



## Geração de Energia Elétrica com Etanol de Mandioca no Estado do Amazonas

Rubem Cesar Rodrigues Souza<sup>1</sup>  
Benjamim Cordeiro Júnior<sup>2</sup>  
Atlas Augusto Bacellar<sup>3</sup>  
Márcia Drumond Sardinha<sup>4</sup>  
Fernando Cesar Rodrigues Souza<sup>5</sup>  
Cristiane Daliassi Ramos de Souza<sup>6</sup>  
Sônia Maria da Silva Carvalho<sup>7</sup>  
Marco Antônio de Freitas Mendonça<sup>8</sup>  
Alessandro Bezerra Trindade<sup>9</sup>  
Betsy Eddy Praia Morais<sup>10</sup>  
Francisco Nilo Leão Prado<sup>11</sup>  
Omar Seye<sup>12</sup>

### RESUMO

Os resultados preliminares da experiência de produção de etanol de mandioca no estado do Amazonas para geração de energia elétrica são apresentados neste trabalho. Tal experiência busca avaliar de forma holística a viabilidade técnica, econômica e socioambiental dessa solução energética. Os resultados preliminares indicam a viabilidade

---

<sup>1</sup> Centro de Desenvolvimento Energético Amazônico – CDEAM/UFAM, rubem\_souza@yahoo.com.br, (92) 3305-4417.

<sup>2</sup> Eletrobras Amazonas Energia, [benjamim.cordeiro@amazonasenergia.gov.br](mailto:benjamim.cordeiro@amazonasenergia.gov.br).

<sup>3</sup> Centro de Desenvolvimento Energético Amazônico – CDEAM/UFAM, abacellar@ufam.edu.br, (92) 3305-4417.

<sup>4</sup> Centro de Desenvolvimento Energético Amazônico – CDEAM/UFAM, drumond\_marcia@yahoo.com.br, (92) 3305-4417

<sup>5</sup> Instituto Energia e Desenvolvimento Sustentável - INEDES, fernando.souza@inedes.org.br, (92) 3304-4022.

<sup>6</sup> Centro de Desenvolvimento Energético Amazônico – CDEAM/UFAM, cdaliassi@yahoo.com.br, (92) 3304-4022.

<sup>7</sup> Centro de Desenvolvimento Energético Amazônico – CDEAM/UFAM, sscarvalho1@hotmail.com, (92) 3304-4022.

<sup>8</sup> Centro de Desenvolvimento Energético Amazônico – CDEAM/UFAM, mendon@ufam.edu.br, (92) 3305-4417

<sup>9</sup> Instituto Energia e Desenvolvimento Sustentável - INEDES, alessandro.trindade@inedes.org.br, (92) 3304-4022.

<sup>10</sup> Instituto Energia e Desenvolvimento Sustentável - INEDES, betsy.morais@inedes.org.br, (92) 3304-4022.

<sup>11</sup> Instituto Energia e Desenvolvimento Sustentável - INEDES, francisco.prado@inedes.org.br, (92) 3304-4022.

<sup>12</sup> Instituto Energia e Desenvolvimento Sustentável - INEDES, omarseye@ufgd.edu.br, (67) 3410-2173..

do uso do etanol de mandioca para geração de eletricidade no estado do Amazonas, apontando os elementos que necessitam ser trabalhados para ampliar as oportunidades de produção e uso desse energético.

**Palavras-chave:** Etanol, mandioca, geração de eletricidade, Amazonas.

## **ABSTRACT**

Preliminary results from the experience of producing ethanol from cassava in Amazonas state for power generation is presented in this paper. This experience aims to assess in a holistic technical feasibility, economic and social environment of the energy solution. Preliminary results indicate the feasibility of using ethanol from cassava to generate electricity in the state of Amazonas, pointing out the elements that need to be worked to expand the opportunity for production and use this energy solution.

