

XI ECOECO

VII Congreso Iberoamericano
Desarrollo y Ambiente

XI ENCONTRO NACIONAL DA ECOECO
Araraquara-SP - Brasil

CAPIM-ELEFANTE, UMA FONTE ALTERNATIVA DE ENERGIA E RENDA PARA PEQUENAS
PROPRIEDADES RURAIS

Camila Rodrigues de Souza (UnB) *Biólogo e Cientista Ambiental*

Pedro Henrique Zuchi da Conceição (UnB) - pedrozuchi@unb.br
Dr. Economia Aplicada, prof. Departamento de Economia.

CAPIM-ELEFANTE, UMA FONTE ALTERNATIVA DE ENERGIA E RENDA PARA PEQUENAS PROPRIEDADES RURAIS

Camila Rodrigues de Souza¹
Pedro Henrique Zuchi da Conceição²

RESUMO

O capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum) apresenta elevada produção de massa seca, possui grande resistência a condições climáticas desfavoráveis e se adequa a variados tipos de ambiente. O cultivo de um hectare da planta produz até 40 toneladas de biomassa, cujo poder calorífico é de aproximadamente 4,77 kWh/kg. A combustão desse material libera mais calor que as tradicionais fontes de biomassa e produz menos CO₂. Neste trabalho, analisou-se a possibilidade econômica de geração de energia elétrica a partir da instalação de mini usinas de queima de capim-elefante em pequenas e médias propriedades rurais. Após a construção de fluxos de caixa para atender a demandas de consumo de três cenários rurais distintos, verificou-se que o projeto de geração é economicamente viável e uma possibilidade de geração de renda aos proprietários. Em um dos cenários propostos o valor presente líquido estimado para 10 anos de operação atinge R\$189.000,00. Para tanto alterações no marco legal e institucional são fundamentais para que esse valor seja alcançado. O trabalho constrói outros cenários voltados para o entendimento de possíveis alterações no atual regime de compra de energia de pequenos gerados de energia, permitindo a geração de renda mensal para pequenos e médios produtores no Brasil.

Palavras chave: capim-elefante, energia, propriedade rural, fluxo de caixa.

ABSTRACT

The elephantgrass (*Pennisetum purpureum* Schum) presents a high production of dry mass, has a high resistance to adverse weather conditions and adaptability to different types of environment. The cultivation of the plant in one hectare produces up to 40 tons of biomass, whose calorific value is approximately 4,77 kWh/kg. The combustion of this material releases more heat than the traditional sources of biomass and produces less CO₂. In this study, was analyzed the economic feasibility of power generation from the installation of a mini factory of elephantgrass burn in small and medium-sized farms. After construction of cash flows

¹ Cientista Ambiental pela Universidade de Brasília. Email: camilarodrigues818@gmail.com

² Prof. Departamento de Economia da Universidade de Brasília. Email. pedrozuchi@unb.br

according to consumption demands of rural area in three different scenarios, it was found that the project of energy generation designed is economically viable and a possibility of generating income for the proprietors.

Key words: elephantgrass, energy, rural property, cash flow.

Introdução

Nos anos 80, a preocupação ambiental foi inserida na agenda do planejamento energético, mas de forma corretiva e não preventiva. Apenas no final dessa década começou a trabalhar a preservação, buscando-se empreendimentos de menor impacto ambiental.

A utilização de fontes de energia alternativa é uma questão importante não só sobre o aspecto ambiental, mas sobre o ponto de vista do desenvolvimento econômico. Dessa necessidade surge a biomassa, como uma possibilidade no Brasil, em virtude da quantidade de terras disponíveis para obtenção de uma produção significativa (QUÉNO *et al*, 2011).

Segundo o panorama da COP 16 divulgado pelo governo brasileiro, o Brasil possui a matriz energética mais renovável do mundo, mas apenas 8,14% da energia elétrica utilizada no país provêm de biomassa.

O panorama de crescimento econômico estimado para 2030 prevê um aumento significativo da demanda por energia. Deste modo, a necessidade de expansão da oferta de energia deve considerar, além de iniciativas que promovam o uso mais eficiente das fontes, a inclusão de fontes alternativas à matriz energética (TOLMASQUIM *et al*, 2007). Essa tendência pode ser verificada a partir dos dados da Tabela 1, onde se observa o aumento da geração de energia por fontes alternativas de 2008 a 2012 no Brasil.

Tabela 1. Geração elétrica por energético no Brasil (GWh)

	2008	2009	2010	2011	2012	Part.% (2012)
Total	463.120	462.976	515.799	531.758	552.498	100,0
Gás Natural	28.778	13.182	36.476	25.095	415.342	8,5
Hidráulica (I)	369.556	389.858	403.290	428.333	415.342	75,2
Derivados de Petróleo (II)	15.628	12.549	16.065	12.239	16.214	2,9
Carvão	6.730	5.416	8.263	6.485	8.422	1,5
Nuclear	13.969	12.957	14.523	15.659	16.038	2,9
Biomassa (III)	19.199	20.572	31.523	31.633	34.662	6,3
Eólica	1.183	1.238	2.177	2.705	5.050	0,9
Outras (IV)	8.076	7.205	3.481	9.609	10.010	1,8

I. Inclui autoprodução

II. Derivados de petróleo: óleo diesel e óleo combustível

III. Biomassa: lenha, bagaço de cana e lixívia

IV. Outras: recuperações, gás de coqueria e outros secundários

Fonte: Anuário estatístico de energia elétrica 2013 apud Balanço Energético Nacional EPE (2013).

