de Geração Distribuída (GD), e de Leilões de Fontes Alternativas (LFA).

O APE e PIE, instituídos pela Lei nº 10.848/2004 regulamentada pelo Decreto nº 5.163/2004 (BRASIL, 2004a; 2004b), têm assegurado o livre acesso aos sistemas de transmissão e de distribuição de concessionários e permissionários de serviço público de energia elétrica, mediante o ressarcimento do custo de transporte envolvido.

A GD, introduzida pela Lei nº 10.848/2004 regulamentada pelo Decreto nº 5.163/2004 (BRASIL, 2004a; 2004b), permite a possibilidade de criação de fontes de suprimento energético descentralizadas e em pequena escala.

E por último, o sistema de LFA, instituído por meio do Decreto nº 5.163/2004 e da Lei nº 6.048/2007 (BRASIL, 2004b; 2007), permite o atendimento ao crescimento do mercado regulado e o aumento da participação desses tipos de fontes na matriz energética elétrica brasileira. Incentivos estes, fundamentais ao Desenvolvimento Sustentável.

3.POTENCIAL AGROPECUÁRIO BRASILEIRO

3.1. CENÁRIO DA PRODUÇÃO ATUAL

A agricultura responde por R\$ 1,00 em cada R\$ 3,00 gerados no Brasil. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2015), o Brasil possui 850 milhões de hectares em seu território, e estima-se que, destes, 350 milhões são agriculturáveis. Em, 2015, foi responsável por 40% do Produto Interno Bruto (PIB), 42% das exportações totais e 37% dos empregos brasileiros com 17,7 milhões de trabalhadores (ABILOGÁS, 2015).

O atual cenário da atividade agropecuária no Brasil se mantém crescente em 1,84% ao ano e coloca o país como um dos maiores produtores agropecuários do mundo. A produção de grãos mais que dobrou de 1993 à 2015 (aumento de 152%). Quanto ao setor florestal, a produtividade de espécies plantadas é a mais elevada do mundo, e cobre uma área de 7 milhões de ha. Eucalipto e *Pinus* são os grandes responsáveis, com 5 milhões e 1 milhão de ha, respectivamente. A pecuária responde por 30% do agronegócio brasileiro, com 167 milhões de ha de pastagens (23,3% do território) (IBGE, 2015; CONAB, 2015; TOLMASQUIM, 2016; MAPA, 2016).

O crescimento da produção do setor agropecuário brasileiro, medido pelo valor bruto da produção, está relacionado fundamentalmente aos ganhos de produtividade, às condições brasileiras favoráveis (recursos naturais abundantes, grande dimensão territorial, condições meteorológicas, etc.) e ao aprimoramento de políticas públicas agrícolas, voltadas especialmente, para as áreas de apoio à comercialização e crédito rural orientado, que abrangem maior disponibilidade de recursos, elevação dos limites de financiamento de custeio, taxas de juros inferiores às do mercado e a criação de novos programas de investimento. Além disso, houve um avanço no desenvolvimento de tecnologias que se deve, principalmente, à incorporação de equipamentos e de áreas plantadas ao processo produtivo, permitindo ao produtor rural aumentar o desempenho das suas atividades, tornando-o mais eficiente e rentável (CONAB, 2015). No entanto, apesar do elevado potencial agropecuário brasileiro, e consequentemente, da alta quantidade evidenciada de resíduos agropecuários que o Brasil detém, o aproveitamento energético destes para a produção da eletricidade, tem se deparado com desafios. Sob a ótica econômica, os fatores limitantes deste aproveitamento são apresentados no item seguinte.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os investimentos e financiamentos em energias renováveis apresentam, em sua maioria, custos superiores aos necessários para a adoção das fontes tradicionais. Infere-se que os maiores obstáculos neste sentido, não são técnicos, mas econômicos. Tolmasquim (2016) afirma que um dos aspectos mais relevantes em relação à geração de eletricidade, não somente à base de biomassa residual, mas a partir das demais fontes renováveis, é o custo de instalação e de operação dessas fontes que se mantém superiores aos sistemas tradicionais com combustíveis fósseis. Neste campo, Sultana, Kumar e Harfiel (2010) afirmam que o custo total da energia de

resíduos da agricultura é maior até do que o custo da energia proveniente de fontes não-renováveis, a exemplo do gás natural, o que inibe a ação de investidores em utilizar a fonte residual como recurso energético.