**Keywords:** Ethanol, cassava, power generation, Amazonas.

## **1. INTRODUÇÃO**

Em que pese os avanços decorrentes do Programa Luz para Todos, a universalização do serviço de energia elétrica no Brasil e particularmente na região Norte, ainda se constitui em desafio de grande magnitude. O Estado do Amazonas é o que possui maior quantidade de comunidades não eletrificadas em todo o país e a Eletrobras Amazonas Distribuidora de Energia - AmE, vem desenvolvendo um grande esforço para superação das dificuldades locais para inclusão elétrica. Foi nesse contexto que a AmE contratou o projeto de pesquisa e desenvolvimento intitulado “Geração de Energia Elétrica com Etanol de Mandioca na Amazônia”, o qual objetiva avaliar as condicionantes técnicas, econômicas, ambientais e legais para a produção e uso de etanol de mandioca (*Manihot Esculenta Crantz*) para geração de energia elétrica na Amazônia. O referido projeto foi contratado junto ao Instituto Energia e Desenvolvimento Sustentável – INEDES, contando com corpo técnico do próprio instituto, do Centro de Desenvolvimento Energético Amazônico – CDEAM da Universidade Federal do Amazonas – UFAM e da Vale Soluções em Energia S.A. – VSE.

## **2. A CULTURA DA MANDIOCA**

A mandioca (*Manihot Esculenta Crantz*) é produto de fundamental importância para a alimentação mundial, por se constituir em importante fonte de amido, existindo mais de 300 variedades. De acordo com FAO (2010) a produção de mandioca vem aumentando a uma taxa de 2% ao ano.

No Estado do Amazonas o cultivo é praticado em mais de 5.500 comunidades. De acordo com SEPLAN (2011), a produção de mandioca no estado em 2009 foi de 995.876 toneladas para uma área plantada de 97.393 ha, com rendimento médio de 10,22 toneladas por hectare, em face do uso de técnica de cultivo tradicional e plantio de variedades não melhoradas geneticamente.

### **3. LINHAS DE INVESTIGAÇÃO ADOTADAS NO PROJETO**

Afim de levantar a viabilidade de geração de energia elétrica via o uso do etanol de mandioca no estado do Amazonas foram estabelecidas quatro linhas de investigação principais. A primeira consiste na avaliação do desempenho de dois moto geradores a etanol de potência individual de 250 kW a etanol, desenvolvidos pela VSE. As máquinas estão sendo instaladas na Termelétrica de Lindóia, localizada no km 183 da rodovia AM-010 no município de Itacoatiara-AM. Estas serão monitoradas por um sistema supervisório com conexão web, possibilitando o acompanhamento em tempo real do desempenho das mesmas. A segunda linha consiste na produção de etanol de mandioca. O etanol será produzido a partir de variedades desenvolvidas pela EMBRAPA Ocidental apropriadas para o ecossistema amazônico. Para tal, foram plantadas quatro variedades na Fazenda Experimental da UFAM no km 38 da BR-174 (Manaus-Boa Vista). Neste mesmo local, está sendo instalada uma unidade de produção de etanol de mandioca a partir das variedades cultivadas. A pesquisa consistirá em obter etanol com a qualidade estabelecida pela ANP com produtividade capaz de torná-la competitiva frente à opção tradicional que é o óleo diesel. A terceira linha de pesquisa consiste na avaliação das estratégias para produção e geração de energia elétrica com etanol de mandioca no Estado do Amazonas. A investigação está considerando a produção de mandioca tanto via agricultura familiar quanto em plantios mecanizados em áreas antropizadas. Estão sendo consideradas as demandas de energia de comunidades isoladas identificadas no âmbito do Programa Luz para Todos, de sorte a definir os locais de produção de etanol mais adequados do ponto de vista da garantia do suprimento energético e da redução de custos. Por fim, a quarta linha de investigação reside na avaliação das condicionantes legais no âmbito ambiental e também do setor energético que podem eventualmente se apresentarem como entraves para a difusão dessa solução energética.