Além do aumento da demanda de energia estimado, outros fatores justificam a discussão atual sobre a necessidade de investimentos em fontes renováveis. A dependência externa é um fator, pois, apesar da energia importada ser reduzida, esta pode limitar a economia do país em momentos críticos. Outro fator são as mudanças climáticas. As emissões de gases de efeito estufa se tornam uma questão cada vez mais relevante no contexto energético.

Segundo o governo brasileiro, modelo energético do país apresenta grande potencial de expansão, o que resulta em uma série de oportunidades de investimento de longo prazo. A estimativa do Ministério de Minas e Energia para o período compreendido nos anos de 2008 a 2017 indica “aportes públicos e privados da ordem de R\$ 352 bilhões para a ampliação do parque energético nacional” (PORTAL BRASIL, 2010, p.01).

O Plano Nacional de Energia 2030; primeiro estudo de planejamento integrado dos recursos energéticos realizado pelo governo brasileiro e conduzido pela Empresa de Pesquisa Energética; fornece subsídios para a formulação de uma estratégia de expansão da oferta de energia econômica e sustentável compatível com a evolução da demanda (ETE, 2013).

Outra ação governamental em prol das fontes alternativas de energia é o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), criado a partir da Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002, pelo Ministério de Minas e Energia. O objetivo do programa é desenvolver fontes alternativas e renováveis de energia para a produção de eletricidade, levando em conta características e potencialidades regionais e locais e investindo na redução de emissões (ETE, 2013).

O Proinfa contempla as tecnologias de geração de energia por pequenas centrais hidroelétricas, biomassa e eólica. Considerado um programa pioneiro, que impulsionou o uso de fontes alternativas (MME, 2013), embora voltado para geração de energia em larga escala.

2 - Meio Rural e Energia Elétrica

As inovações tecnológicas na última década permitiram repensar as atividades agrícolas e o modo de vida rural. A questão é avaliar as possibilidades existentes e compatibilizá-las com os cenários futuros possíveis e a melhor situação possível.

Considerando-se a evolução do meio rural brasileiro, a energia elétrica é um tema recente. Apenas 20 anos após o surgimento da energia elétrica no Brasil é que se criaram as primeiras cooperativas de eletrificação rural. Somente em 1970 criou-se o Grupo Executivo

de Eletrificação Rural, responsável por movimentar fundos do I Plano Nacional de Eletrificação Rural. Em 1999 foi criado o Programa Luz no Campo, voltado para a disponibilização de energia elétrica massiva para o meio rural. Foram atendidas, aproximadamente, 419 mil famílias (VIEIRA, 2011).

Com o Decreto nº 4.873, de 11 de novembro de 2003, foi instituído o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica – Programa Luz para Todos, com a meta de universalização de acesso e uso sem custo direto para o público alvo, famílias de baixa renda do meio rural brasileiro. Aproximadamente, 2,5 milhões de famílias foram beneficiadas (VIEIRA, 2011). O consumo de energia³ no meio rural, apesar de crescente, ainda revela o pouco acesso a fontes energéticas, se comparado ao consumo nacional (Tabela 2).

Tabela 2. Consumo de energia elétrica no meio rural brasileiro (GWh)

	2008	2009	2010	2011	2012	Part. % (2012)
Brasil	388.472	384.306	415.683	433.034	448.117	100
Rural	17.947	17.304	18.906	21.027	22.952	5,1

Fonte: Anuário estatístico de energia elétrica EPE (2013).

Durante a vigência do Programa Luz para Todos, foram realizados 2.048 atendimentos a comunidades isoladas, por meio de sistemas alternativos de geração de energia elétrica. Como tais regiões correspondem a áreas fora do alcance da rede de distribuição de energia, optou-se por sistemas de geração a partir de fontes alternativas, dentre elas a biomassa (VIEIRA, 2011).

De acordo com Walter (2013), atualmente cerca de 15% da população brasileira, ou seja, mais de 25 milhões de pessoas não dispõem de energia elétrica, boa parte delas no meio rural. Conforme o autor, “estima-se que o número de propriedades rurais sem acesso à eletricidade seja da ordem de 100 mil”. Como alternativa à amenização deste cenário, são apontadas as fontes energéticas renováveis, conforme Costa e Prates (2005, p.08):

[...] as novas fontes renováveis têm sido utilizadas como forma de reduzir as diferenças regionais no que diz respeito ao acesso à energia. Apesar de seus elevados custos, se comparados com os das fontes tradicionais, as novas fontes renováveis podem se tornar competitivas em comunidades isoladas.

³ Entende-se por consumo o consumo cativo (por consumidores de energia elétrica com fornecimento legalmente obrigatório pela concessionária de distribuição da área onde está situado) e o consumo livre (por agentes da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica que adquirem energia no ambiente de contratação livre para unidades consumidoras)

Dados do Censo Agropecuário 2006 do IBGE revelam que 70% dos estabelecimentos agropecuários no Brasil utilizam energia elétrica, ou seja, 30% ainda não têm acesso à energia. Ainda segundo o censo, a maior parte da energia elétrica desses estabelecimentos provém de fontes externas. Somente 2% deles geram sua própria energia (IBGE, 2011).