Um dos fatores que acabam por tornar os custos de aproveitamento energético elétrico dos resíduos um processo de complexa viabilidade econômica, é o fato destes serem compostos por diversos dispêndios, tais como: da cadeia logística (desde a coleta destes resíduos até a entrega na unidade de conversão); de oportunidade e de remuneração ao produtor; de necessidade de investimento inicial, operação e manutenção de usina (EPE, 2014b; TOLMASQUIM, 2016). E todo esse custo adicional é contabilizado na tarifa final da energia e repassado ao consumidor.

Neste campo, para efeito de diagnóstico, pesquisas realizadas por Tolmasquim (2016) estimam que as faixas de custo nivelado da geração de eletricidade⁷ oriunda dos resíduos agropecuários – agrícolas, florestais e pecuários – com aproveitamento em Usinas Termelétricas (UTE's), possuem uma variação marginal compreendida entre US\$ 25 e 94 MWh, conforme visualizado na Tabela 5.

Tabela 5 – Faixas de custo nivelado da geração elétrica obtida a partir de fontes renováveis e outras não-renováveis

Fontes Energéticas		Faixas de Custo Nivelado da Geração Elétrica	
		Inicial	Final
Resíduos Agropecuários	Agrícola	US\$ 88 MWh	US\$ 94 MWh
	Florestal	US\$ 49 MWh	US\$ 89 MWh
	Pecuário	US\$ 25 MWh	US\$ 68 MWh
Demais Renováveis	Hidrelétrica (pequeno porte)	US\$ 30 MWh	US\$ 40 MWh
	Hidrelétrica (grande porte)	US\$ 20 MWh	US\$ 30 MWh
	Eólica	US\$ 30 MWh	US\$ 80 MWh
			US\$ 356
	Solar	US\$ 200 MWh	MWh
			US\$ 425
	Oceânica	US\$ 340 MWh	MWh
Não-renováveis	Nuclear	US\$ 50 MWh	US\$ 60 MWh
	Gás Natural	US\$ 65 MWh	US\$ 80 MWh
	Carvão Mineral	US\$ 29 MWh	US\$ 44 MWh

Fonte: Elaboração própria a partir de Tolmasquim (2016).

⁷Os custos nivelados de geração de eletricidade servem como um indicador geral dos custos de produção de energia elétrica por meio da comparação entre diferentes tecnologias.

Nota-se que os custos de produção desse tipo de fonte energética, ainda são considerados altos quando comparados aos de outras fontes, como a hidráulica (pequeno e grande porte) e o carvão mineral, por exemplo. Ainda assim, sob uma faixa de custo bem menor quando comparada às fontes solar (demanda altos investimentos iniciais e operacionais em tecnologia) e oceânica (em função da falta de experiência brasileira com esse tipo de fonte, acaba elevando a percepção de risco aos investidores, exigindo maiores taxas de retorno, e conseqüentemente, maiores custos com geração). O processo de análise econômica de utilização de resíduos em UTE's parte do estabelecimento de pressupostos conceituais relacionados à intenção empresarial em gerar energia de acordo com um critério empresarial. Usualmente, este critério é selecionado entre alternativas como as descritas por Coelho e Goldemberg (apud Lebre et al., 2010): (i) gerar exclusivamente o montante de energia que é considerado pela empresa, (ii) queimar todo seu combustível através de tecnologias convencionais comercializando eventuais excedentes de carga, e (iii) gerar o máximo de energia possível com o combustível existente, apesar dos custos associados. Escolhida a alternativa, os principais itens considerados serão os lucros operacionais e não-operacionais gerados na instalação do empreendimento termelétrico, o mercado, a localização e a escala de produção.