O conjunto de informações obtidas e geradas ao longo do projeto propiciará a articulação entre diversos agentes, capitaneada pela concessionária, no sentido de construir políticas públicas adequadas para superação das barreiras e assim, assegurar que o setor elétrico efetivamente contribua para o desenvolvimento socioeconômico local em bases sustentáveis.

### **4. SITUAÇÃO ATUAL DO PROJETO**

Os resultados são apresentados conforme os grandes marcos do projeto.

#### **4.1 Instalação e monitoramento dos moto geradores a etanol**

O *start up* dos moto geradores a etanol ocorrerá no transcorrer do mês de julho de 2012. As máquinas e equipamentos auxiliares se encontram acomodados no interior da usina; a ampliação da subestação foi concluída e o sistema de tancagem com capacidade de 60.000 litros está em fase final de conclusão. Também se encontra ativo o serviço de internet providenciado pelo projeto tendo em vista que a termelétrica não dispunha de tal serviço. Salienta-se que os equipamentos funcionarão durante esse projeto com etanol disponível no mercado, ou seja, o proveniente da cana de açúcar. Estuda-se a continuidade do projeto, quando então tais máquinas funcionarão com etanol de mandioca.

## 4.2 Plantio de variedades de mandiocas

O plantio de quatro variedades de mandioca foi levado a efeito em junho de 2011. As variedades foram desenvolvidas pela Embrapa Ocidental para ecossistemas amazônicos. Até o presente momento, não houve ocorrência de ataque de pragas que não fosse possível de controlar antes de causarem danos significativos ao plantio.

## 4.3 Implantação da planta de produção de etanol

As obras civis se encontram finalizadas e todos os equipamentos necessários para o processo foram adquiridos. A planta se encontra em fase final de montagem devendo entrar em operação no transcorrer do mês de julho de 2012. A unidade de produção é dotada dos seguintes equipamentos principais: lavador de mandioca; triturador de mandioca; dornas com trocadores de calor e homogeneizadores; caldeira; torre de resfriamento e torre de destilação. O processo de produção de etanol consistirá nas seguintes etapas: lavagem; trituração; hidrólise, sacarificação e fermentação simultâneas, e; destilação. Nos laboratórios da Universidade Federal do Amazonas estão sendo desenvolvidos estudos com diversas enzimas e leveduras de sorte a selecionar os mais adequados ao processo em termos de produtividade e qualidade de etanol.

## 5. RESULTADOS PRELIMINARES

De forma preliminar apresenta-se resultados relativos à estimativa de custo de produção de etanol de mandioca, bem com, de geração de energia elétrica com esse energético comparativamente à geração a diesel.

### 5.1 Custo da produção de mandioca

De forma a levar a efeito o plantio das variedades de mandioca, seguiu-se as seguintes etapas:

**Análise do solo:** O solo da Fazenda Experimental da UFAM é do tipo latossolo amarelo cujos resultados da análise laboratorial constam do quadro 1.

Quadro 1. Características químicas de amostras do solo, Latossolo Amarelo, onde está sendo realizado o experimento.

Classe de solo	pH (H <sub>2</sub> O)	Ca	Mg	K	Al	P	Fe	Zn	Mn
		cmol kg <sup>-1</sup>				mg kg <sup>-1</sup>			
Latossolo amarelo	4,62	0,35	0,13	0,10	1,00	1,5	313,0	2,6	2,6

De acordo com Gomes e Silva *apud in* Souza *et. al.* [2006, p. 218] a faixa de pH para a cultura da mandioca está entre 5,5 a 7,5. De acordo com o quadro 1 o pH do solo é inferior ao recomendado havendo a necessidade de fazer a correção do mesmo.