Dentre os estabelecimentos agropecuários geradores da própria energia, 42% utilizam placas solares e 42% utilizam a queima de combustíveis para a obtenção de energia elétrica. Dos utilizadores de energia solar, 72% localizam-se na região Nordeste. Dos que utilizam energia da queima de combustíveis, 72% concentram-se na região Norte e 55% na região Centro-Oeste. Com quantitativo pouco significativo, há a utilização de energia eólica, 0,04% dos estabelecimentos que geram energia elétrica (IBGE, 2011).

Em relação ao acesso à energia elétrica na agricultura familiar, mais de 75% das propriedades já possuem acesso a ela. A questão é a heterogeneidade de distribuição. Na região Norte, por exemplo, metade dos estabelecimentos familiares não conta com energia elétrica (IBGE, 2011).

O meio rural é um promissor nicho de mercado para fontes de energia renovável, principalmente da proveniente de biomassa em função da ampla disponibilidade de recursos. A sua utilização apresenta vantagens à atividade econômica local e a provável economia de transporte de energia, já que o abastecimento por redes elétricas é oneroso (WALTER, 2013).

3 - Capim-elefante e seu potencial energético e de renda

Para o fornecimento de biomassa à geração de energia, as espécies herbáceas perenes devem apresentar algumas características. Segundo Quéno *et al* (2011), as herbáceas devem ter alta eficiência no processo de conversão da energia solar pela fotossíntese, possuir sistema radicular externo e profundo, utilizar pouca água do solo e necessitar de poucos nutrientes. Essas plantas geralmente possuem ciclo fotossintético C4⁴.

Calcula-se que plantas C4 são 40% mais eficientes na captação de carbono que plantas com ciclo C3. As plantas C4 são mais adaptadas a luz e altas temperaturas, pois fazem pouca fotorrespiração pela alta concentração de CO₂ nas células. As C4 utilizam menos de 400 gramas de água para produzir um grama de matéria seca vegetal (ROSSI, 2010).

Dentre as herbáceas perenes destaca-se o capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum), por causa de sua elevada produção de matéria seca por unidade de área, devida à alta

⁴ Plantas C4 reduzem o CO₂ por um ciclo onde o primeiro composto estável tem quatro átomos de carbono (ácido dicarboxílico).

eficiência fotossintética, e por seu equilíbrio nutritivo, além da grande resistência a condições climáticas desfavoráveis.

O capim-elefante se adéqua a variados tipos de ambiente, desde o nível do mar até 2.200 metros. Suporta temperaturas de 18 a 30 °C, mas pode suportar situações de frio. Em relação a chuvas, a espécie sobrevive em um regime pluviométrico de 800 a 4.000 mm e vegeta em regiões quentes e úmidas. É resistente à alta radiação e se adapta a diferentes tipos de solo, com exceção de solos com pouca drenagem. As plantas podem ser cultivadas em terrenos com declives de até 25 % (LOPES, 2004). É rico em fibras e lignina e possui alta relação carbono-nitrogênio, característica desejável para a produção de energia, pois quanto maior essa razão, mais propícia para a queima é a planta (QUESADA, BODDEY e REIS, 2004).

Segundo a Embrapa Agrobiologia, o capim-elefante é o campeão em biomassa energética no Brasil, conforme observado na Tabela 3, pois 1 hectare produz até 40 toneladas de biomassa por ano sem adubação nitrogenada, sendo uma alternativa a solos pobres. Atualmente a espécie está adaptada a todas as regiões do país e é amplamente utilizada como alimento na criação de gado (QUÉNO *et al*, 2011).

Tabela 3. Energia produzida por algumas fontes renováveis, em 1 ha cultivado.

Fonte de energia	Energia produzida (kcal/kg)	Energia produzida por ha/ano (kcal)
Capim elefante	4.200	189.000.000
Capim brachiaria	3.900	97.500.000
Eucalyptus grandis	4.641	92.820.000
Bagaço da cana	3.700	29.600.000
Lenha do cerrado	4.200	420.000

Fonte: Silva (2008) adaptado de Vilela (2007).

Trata-se de uma forrageira com ampla variabilidade de características morfológicas, mas geralmente é representada por plantas eretas, cespitosas, com porte superior a cinco metros, com folhas largas e compridas, de 30 a 120 centímetros. O cultivo desta espécie acontece por propagação vegetativa e se realiza por pedaços de colmo (ROSSI, 2010).

Para o fim energético, o capim deve ser o menos nutritivo possível, pois presença de sais minerais gera cinzas que danificam os fornos de combustão. Em termos de eficiência, o capim oferece de duas a quatro colheitas anuais, e o briquete de capim libera 40% mais calor que o cavaco de madeira durante a queima e possui baixo teor de umidade, cerca de 20% menos que o cavaco. A combustão de briquetes produz apenas CO₂ e vapor de água (ROCHA *et al*, 2009).