Diante disto, diversos estudos, como os de Rentizelas; Tolis e Tatsiopoulos (2009), Felfli e outros (2011), Sultana; Kumar e Harfiel (2010), Castro; Brandão e Dantas (2010), Gold e Seuring (2011), EPE (2014b) e Tolmasquim (2016), evidenciam, que as principais barreiras de aproveitamento de biomassa residual são os custos relativamente elevados de implementação, se comparadas à quantidade de energia produzida em virtude dos projetos de biomassa serem na sua maioria projetos de pequena escala, de alto investimento inicial, de custos elevados com tratamento e logística da biomassa, e do baixo custo dos combustíveis fósseis. Além disso, os projetos de biomassa residual tendem a ter que competir com os recursos escassos e dificuldades de financiamento adequado. Tais fatores criam uma barreira econômica que resulta em desanimar potenciais agentes financeiros e investidores de projetos de energia a partir de fontes residuais.

Caputo e outros (2005) afirmam que o preço da energia comercializada em LFA e LER oriunda de biomassa residual no mercado é considerado caro desde épocas remotas, devido às restrições logísticas. Segundo Oliveira (2011), a logística do fornecimento de combustível dessa fonte é susceptível de ser complexa devido às características intrínsecas da matéria-prima, tais como o período limitado de disponibilidade e a sua distribuição geográfica sobre o território.

Para Rentizelas; Tolis e Tatsiopoulos (2009), a maior parte do custo na geração de energia de biomassa origina-se das operações de logística. A cadeia logística da biomassa residual pode assumir diversas configurações e se dá em função de condições como infraestrutura local, armazenagem, tecnologia empregada, tipo de biomassa, sazonalidade da demanda, localização da usina, etc. Nesta cadeia, um dos principais problemas é a armazenagem, em função, especialmente, da disponibilidade sazonal da biomassa.

Além disso, a larga e crescente produção agropecuária brasileira atualmente está concentrada nas regiões Centro-oeste e Sul e, por ora, vem se expandindo para as regiões nordestinas. Entretanto, verifica-se que UTE's que utilizam fontes residuais como insumo combustível, estão concentradas, majoritariamente, na região Sudeste do país, as quais tendem a enfrentar barreiras logísticas e de infraestrutura inviáveis para o transporte deste material.

A utilização de resíduos em larga escala exige uma infraestrutura complexa para a sua implantação, necessitando de uma quantidade considerável de esforços coordenados para operar. Uma central geradora, utilizando diversos tipos de insumos, tais como os resíduos da agricultura, produtos da floresta e colheitas energéticas, envolve uma verdadeira rede de participantes, incluindo fazendeiros, indústrias florestais e companhias de reflorestamento. Variações, tanto no mercado das indústrias envolvidas, como climáticas, afetam tanto o armazenamento, como a disponibilidade dos insumos. A este respeito, uma cadeia de abastecimento eficiente e eficaz e uma gestão logística representam um parâmetro fundamental para se atingir resultados econômicos viáveis (GOLD; SEURING, 2011).

Para tanto, conclui-se que existem condições mínimas de viabilidade econômica para os investimentos mais favoráveis. Não há dúvida de que é fundamental a implantação de políticas econômicas adequadas para a comercialização de energia (preço de compra competitivo, incentivos às concessionárias, incentivos fiscais aos produtores de equipamentos) e para tecnologias ainda mais eficientes (taxas de juros e condições de financiamento melhores).

Todavia, apesar dos fatores econômicos da cadeia produtiva de geração de energia obstaculizarem o potencial máximo de utilização das fontes residuais agropecuárias, ressalta-se que estes não são os únicos parâmetros relevantes na análise de sistemas energéticos em geral e de geração de eletricidade, em particular. No âmbito socioeconômico, as atividades desse setor, que incluem pequenos agricultores e/ou produtores rurais, acabam por promover a geração de renda, o investimento em programas de inclusão social e educação em regiões de influência, e por fixarem as populações no campo agregam valor às cadeias produtivas do meio rural e auxiliam na melhoria da qualidade de vida dos agricultores (ABRAF, 2013).

No Quadro 2, encontram-se sintetizados os principais aspectos examinados no artigo, os resultados obtidos a partir da análise econômica realizada e comentários que tangem a utilização de fontes residuais agropecuárias como recurso energético no Brasil.

