

Custo de geração de energia elétrica em comunidade isolada do Amazonas: estudo preliminar do projeto NERAM

Katriana Tavares de Freitas¹
Rubem Cesar Rodrigues Souza¹
Omar Seye¹
Eyde Cristianne Saraiva dos Santos¹
Diogo Jackson Cajueiro Xavier¹
Atlas Augusto Bacellar¹

RESUMO

Este trabalho se propõe a realizar uma avaliação preliminar do custo de geração de energia elétrica através da tecnologia da gaseificação do caroço do açaí, tendo como referência dados do projeto “Modelo de Negócio de Energia Elétrica em Comunidades Isoladas no Amazonas – NERAM”, em fase de desenvolvimento pelo Centro de Desenvolvimento Energético Amazônico – CDEAM e financiado pela Eletronorte através do CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico). No contexto da análise econômica, primeiramente realizou-se um levantamento dos custos envolvidos no processo de geração de energia elétrica do projeto. Foram realizados cálculos de maneira a anualizar o investimento inicial para a implantação do sistema de geração de energia e, para isso, considerou-se uma vida útil de 20 anos para os equipamentos e também uma taxa de juros igual a 12 % aa. Como resultado do custo de geração, obteve-se um valor preliminar de R\$ 0,23/kWh para o sistema operando com um fator de carga igual a 60%. Na comparação entre os custos do kWh gerado com a tecnologia da gaseificação e do kWh obtido a partir de uma planta de geração com combustível tradicional, a diesel, verificou-se que a geração com a tecnologia de gaseificação só perde em atratividade para um fator de carga muito baixo, menor que 0,15.

ABSTRACT

This work presents a preliminary evaluation on costs of electricity of a system that utilizes gasified açai seeds to fuel an ICE. Data from the NERAM project, a model for power enterprise in Isolated communities in Amazonas, under development by the Amazonian Center of Energy Development – CDEAM and financed by Eletronorte through CNPq (National Counsel of Technological and Scientific Development). Concerning the cost assessment, all cost calculations are preliminary and are based on a 20 (twenty) year lifetime, an annual interest rate of 12%. The value of R\$ 0,23/kWh was obtained as preliminary result, with the system operating in a load factor of 0.6. The variation of cost of electricity over the load factor is presented. When this curve is compared to that of regular diesel engines, it is verified that, the cost of electricity from gasification is lower for load factors under 0.15.

1. INTRODUÇÃO

O suprimento de energia é considerado uma das condições básicas para o desenvolvimento econômico (SILVEIRA, 2000) e para o progresso das nações. Em termos de suprimento energético, a eletricidade se tornou uma das formas mais versáteis e convenientes de energia. Nos dias atuais são cada vez maiores as necessidades energéticas para a produção de alimentos, bens de consumo, bens de serviço e de produção, lazer, e finalmente para promover os desenvolvimentos econômicos, sociais e culturais.

Apesar dos avanços tecnológicos na geração e distribuição de energia elétrica, cerca de um terço da população mundial ainda não possui acesso a esse recurso (ANEEL, 2002). O Brasil não foge desta realidade, pois existe ainda um grande contingente de pessoas que vivem distante dos centros urbanos sem as mínimas condições de infra-estrutura.

A Amazônia apresenta-se como uma dessas regiões e, é caracterizada pela sua grande extensão territorial, complexa logística de transporte, baixa densidade demográfica, baixo poder aquisitivo da população, etc. O suprimento de eletricidade para tais comunidades, devido aos fatores acima mencionados, implica necessariamente num custo de geração bastante elevado, justificando a necessidade de subsídio para a geração do kWh.

¹ Centro de Desenvolvimento Energético Amazônico – CDEAM, Universidade Federal do Amazonas. Av. Rodrigo Octávio Jordão Ramos, n 3000, Campus Universitário, Aleixo, Cep: 69077-00 Manaus – AM, www.cdeam.ufam.edu.br e-mail: cdeam@ufam.edu.br; katriana_freitas@hotmail.com

A geração de eletricidade por meio de insumos energéticos alternativos é uma atividade já consolidada em muitos países e centros de pesquisas. Na zona rural as fontes alternativas de energia podem ser utilizadas para melhorar a qualidade de vida dessa população, pois se caracteriza não só como um atrativo ambiental, mas também social. Dentre as fontes alternativas, a biomassa representa cerca de 14% da energia utilizada no mundo (35% da energia nos países em desenvolvimento) (CORTEZ et al, 1997) e é abundante na Amazônia.