Como principais benefícios gerais do uso da biomassa do capim-elefante para geração de energia, pode-se listar produção de energia limpa e renovável; utilidade a terras

desgastadas em termos de nutrientes; redução da emissão de CO₂; utilização dos resíduos da queima como adubo; reutilização da água das caldeiras; redução do uso de herbicidas (SILVA, 2008).

3.1 Biomassa e geração de energia

Biomassa é qualquer recurso proveniente de matéria orgânica que pode ser utilizado na geração de energia, considerada uma fonte renovável e limpa. A conversão de biomassa em energia realiza-se por diferentes processos físicos, biológicos, e termoquímicos. Os processos físicos são densificação, redução granulométrica e prensagem. Os processos termoquímicos são combustão direta, gaseificação, pirólise e liquefação. Os processos de conversão biológica são fermentação e digestão anaeróbica.

De acordo com Silva (2008), o processo mais utilizado para a geração de energia a partir de biomassa é a combustão direta, que pode gerar 40 GW em unidades médias com potência mundial de 20 MW. Em larga escala, a tecnologia com o uso de caldeiras para obtenção de vapor exige elevadas temperaturas e pressão. Equipamentos de usinas de cogeração de energia operam a temperaturas acima de 500 graus e geram energia elétrica na ordem de 215 MW. Segundo Rodrigues (2009, p.34):

Para a geração de calor e energia elétrica, a tecnologia da combustão direta é aplicada convencionalmente, enquanto a gaseificação e a pirólise em unidades de grande capacidade de operação estão em fase de desenvolvimento. Para a produção de calor, a combustão direta é a mais adequada e utilizada. No caso de produção de eletricidade com elevada eficiência, a gaseificação e a pirólise são opções promissoras.

Em termos de tecnologia, a obtenção de energia a partir de biomassa necessita de equipamentos que queimem a matéria seca e permitam aproveitar a energia térmica liberada. Normalmente são necessários acionadores primários que produzam trabalho. Para a combustão são utilizadas caldeiras, cujo vapor gerado aciona turbinas. Esta tecnologia é chamada de ciclo a vapor. No ciclo, a biomassa é processada, e o acionador primário produz a energia elétrica. Nas caldeiras a fornalha é a parte onde a energia química da biomassa é convertida em energia térmica. Para biomassa em unidades de pequeno ou de médio porte são utilizadas fornalhas com grelhas (RODRIGUES, 2009).

Como modo de geração de energia elétrica a partir de biomassa de capim-elefante, este trabalho considera apenas a queima direta por sistema caldeira-gerador, devido à destinação da energia: suprimir as necessidades de consumo de pequenas e médias propriedades rurais. Uma característica desse sistema é a capacidade de utilização de qualquer tipo de combustível.

Dados da ANEEL (2014) informam que há 496 usinas do tipo biomassa em operação no Brasil. Dentre elas, duas utilizam capim-elefante. A usina Flórida Clean Power do Amapá possui potência de 1.700 KW e a usina Sykué I, na Bahia, possui potência de 30.000 KW e apresenta produção independente de energia.

3.2 Observações adicionais sobre capim-elefante e meio ambiente

Considerando-se a combustão para energia elétrica, o desafio do capim-elefante é a secagem, pois 80% de sua composição é água. A biomassa verde não seca naturalmente, o que requer secagem artificial ou compactação. Deve-se secar a biomassa quando ela apresenta mais de 55% de umidade. Em sistemas de cogeração de pequena escala (de 1 a 5 MW), indica-se que a secagem da biomassa seja feita no próprio sistema de grelhas da combustão (ROCHA *et al*, 2009).

A presença de outras espécies é outro possível problema. A cultura de capim-elefante é sensível à interferência de plantas daninhas durante a fase de cultivo, que ocorre no período chuvoso e a elevadas temperaturas, características que favorecem o aparecimento de invasoras. Manejo e controle falhos do capim nos estágios iniciais podem ocasionar perdas de produtividade.

Outro aspecto que pode tornar-se um problema é a logística. É necessário que a biomassa esteja disponível a uma pequena distância do local de processamento. Para uma central de pequena escala, por exemplo, são necessárias de 1.000 a 5.000 toneladas por ano. Esse volume deve estar a um raio de 5 km (RODRIGUES, 2009).

Sendo uma espécie introduzida no Brasil com fins forrageiros, o capim-elefante apresenta um potencial para gerar infestação em lavouras, beira de estrada e terrenos baldios, podendo ser considerada uma daninha por ser rústica e de vasta multiplicação. Plantas daninhas representam riscos às culturas agrícolas devido aos prejuízos que ocasionam, no caso do capim, principalmente pelo trabalho de remoção e pela ocupação do espaço físico.

Ainda em relação ao controle da forrageira, verificou-se a tolerância do capim-elefante a herbicidas aplicados isoladamente ou em misturas entre si, mesmo com a eficiência desses produtos no controle de *B. decumbens* e outras espécies de plantas daninhas, conforme estudo realizado por Silva (2002).

Em termos ambientais, é necessária cautela ao se considerar o cultivo de plantas exóticas para fins energéticos. Elas possuem potencial de modificar sistemas naturais, o que, em grande escala, representa uma ameaça à biodiversidade. Deve-se considerar que os

impactos dessas plantas prolongam-se com o tempo, pois elas se alastram e ocupam cada vez mais o espaço das nativas.