Quadro 2 – Análise econômica identificada a partir da utilização de fontes residuais agropecuárias como recurso energético no Brasil

Aspectos Econômicos			
Descrição	Desafios	Oportunidades	Comentários
Custos da cadeia logística da biomassa residual agropecuária (colheita, transporte, armazenamento, etc.)	X		Os entraves se devem, principalmente, em função dos altos custos com a necessidade de transporte e acondicionamento do material residual, que é distribuído esparsamente ao longo do território brasileiro. Somado a isto, estão as precárias condições de logística, especialmente dos transportes terrestre e portuário, que o país detém na atualidade. Há a necessidade de acelerar os trabalhos de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) de soluções logísticas e tecnológicas para facilitar o recolhimento dessa biomassa e disponibilização nas plantas de geração.
Custos de instalação e operação das usinas à biomassa residual	X		Existência de altos investimentos iniciais com plantas de geração. Além disso, materiais e peças de reposição desses sistemas muitas vezes não estão disponíveis no Brasil, afetando diretamente o custo com a manutenção. Há a necessidade de acelerar os trabalhos de P&D neste sentido.
Custo total da energia proveniente de resíduos em comparação ao custo da energia proveniente de fontes não-renováveis	X		As fontes renováveis de energia em geral ainda possuem faixas de custo nivelado superior às fontes tradicionais não-renováveis. Há a necessidade de aperfeiçoamentos técnicos de modo que aumentem ainda mais a eficiência energética e tragam uma diminuição nos custos de produção desse tipo de energia.
Custo de oportunidade e remuneração ao produtor rural	X		Elevado tempo de retorno financeiro do capital investido pelo produtor em seu negócio. Este fator cria uma barreira econômica que resulta em desanimar potenciais agentes financeiros e investidores de projetos de energia a partir de fontes residuais.
Custo de tratamento prévio (beneficiamento) da matéria-prima residual	X		São necessárias uma grande quantidade de resíduos para que se possa atingir um valor alto de seu potencial energético, de modo a gerar excedentes e tornar o processo de beneficiamento economicamente rentável.
Facilidades de crédito e existência de programas de financiamento		X	O governo federal incentiva com recursos financeiros projetos que demonstrem a viabilidade econômica de produtos e serviços, nos processos e usos finais da energia.

Quadro 2 – Análise econômica identificada a partir da utilização de fontes residuais agropecuárias como recurso energético no Brasil

Aspectos Econômicos			
Descrição	Desafios	Oportunidades	Comentários
Localização geográfica das UTE's a biomassa residual no país	X		Usinas concentradas majoritariamente na região Sudeste do país, e, distantes da maior malha produtiva agropecuária do país: as regiões Centro-oeste e Sul. Haveria, portanto, a necessidade de criar infraestrutura de distribuição de energia próxima à área agriculturável.
Rede de infraestrutura e malha de transportes brasileira	X		O Brasil possui uma malha de transportes precária. Há a necessidade de uma rede de infraestrutura adequada para garantir a entrega do combustível no horário programado.
Custos socioeconômicos gerados		X	Permitem agregar valor às cadeias produtivas de base rural e possibilitam o aumento do uso de mão-de-obra, gerando empregos e receitas para o país.

Fonte: Elaboração própria.

5. CONCLUSÃO

Considerando-se as evidências encontradas pela aplicação da metodologia adotada, permitiu-se elencar algumas considerações, quais sejam:

- O atual cenário da agropecuária no Brasil e a quantidade de resíduos gerados por esta atividade mostram forte potencial energético, no entanto, pouco explorados;
- Existem dispêndios ao longo de toda a cadeia produtiva que corroboram por inviabilizar economicamente a produção energética oriunda de resíduos da atividade agropecuária no país, tais como: da cadeia logística (principalmente), que inclui altos investimentos iniciais com as plantas de geração; altos custos de operação e manutenção da usina, etc. sendo necessário investimentos nos equipamentos das usinas e na modernização dos processos produtivos;
- Na atualidade, os custos da energia elétrica gerados a partir dessa fonte residual, indicam sua inviabilidade quando comparado à outras fontes renováveis convencionais. Diante dos altos investimentos, há necessidade de acelerar os trabalhos de PD&I para enfrentar esta situação

atuando em duas frentes: aumento da eficiência energética, que reduz a pressão do crescimento da demanda de energia e proporciona ganhos ambientais; e novas tecnologias, subsidiando assim a formulação de políticas públicas no setor energético. Somado a estes fatores, adiciona-se a necessidade de ações em termos de aumentar o conhecimento técnico no meio rural, políticas para superar a falta de acesso a capital e melhorias logísticas;