**Limpeza do terreno (roçagem):** foi realizada de forma mecanizada valendo-se de trator dotado de roçadeira.

**Aração:** A finalidade da aração é descompactar a terra para um melhor desenvolvimento das raízes. Esta expõe o subsolo à ação do sol, ajudando a aumentar a temperatura. Também enterra restos de culturas agrícolas anteriores ou ervas daninhas por ventura

existentes. Melhora ainda a infiltração de água no solo. Esta foi levada a efeito com trator dotado de arado.

**Calagem:** A calagem é uma etapa do preparo do solo para cultivo agrícola na qual se aplica calcário com os objetivos de elevar os teores de cálcio e magnésio, neutralizar o alumínio trivalente (elemento tóxico para as plantas) e corrigir o pH do solo, para um desenvolvimento satisfatório das culturas. Nesta etapa foi utilizado o trator equipado com aplicador de calcário.

**Gradagem:** A gradagem é a etapa de preparação do solo para cultivo agrícola posterior à aração, de forma a desfazer torrões e tornar a superfície do solo mais uniforme e assim, facilitar a emergência das sementes e o estabelecimento da cultura. Além disso, para o caso em questão, a aração permite misturar o calcário de forma mais homogênea com o solo, para tal foi utilizado um trator com arado.

**Obtenção das manivas:** As manivas das variedades selecionadas para o plantio foram obtidas no estado do Amazonas em área em que a Embrapa Ocidental vem desenvolvendo atividade de difusão desses cultivares.

**Preparação de gabarito para o plantio:** Foi preparado gabarito para que o plantio obedecesse ao espaçamento de 1m x 1m entre plantas, o que significa um stand de 10.000 plantas por hectare.

**Plantio:** O plantio foi feito em terra firme. Para realização do plantio foram feitas covas e preparadas as manivas sementes. Antes do plantio as covas receberam produto fertilizante e posterior cobertura das mesmas com terra. Essas atividades foram realizadas manualmente.

Posteriormente ao plantio foi realizado o trabalho de capina e de combate à praga para manutenção da plantação. A praga que foi verificada foi somente formiga cortadeira que foi combatida com produtos disponíveis no mercado local e que não causaram prejuízo na plantação.

A representação percentual na composição dos custos para cada uma das etapas do plantio, até o presente momento, constam no Quadro 2.

Quadro 2. Representação percentual de cada etapa no custo de produção por hectare.

ETAPA	REPRESENTAÇÃO PERCENTUAL NO CUSTO DE PRODUÇÃO POR HECTARE (%)
Limpeza do terreno	0,38
Aração	2,60
Calagem	34,65
Gradagem	0,94
Obtenção de manivas	13,19
Preparação de gabarito	0,19
Plantio	28,49
Manutenção do plantio	19,56

As informações do quadro 2 evidenciam que a calagem é a etapa que mais impacta no custo total da produção de mandioca. A necessidade de corrigir o pH do solo na Amazônia em geral e o custo do calcário levam a este quadro. A etapa de plantio também onera sobremaneira a produção, no entanto, há que se observar que em sendo o plantio mecanizado, dado que existe equipamento no mercado nacional para tal, esse custo poderá ser reduzido. Além disso, o custo com obtenção de manivas também poderá ser eliminado na medida em que, a partir do primeiro plantio, é possível produzir semente maniva

suficiente não só para manter, mas também ampliar, a área plantada, uma vez que cada hectare plantado produz sementes manivas para plantio de 10 hectares.

## 5.2 Custo de produção de etanol e de geração de energia elétrica

Embora já tenha sido determinado o custo do cultivo até a fase atual do plantio, ou seja, 12 meses, ainda não há disponibilidade dos parâmetros de produtividade, fator este determinante para determinação do custo de produção da mandioca. Apesar disso, para balizar a análise preliminar, foram estabelecidos três cenários, considerando a variação na produtividade.