O capim-elefante tem potencial para alterar os ecossistemas em que se instala, o que torna mais difícil o retorno ao equilíbrio original. Como consequências podem ser listadas alterações na ciclagem de nutrientes, nos níveis trópicos, na distribuição de biomassa, no porte da vegetação, nas taxas de decomposição, na presença de polinizadores. As alterações ambientais podem resultar até no desaparecimento de outras espécies. Como agravante há o risco de surgimento de híbridos a partir de espécies nativas. Caso o cultivo dessas plantas não seja devidamente monitorado, os danos prováveis serão ambientais, mas também econômicos. Atividades associadas ao uso de recursos naturais locais poderão ser prejudicadas, gerando potenciais mudanças na matriz de produção se a introdução de uma nova espécie não for devidamente monitorada.

4 – A implantação de mini usina de geração de energia elétrica com uso de capim-elefante

A análise de viabilidade financeira para implantação de uma mini usina - que atenda a demanda de pequenos agricultores e, principalmente, gere renda com a venda de energia elétrica – foi realizada a partir da construção de fluxo de caixa livre do projeto (anexo). Foram criados cenários para análise, cujo objetivo central era verificar a possibilidade de gerar renda a partir da venda de energia. Os cenários foram assim determinados:

- Cenário 1: cultivo de 2 hectares de capim-elefante para atender ao consumo elétrico de 1 pequena propriedade, com venda da energia excedente à concessionária;
- Cenário 2: cultivo de 1 hectare de capim-elefante para atender ao consumo elétrico de 8 pequenas propriedades;
- Cenário 3: cultivo de 2 hectares de capim-elefante para atender ao consumo elétrico de 8 pequenas propriedades, com venda da energia excedente à concessionária;

Comparando-se os indicadores de análise do investimento obtidos (Tabela 4), verificou-se que os cenários 1 e 3 são viáveis, pois apresentaram taxa interna de retorno e valor presente líquido com valor positivo, além de menor tempo de *payback*. Evidenciou-se que ambos são mais atrativos na projeção de 20 anos para a execução do projeto, por apresentarem maior VPL e TIR se comparados ao período de 10 anos.

Tabela 4. Taxa Interna de Retorno (%), *payback* (anos) e Valor Presente Líquido (R\$) obtidos nos fluxos de caixa os Cenários 1,2 e 3.

Indicador	Cenário 1		Cenário 2		Cenário 3	
	20 anos	10 anos	20 anos	10 anos	20 anos	10 anos
VPL (6%)	284.364	117.485	(57.217)	(101.430)	395.851	189.025
VPL (10%)	165.799	69.603	(87.785)	(113.272)	248.551	129.328
VPL (16%)	62.541	18.045	(114.132)	(125.923)	120.169	65.024
TIR	22,57	18,77	1,63	(9,13)	28,42	25,62
<i>Payback</i>	4,44	4,44	15,00	15,00	3,53	3,53

Fonte: elaboração própria.

Comparando-se estes dois cenários, o Cenário 3 é o mais indicado em termos monetários, já que proporciona maior retorno de capital e menor tempo para que o investimento seja pago, além de maior valor presente com a taxa de 10%, alíquota adotada no trabalho por ser própria ao rendimento de aplicações de baixo valor, considerando-se a renda dos proprietários rurais. Simularam-se também as taxas de 6 e 16%, conforme valores na Tabela 4. Foi evidenciado que a venda da energia elétrica excedente é responsável por alta porcentagem da renda a ser obtida e fator determinante para a viabilidade do projeto de geração de energia por capim-elefante nas propriedades analisadas.

A partir do estudo realizado, verificou-se que o capim-elefante surge no cenário energético como possibilidade promissora sob o ponto de vista ambiental. Sua queima possui uma surpreendente capacidade energética se comparada às demais fontes de biomassa atuais. Outra grande vantagem dessa forrageira na geração de energia é a menor emissão de gás carbônico resultante da combustão. A utilização dessa recente fonte de energia gera externalidades positivas e insurge no contexto mundial como mais uma alternativa à matriz baseada nos combustíveis fósseis, cada vez mais escassos.

Já utilizado em dois empreendimentos de grande porte no Brasil, o capim-elefante carece de experiências de uso com a mesma finalidade em escalas menores e domésticas, como situações existentes no meio rural brasileiro, no qual há propriedades isoladas e distantes da rede elétrica convencional. O cultivo simples, a alta adaptabilidade a ambientes diversos, o rápido crescimento e o elevado potencial energético por unidade de biomassa são características que favorecem a consideração dessa cultura como fonte de biomassa para a geração de energia em comunidades com menor disponibilidade de recursos.

Considerando-se o consumo estimado de uma pequena propriedade como uma família de quatro pessoas e também a produtividade mensal de massa seca de capim-elefante, previu-se que os kWh restantes poderiam ser vendidos à rede pública. O Sistema de Compensação de

Energia, aprovado pela ANEEL em abril de 2012, autoriza o consumidor a instalar pequenos geradores e negociar a produção com a concessionária local. De acordo com a agência, a possibilidade aplica-se a quem utiliza fontes incentivadas de energia, como hídrica, solar e biomassa.