- Uma vez instaladas as bases de uma política sustentável para o uso dessas matérias-primas, o governo deveria tomar a iniciativa de contribuir na infraestrutura e no apoio financeiro e institucional para a tecnologia, tanto em âmbito local como regional, como: isenção ou reembolso de taxas aplicadas ao uso de fontes renováveis de energia, como forma de aumentar a participação destas na matriz energética; redução dos impostos e das tarifas de transmissão de energia a um preço mínimo; maior crédito aos geradores de energias renováveis; aumento dos programas de consórcio e seguro rural.

- Outro desafio visualizado é a relação desfavorável entre os custos de um projeto energético e seus benefícios comerciais. Apesar das potenciais oportunidades econômicas encontradas no ambiente de negócios brasileiro, a relação entre o custo de projetos energéticos e seu benefício comercial muitas vezes não é suficientemente atraente para investidores. Além disso, sob a perspectiva técnica, a maioria dos projetos de alta eficiência desenvolvidos até hoje no Brasil dependeu de conhecimentos que foram importados. Conseqüentemente, a necessidade por importação, seja de mão-de-obra ou de equipamentos, acaba por encarecer a realização de novos projetos, impactando negativamente a viabilidade financeira dos empreendimentos. Assim, políticas públicas regulatórias são necessárias para a mitigação dessas barreiras;

- No que se refere às políticas socioeconômicas, enfatizou-se que o aproveitamento energético dos resíduos remete a externalidades positivas de serem mensuradas, como as possibilidades de geração de empregos e receitas no país.

REFERÊNCIAS

ABIB [Associação Brasileira das Indústrias de Biomassa e Energia Renovável]. **Potencial de Biomassa Energética no Brasil**. Curitiba (PR): ABIB, 2012. 58 p.

ABIOGÁS [Associação Brasileira de Biogás e de Biometano]. **Proposta de Programa Nacional do Biogás e do Biometano (PNBB)**. São Paulo: ABIOGÁS, 2015. 69 p.

ABRAF [Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas]. **Anuário Estatístico**. Ano base 2012. Brasília: ABRAF, 2013. 142 p.

ANEEL [Agência Nacional de Energia Elétrica]. **Banco de Informações da Geração (BIG)**. Brasília: ANEEL, 2017. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 10 jan. 2017.

BRASIL. Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004. Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica, altera as Leis nºs 5.655, de 20 de maio de 1971, 8.631, de 4 de março de 1993, 9.074, de 7 de julho de 1995, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.648, de 27 de maio de 1998, 9.991, de 24 de julho de 2000, 10.438, de 26 de abril de 2002, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, 16 mar. 2004a.

_____. Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004. Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, 31 jul. 2004b.

_____. Lei nº 6.048, de 27 de fevereiro de 2007. Altera os arts. 11, 19, 27, 34 e 36 do Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004, que regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, 28 fev. 2007.

CAPUTO, A. C.; PALUMBO, M.; PELAGAGGE, P. M.; SCACCHIA, F. Economics of biomass energy utilization in combustion and gasification plants: effects of logistic variables. **Biomass & Bioenergy**, v. 28, n. 1, p. 35-51, 2005.

CASTRO, N. J.; BRANDÃO, R.; DANTAS, G. A. **O Potencial da Bioeletricidade, a Dinâmica do Setor Sucroenergético e o Custo Estimado dos Investimentos**. Rio de Janeiro: Grupo de Estudos do Setor Elétrico (GESEL), 2010. 28 p.

CENBIO [Centro Nacional de Referência em Biomassa]. **Atlas de Bioenergia do Brasil**. 2. ed. São Paulo: CENBIO, 2012. 66 p.