Para a obtenção do custo do etanol considerando somente a fase de produção de mandioca há que se associar aos cenários estabelecidos possíveis níveis de produtividade no processo de beneficiamento da mandioca. Os resultados de custos se encontram no quadro 3 para cada um dos cenários estabelecidos.

Quadro 3. Custo de produção de mandioca e do etanol para diferentes cenários de produtividade.

Custo	Cenário 1: Produtividade de 13 ton/ha e 210 l/ton.	Cenário 2: Produtividade de 20 ton/ha e 220 l/ton	Cenário 3: Produtividade de 40 ton/ha e 230 l/ton
Produção de mandioca (R\$/kg)	0,17	0,11	0,06
Produção de etanol (R\$/litro)	0,81	0,50	0,26

A produtividade de 13 ton/ha consiste na média nacional, a produtividade de 40 ton/ha representa resultados obtidos em vários experimentos realizados pela Embrapa em todo o País e também em cultivos particulares acompanhados pela mesma. A produtividade de 20 ton/ha, por sua vez, representa um cenário intermediário. A produtividade de etanol por tonelada de mandioca depende fundamentalmente do teor de amido, informação esta também ainda não obtida de forma confiável no projeto em questão.

Muito embora a unidade de produção de etanol de mandioca ainda não esteja operacional, os custos de instalação e operacionais são conhecidos com relativa precisão. Valendo-se de tais custos obteve-se o custo total de etanol de mandioca. No quadro 4 consta os resultados do preço do etanol de mandioca por cenário, considerando os custos de toda a cadeia produtiva, com carga tributária de 30% e uma margem de lucro de 10%.

Quadro 4. Preço do etanol de mandioca para cada cenário estabelecido.

CUSTO DO ETANOL (R\$/litro)		
Cenário 1: Produtividade de 13 ton/ha e 210 l/ton.	Cenário 2: Produtividade de 20 ton/ha e 220 l/ton	Cenário 3: Produtividade de 40 ton/ha e 230 l/ton
<b>2,64</b>	<b>2,21</b>	<b>1,87</b>

Para fins de comparação fez-se um levantamento do preço do etanol disponível nos postos de combustíveis na cidade de Manaus. O preço médio obtido no dia 23 de junho de 2012 foi R\$ 2,33/litro, o menor preço foi R\$ 2,25/litro, enquanto R\$ 2,49/litro foi o maior. Verifica-se

portanto, com base no quadro 4, que somente no cenário 1 é que o preço do etanol de mandioca fica superior à média do preço do etanol disponível no mercado.

É mister ressaltar que o custo total com combustível para geração de energia elétrica no estado do Amazonas, com exceção da cidade de Manaus, conta sempre com a componente transporte, que onera sobremaneira o custo de geração de eletricidade. Para o caso do etanol de mandioca esse custo pode ser reduzido sobremaneira, na medida em que o mesmo é passível de produção próximo ao centro consumidor.

Fazendo-se uma avaliação comparativa com a geração a diesel considerando o consumo específico de máquinas a etanol de 0,42 l/kWh e de 0,3 l/kWh para máquinas a diesel, verifica-se que, havendo um sobrecusto de 30% com relação preço médio do óleo diesel em Manaus, o custo de geração a diesel se iguala ao custo de geração a etanol de mandioca. Quando se trata de atendimento de comunidades isoladas esse percentual é facilmente superado, podendo o preço do óleo diesel facilmente ser dobrado ou até triplicado.

### **5.3 Outras questões relevantes no uso do etanol de mandioca para geração de energia elétrica na Amazônia**

Uma das questões recorrentes quando se fala na produção de etanol de mandioca na Amazônia é a comparação com a produção via cana de açúcar. No entanto, é mister observar que tal comparação não procede pelo simples fato de, por determinação governamental, não ser possível ampliar a área plantada de cana de açúcar na Amazônia brasileira.