Inicialmente, o fornecedor privado de energia não recebe restituição financeira pela energia disponibilizada para a concessionária. É realizado apenas um desconto na conta de energia elétrica, o que não seria vantajoso, dado que ele possui capacidade produtiva muito superior ao seu consumo. Há a intenção de se estabelecer, futuramente, o pagamento monetário pela energia distribuída à rede pública, como modo de incentivo ao uso de energias limpas e também como uma alternativa ao barateamento das contas e prevenção de sobrecargas do sistema elétrico. A possibilidade existente atualmente baseia-se em leilões de biomassa, realizados anualmente pelo MME.

Segundo o Proinfa, o preço da energia contratada é calculado com base no valor correspondente à sua fonte, tendo como piso 50% da tarifa média nacional de fornecimento ao consumidor final. O valor econômico referente à tecnologia específica da fonte é fixado por meio da Portaria MME nº 45, de 2004 e reajustado até a data de assinatura do contrato pelo Índice Geral de Preços - Mercado (IGP-M/FGV). Utilizou-se como referência de valor o Leilão de Energia A-5/2014, realizado pelo MME, no qual foram contratados estabelecimentos de geração de energia elétrica por biomassa, por 25 anos, com a remuneração de cerca de R\$ 0,21 kWh.

A partir dos cenários e pressupostos adotados neste trabalho, conclui-se que o capim-elefante é uma possibilidade viável para os parâmetros hipotéticos dos projetos associados à venda de energia destinada ao consumo próprio de pequenas propriedades. Apesar de investimentos elevados para o padrão de renda da agricultura familiar, há retorno monetário após alguns anos de funcionamento, principalmente a partir da compra de energia excedente gerado no sistema. Essa estratégia pode constituir uma importante fonte de renda para produtores.

Esforço institucional é fundamental para a concretização desta possibilidade energética em pequena escala. A venda remunerada de energia ao sistema público, conforme mencionado, traria benefícios ao Estado e à sociedade, experiência de sucesso em diversos países da Europa, que investiu em redes inteligentes de energia, nas quais os usuário podem fornecer energia às concessionárias. Programas de incentivo ao pequeno produtor, inclusive

quanto à participação nos leilões de venda de energia é outra medida de fomento à geração de energia elétrica por biomassa de capim-elefante.

Este trabalho indica a possibilidade econômica de utilização da geração de energia elétrica a partir da biomassa de capim-elefante, sob as justificativas social e ambiental. Carecem, entretanto, estudos que valorem os benefícios econômicos atribuídos a estas duas esferas, com indicações e quantificações da redução de danos ambientais e dos custos de oportunidade atribuídos ao uso do capim como fonte energética. Ações futuras, como testes piloto e desenvolvimento de equipamentos especificamente projetados para o uso em pequena escala, com maior eficiência e menores custos, são fundamentais.

REFERÊNCIAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia elétrica. **Banco de Informações de Geração.** Capacidade de Geração do Brasil. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/15.htm>>. Acesso em: 23/08/14.

BRASIL, **Portal Brasil- Matriz energética.** Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2010/11/matriz-energetica>> Acesso em 10/09/14.

BRASIL, **Panorama COP 16.** Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/cop/panorama/o-que-o-brasil-esta-fazendo/matriz-energetica>> Acesso em 10/09/14.

BRASIL. **Lei nº 8.629, de 25 de fevereiro de 1993.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L8629.htm>. Acesso em 15/11/14.

BRASIL. **Lei nº 11.326, de 24 de julho de 2006.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2006/Lei/L11326.htm>. Acesso em 15/11/14.

BRASIL. **Lei nº 12.783 de 11 de janeiro de 2013.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/lei/L12783.htm>. Acesso em 15/11/14.

COPEL. **Simulador de consumo de energia elétrica.** Disponível em: <<http://www.copel.com/hpcopel/simulador/>> Acesso: 19/11/2014.

COSTA, Ricardo Cunha da; PRATES, Cláudia Pimentel T. **O Papel das Fontes Renováveis de Energia no Desenvolvimento do Setor Energético e Barreiras à sua Penetração no Mercado.** BNDES Setorial, v. 21, p. 5-30, 2005.

COSTA, S. H. et. al. **Análise econômica comparativa entre diferentes opções para eletrificação domiciliar rural.** XVII Conferência Latino-Americana de Eletrificação Rural, Recife,, p. 1- 8,1999.