CONAB [Companhia Nacional de Abastecimento]. Grãos safra 2014/2015. **Acompanhamento da Safra Brasileira**. Brasília: CONAB, v. 2, n. 3, 2015. 134 p.

ENERGIA LIMPA. **Usina Termelétrica Abastecida por Resíduos de Cana-de-açúcar**. São Paulo, 2014. Disponível em: <<http://blogatti1967.blogspot.com.br/2013/01/usina-termelétrica-abastecida-por.html>>. Acesso em: 23 abr. 2017.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética]. Economicidade e competitividade de aproveitamento energético de resíduos rurais. **Nota Técnica DEA 17/2014**. Rio de Janeiro: EPE, 2014a. 42 p.

_____. Inventário energético de resíduos rurais. **Nota Técnica DEA 15/2014**. Rio de Janeiro: EPE, 2014b. 51 p.

_____. **Balço Energético Nacional**. Ano base 2015. Rio de Janeiro: EPE, 2016. 292 p.

FELFLI, F. F.; MESA, J. M.; ROCHA, J. D.; FILIPETTO, D.; LUENGO, C. A.; PIPPO, W. A. Biomass briquetting and its perspectives in Brazil. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, n. 1, p. 236-242, 2011.

GALIZA, J. J. M. **Análise Técnica e Regulatória da Geração de Energia a partir do Biogás de Aterros Sanitários no Espírito Santo**. 2017. 270 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2017.

GOLD, S.; SEURING, S. Supply chain and logistics issues of bioenergy production. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, n. 1, p. 32-42, 2011.

IBGE [Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística]. **Estatística da Produção Agrícola**. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. 94 p.

LEBRE, E. L. R.; SOARES, J. B.; OLIVEIRA, L. B.; LAURIA, T. Sustainable expansion of electricity sector: sustainability indicators as an instrument to support decision making. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n. 14, p. 422-429, 2010.

LINO, F. A. M.; ISMAIL, K. A. R. Energy and environmental potential of solid waste in Brazil. **Energy Policy**, v. 39, n. 6, p. 3496-3502, 2011.

MAPA [Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento]. **Plano Agrícola e Pecuário**. Período base 2015/2016. Brasília: MAPA, 2016. 50 p.

MME [Ministério de Minas e Energia]. **Ranking Mundial de Energia e Socioeconomia**. Período base 2012/2013/2014. Brasília: MME, 2015. 8 p. (Boletim).

OLIVEIRA, L. G. S. **Aproveitamento Energético de Resíduos Agrícolas:** o caso da agroeletricidade distribuída. 2011. 282 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – Programa de Pós-Graduação em Planejamento Energético, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

PAULA, L. E. R.; TRUGILHO, P. F.; NAPOLI, A.; BIANCHI, M. L. Characterization of residues from plant biomass for use in energy generation. **Cerne**, v. 17, n. 2, p. 237-246, 2011.

RENTIZELAS, A. A.; TOLIS, A. J.; TATSIPOULOS, I. P. Logistic issues of biomass: the storage problem and the multi-biomass supply chain. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 13, n. 4, p. 887-894, 2009.

SAIDUR, R.; ABDELAZIZ, E. A.; DEMIRBAS, A.; HOSSAIN, M. S.; MEKHILEF, S. A review on biomass as a fuel for boilers. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 5, p. 2262-2289, 2011.

SILVA, N. F. **Fontes de Energia Renováveis Complementares na Expansão do Setor Elétrico Brasileiro:** o caso da energia eólica. 2006. 263 f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) – Programa de Pós-Graduação em Planejamento Energético, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

SOUZA, V. H. A.; SANTOS, L. T.; PAGEL, U. R.; SCARPATI, C. B. L.; CAMPOS, A. F. Aspectos sustentáveis da biomassa como recurso energético. **Revista Augustus**, v. 20, n. 40, p. 105-123, 2015.

SULTANA, A.; KUMAR, A.; HARFIELD, D. Development of agri-pellet production cost and optimum size. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 14, p. 5609-5621, 2010.

TOLMASQUIM, M. T. (Org.). **Energia Termelétrica:** gás natural, biomassa, carvão, nuclear. Rio de Janeiro: EPE, 2016. 417 p.