Outra questão importante diz respeito à temática da produção de energético versus alimentos. Nesse contexto é preciso observar dois cenários. O primeiro cenário consiste na produção em larga escala em áreas antropizadas. Nesse caso está sendo proposta a ocupação de áreas que sofreram a ação humana e que se encontram sem utilização. Dentre estas áreas têm-se as degradadas, cuja maioria pertence ao poder público ou que, por serem improdutivas, facilmente poderiam ser desapropriadas para fins de destinação produtiva.

O segundo cenário consiste na prática da agricultura familiar. Estudos indicam que um grupo familiar, no máximo, é capaz de manter um hectare de área plantada de mandioca. Tal assertiva está alicerçada na prática de cultivo para fins de beneficiamento da mandioca, mais comumente, para produção de farinha. Questionamentos realizados junto a produtores de mandioca no estado do Amazonas, revelaram que um grupo doméstico é capaz de manter aproximadamente 8 hectares de plantio, tendo em vista a facilidade de plantio e manutenção do mesmo. Assim, entende-se que os grupos familiares podem conciliar a produção de mandioca para fins alimentícios com a produção de mandioca para fins de produção de etanol, uma vez que estas forneceriam tão somente a matéria-prima para um agente responsável pelo processamento da mesma.

Ao se pensar em difundir em larga escala a produção de etanol de mandioca na região é necessário discutir estratégias para formação de recursos humanos, particularmente no tocante a operadores de caldeira. De acordo com a Norma Regulamentadora 13 do Ministério do Trabalho, tais profissionais necessitam ter, além de uma capacitação específica, no mínimo o primeiro grau completo, sendo esta segunda condição pré-requisito para a primeira.

A região amazônica brasileira dispõe de diversas espécies vegetais capazes de produzir amido e, portanto, potenciais produtoras de etanol. Entende-se que a ampliação das pesquisas na domesticação de tais culturas e no aperfeiçoamento do processo de

conversão da matéria-prima em etanol, ampliarão a competitividade dessa alternativa de forma significativa.

## **6. CONCLUSÕES**

Muito embora o projeto ainda esteja por gerar informações importantes para suas conclusões, os resultados preliminares indicam que a produção de etanol de mandioca para geração de energia elétrica na Amazônia deve ser um caminho a ser perseguido. Do ponto de vista da viabilidade técnica existe equipamento no mercado nacional nas potências de 30 kVA e de 250 kW a etanol, as quais se apresentam bastante adequadas para atendimento de comunidades isoladas. Do ponto de vista econômico o custo da logística de transporte de combustível no estado do Amazonas agrega um fator forte de competitividade para a produção de etanol de mandioca próximo ao local de consumo face à geração a diesel. Além disso, o fato do governo estadual estar estudando um conjunto de medidas para estimular a produção e difusão de tecnologias de energias renováveis, se apresenta como uma excelente oportunidade para desoneração da cadeia produtiva da produção de etanol de mandioca, haja vista que tais incentivos de origem fiscal e parafiscal, podem desonerar insumos e a produção das diversas tecnologias pertinentes à cadeia produtiva em questão. Do ponto de vista legal, entende-se que a cadeia produtiva da mandioca, desde que explorada de forma sustentável, não encontrará óbices quanto às questões ambientais, uma vez que os impactos ambientais são conhecidos e passíveis de serem mitigados ou eliminados. Sob a ótica social essa alternativa energética agrega ganhos indiscutíveis no tocante à geração de emprego, renda e inclusão social.

## **7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATION – FAO, “*Agricultural Outlook 2010-2019*”, 2010.

SECRETARIA DE ESTADO DE PLANEJAMENTO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DO ESTADO DO AMAZONAS – SEPLAN, “*Anuário Estatístico 2009/2010*”, 2010.

SOUZA, L.S., FARIAS, A.R.N., MATTOS, P.L.P., FUKUDA, W.M.G., “*Aspectos Socioeconômicos e Agrônômicos da Mandioca*”, 2006.