- EPE- Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Nacional de Energia 2030**. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/PNE/Forms/Empreendimento.aspx>>. Acesso: 23/06/14.
- EPE- Empresa de Pesquisa Energética. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2013**. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Síntese%20do%20Relatório%20Final_2014_Web.pdf>. Acesso: 23/06/14.
- FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS, **Índice Geral de Preços** - Disponibilidade Interna (IGP-DI). Revista Conjuntura Econômica, 2013. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br/>>. Acesso: 19/11/2014.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Atlas do espaço rural brasileiro**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário 2006**. Rio de Janeiro: IBGE; 2006. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/2006/agropecuario.pdf>> Acesso: 23/06/14.
- LOPES, Bruna Adese. **O Capim-elefante**. Seminário apresentado à disciplina ZOO 645 (Métodos nutricionais e alimentação de ruminantes). Universidade Federal de Viçosa - Centro de Ciências Agrárias /Departamento de Zootecnia). Viçosa, Maio de 2004.
- MME- Ministério de Minas e Energia. **Institucional**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/mme/menu/institucional/ministerio.html>>. Acesso em 10/09/14.
- MME- Ministério de Minas e Energia. **Programa de incentivo a fontes alternativas de energia**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/programas/proinfa/>>. Acesso em 10/09/14.
- MTE- Ministério do Trabalho e Bem Estar, **Norma Regulamentadora NR-13**, 26.04.1995.
- QUÉNO, L. M. R. *et al.* **Custo de produção das biomassas de eucalipto e capim elefante para energia**. Cerne, Lavras, v. 17, n. 3, p. 417-426, 2011. Disponível em: <<http://www.dcf.ufra.br/cerne/administracao/publicacoes/m583v17n3o17.pdf>>. Acesso em 11/09/14.
- QUESADA, D.Q.; BODDEY, R. M.; REIS, V. M. & URQUIAGA, S. **Parâmetros qualitativos de genótipos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) estudados para a produção de energia através da biomassa**. Circular Técnica 8, Seropédica, RJ. Novembro, 2004.
- ROCHA, E. P. A.; SOUZA, D.F.; DAMASCENO, S. M. **Estudo da viabilidade da utilização de briquete de capim como fonte alternativa de energia para queima em alto-forno**. VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação científica. Uberlândia, MG. 2009.
- ROSSI, D. A. **Avaliação morfoagronômica e da qualidade da biomassa de acessos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) para fins energéticos no Norte**

Fluminense. Tese (Mestrado em Produção Vegetal)-Campos dos Goytacazes- RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 55p, 2010.

RODRIGUES, Marcos Luiz de Macedo. **Estudo técnico-econômico da implantação da cogeração em pequena escala a biomassa em uma indústria.** Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 2009.

Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas – Sebrae. **Série Estudos e Pesquisas – perfil do produtor rural.** 2012.

SILVA, A. C. A. *et al* . **A Cogeração de energia a partir do capim brachiaria: Um caso de inovação na indústria de bionergia.** XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção-Rio de Janeiro, RJ. 2008.

SILVA, W. *et al* . **Redução da interferência de *Brachiaria decumbens* na formação de pastagem com *Penisetum purpureum* através de herbicidas.** Planta daninha, Viçosa , v. 20, n. 2, 2002 . Disponível em:
<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-83582002000200014&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 26/10/14.

TOLMASQUIM, Mauricio T.; GUERREIRO, Amilcar e GORINI, Ricardo. **Matriz energética brasileira: uma prospectiva.** Novos estud. - CEBRAP. 2007, n.79.

WALTER, Arnaldo. **Fomento à geração elétrica com fontes renováveis de energia no meio rural brasileiro: barreiras, ações e perspectivas.** In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 3., 2000, Campinas, Brasil. Disponível em:
<http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022000000100028&lng=en&nrm=abn>. Acesso em 11/09/14.

VIEIRA, Daniel Maia. **Obstáculos à universalização do acesso ao serviço público de distribuição de energia elétrica no meio rural brasileiro.** Tribunal de Contas da União, 2011. Disponível em:
<http://portal2.tcu.gov.br/portal/pls/portal/docs/2432933.PDF>. Acesso em: 17/10/14.

ZUKOWSKI JR., Joel Carlos, MARCON, Rogério Olavo, CORTEZ, Luis Augusto Barbosa *et al*. **Instalação de uma pequena central termelétrica a biomassa e cogeração com sistema de refrigeração por absorção: alternativa para pequenas comunidades agrícolas isoladas.** In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 5., 2004, Campinas. Disponível em:
<http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022004000200006&lng=en&nrm=abn>. Acesso em: 17/10/14.

Anexo 2: Custo de investimento

Calculou-se o custo de investimento em três frentes: plantação, equipamento de geração e condução da energia. Na frente plantação, utilizaram-se os dados de Quéno *et al* (2011), que contabilizou os custos de preparação do solo, mudas e plantio de um hectare de capim-elefante. O valor devidamente corrigido da plantação é R\$ 1.360,67.

Quanto aos equipamentos de geração, total foi calculado conforme especificações de estrutura e equipamentos indicados em Zukowski *et al* (2004) em sistema instalado do CEULP/ULBRA. A cotação dividiu-se em maquinário (Tabela 5) e galpão de proteção do equipamento (Tabela 6).

Tabela 5. Especificação e preço dos maquinários da mini usina.

Item	Quantidade	Preço (R\$)
Sista caldeira 300 kg/h	1	30.000,00
Conjunto turbina-gerador	1	40.000,00
Sistema de refrigeração	3	4.500,00
Mão de obra	1	6.000,00
Total		80.500,00

* cotação de 2013

Fonte: elaboração própria.

Tabela 6. Especificação e preço dos itens para construção de galpão 10 x 5m.

Material	Quantidade	Preço*
Tijolos	2.500	700,00
Cimento	50 sacos	1.100,00
Ferro estrutura	Para 50 m ²	1.000,00
Areia	1 caminhão	1.500,00
(continuação)		
Material	Quantidade	Preço*
Brita	6 m	500,00
Armação de ferro telhado	1	5.000,00
Telhas eternit	Para 50 m ²	900,00
Mão de obra	1	6.000,00

Total	16.700,00
-------	-----------

* cotação de 2013

Fonte: elaboração própria.

Para a valoração dos custos da fiação condutora de energia até a propriedade (Tabela 7), os valores foram calculados conforme especificações de Costa *et al* (1999). Admitiu-se que a distância entre o galpão e os receptores de energia não ultrapasse 1 km.

Tabela 7. Especificação e preço da estrutura condutora.

Equipamento	Preço (R\$)*
Linha de transmissão alumínio	13.974,82
Linha monofásica	22.068,31
Poste	1.152,82
Subestação	4.381,46
Total	41.577,41

* valores corrigidos segundo índice IGP – DI.

Fonte: elaboração própria.

Anexo 3.

Tabela 8. Fluxo de caixa do Cenário 1 (R\$).

Fluxo de Caixa	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8
Receita Bruta	0	60.750	60.750	60.750	60.750	60.750	60.750	60.750	60.750
Custos e Despesas Monetárias	0	(19.869)	(19.869)	(19.869)	(19.869)	(22.590)	(19.869)	(19.869)	(19.869)
Depreciação/Amortização	0	(11.604)	(11.604)	(11.604)	(11.604)	(11.604)	(11.604)	(11.604)	(11.604)
Lucro Operacional	0	29.277	29.277	29.277	29.277	26.556	29.277	29.277	29.277
Juros sobre Financiamentos	0	(3.364)	(2.930)	(2.377)	(1.823)	(1.350)	(700)	(108)	(108)
Lucro Líquido	0	25.913	26.347	26.900	27.454	25.206	28.577	29.169	29.169
(+) Depreciação/Amortização	0	11.604	11.604	11.604	11.604	11.604	11.604	11.604	11.604
Fluxo de Caixa Bruto	0	37.517	37.951	38.504	39.058	36.810	40.181	40.773	40.773
(-) Investimentos	169.055	0	0	0	0	0	0	0	0
Fluxo de Caixa Líquido	(169.055)	37.517	37.951	38.504	39.058	36.810	40.181	40.773	40.773

*são iguais os valores do ano 8 ao ano 9, do ano 11 ao ano 14, do ano 16 ao ano 20.

Fonte: elaboração própria.

Tabela 9. Fluxo de caixa do Cenário 2 (R\$).

Fluxo de Caixa	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8
Receita Líquida	0	22.464	22.464	22.464	22.464	22.464	22.464	22.464	22.464
Custos e Despesas Monetárias	0	(11.568)	(11.568)	(11.568)	(11.568)	(12.929)	(11.568)	(11.568)	(11.568)
Depreciação/Exaustão/Amortização	0	(11.604)	(11.604)	(11.604)	(11.604)	(11.604)	(11.604)	(11.604)	(11.604)
Lucro Operacional	0	(708)	(708)	(708)	(708)	(2.069)	(708)	(708)	(708)
Juros sobre Financiamentos	0	(3.364)	(2.930)	(2.377)	(1.823)	(1.350)	(700)	(108)	(108)
Lucro Líquido	0	(4.072)	(3.638)	(3.085)	(2.531)	(3.419)	(1.408)	(816)	(816)
(+) Depr./Exaustão/Amort.	0	11.604	11.604	11.604	11.604	11.604	11.604	11.604	11.604
Fluxo de Caixa Bruto	0	7.532	7.966	8.519	9.073	8.185	10.196	10.788	10.788
(-) Investimentos	169.055	0	0	0	0	0	0	0	0
Fluxo de Caixa Líquido	(169.055)	7.532	7.966	8.519	9.073	8.185	10.196	10.788	10.788

*são iguais os valores do ano 8 ao ano 9, do ano 11 ao ano 14, do ano 16 ao ano 20.

Fonte: elaboração própria.

Tabela 10. Fluxo de caixa do Cenário 3 (R\$).

Fluxo de Caixa	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8
Receita Líquida	0	70.470	70.470	70.470	70.470	70.470	70.470	70.470	70.470
Custos e Despesas Monetárias	0	(19.869)	(19.869)	(19.869)	(19.869)	(22.590)	(19.869)	(19.869)	(19.869)
Depreciação/Exaustão/Amortização	0	(11.604)	(11.604)	(11.604)	(11.604)	(11.604)	(11.604)	(11.604)	(11.604)
Lucro Operacional	0	38.997	38.997	38.997	38.997	36.276	38.997	38.997	38.997
Juros sobre Financiamentos	0	(3.364)	(2.930)	(2.377)	(1.823)	(1.350)	(700)	(108)	(108)
Lucro Líquido	0	35.633	36.067	36.620	37.174	34.926	38.297	38.889	38.889
(+) Depr./Exaustão/Amort.	0	11.604	11.604	11.604	11.604	11.604	11.604	11.604	11.604
Fluxo de Caixa Bruto	0	47.237	47.671	48.224	48.778	46.530	49.901	50.493	50.493
(-) Investimentos	169.055	0	0	0	0	0	0	0	0
Fluxo de Caixa Líquido	(169.055)	47.237	47.671	48.224	48.778	46.530	49.901	50.493	50.493

*são iguais os valores do ano 8 ao ano 9, do ano 11 ao ano 14, do ano 16 ao ano 20.

Fonte: elaboração própria