Diante do exposto, foi concebido o projeto NERAM, que se propõe a buscar uma solução para suprimento energético de comunidades isoladas, pautado no uso adequado de recursos naturais renováveis disponíveis localmente, adotando como tecnologia a gaseificação, tendo como insumo energético o caroço do açaí. Vale salientar que o aproveitamento deste insumo energético, até então considerado resíduo, visa não somente baratear o kWh gerado, como também agregar renda para os comunitários.

A proposta do projeto vai ao encontro da problemática da universalização do serviço de energia elétrica para as comunidades isoladas na Amazônia, afim de não só suprir a demanda pelo fornecimento de energia através de uma tecnologia inovadora, mas também garantir o desenvolvimento sócio-econômico sustentável dessas comunidades.

O presente trabalho tem como objetivo principal simular o custo de geração de energia elétrica do projeto e realizar uma discussão prévia da sua viabilidade.

2. MÉTODOS

2.1 DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE GERAÇÃO

O processo de conversão energética da biomassa escolhido foi o processo de gaseificação. A gaseificação é definida como sendo a conversão da biomassa em um gás energético, através da oxidação parcial a temperaturas elevadas (CORTEZ et al, 1997).

O gaseificador a ser implantado na comunidade é um equipamento que está sendo fabricado pela Biomass Energy Foundation (BEF) com capacidade máxima de 80 kW e possibilita uma expansão de mais 20 kW, de maneira a acomodar o futuro crescimento de carga da comunidade. Esse equipamento gera 145 m³/h de gás rico em hidrogênio, usando 88,6 kg de biomassa seca e 108 kg de ar.

O gaseificador da BEF é dotado de um sistema de controle da zona de pirólise para otimizar as reações térmicas e químicas durante a gaseificação, de maneira a produzir um gás com baixo teor de alcatrão e particulados. Dessa forma, o aparelho produz um gás de saída mais limpo, o que é muito importante, pois limita a necessidade de limpeza do equipamento e do gás e aumenta a confiabilidade e a eficiência do sistema.

O sistema está sendo projetado para trabalhar com o caroço do açaí, como insumo energético. Entretanto, a BEF trabalha, juntamente com os pesquisadores da UFAM, no sentido de possibilitar o uso de outros tipos biomassa como energético disponível localmente. O sistema de gaseificação é composto por:

- Um sistema de regulação de combustível;
- Um ventilador de ar de velocidade variável, permitindo que o gaseificador opere com 150 mm de pressão positiva;
- Zonas definidas de pirólise e de conversão de carvão;
- Uma zona de quebra final para produzir o gás com baixo teor de alcatrão;
- Um trocador de calor para refrigerar o gás à temperatura do motor e pré-aquecer o ar de combustão para melhorar a qualidade do gás;
- Uma câmara de armazenamento do gás de 2 m³ para a partida do sistema;
- Um sistema de acumulação adicional composto por baterias de 12 V que fornece eletricidade na partida;
- Um gerador de 80 kW modificado para funcionar com gás rico em hidrogênio.

Além da geração de eletricidade, o calor residual do processo será aproveitado por meio de um secador rotativo como parte do sistema, de modo a garantir um teor de umidade do insumo energético em torno de 14 %.

2.2 METODOLOGIA DE ANÁLISE ECONÔMICA

No contexto da análise econômica, foi primeiramente realizado um levantamento dos custos envolvidos na implantação e operação do sistema de geração de energia elétrica do projeto. O

levantamento dos custos associados à implantação do sistema de geração de eletricidade e de secagem do insumo energético utilizando um secador rotativo modelo SER-75 mostrou a necessidade de um investimento inicial de aproximadamente R\$ 531.114,06. O valor do investimento do projeto foi anualizado adotando-se uma taxa de juros de 12% e uma vida útil de 20 anos, através da expressão (1):

$$C_{ea} = C_e \frac{(1+i)^n * i}{(1+i)^n - 1} \quad (1)$$

Onde:

C_{ea}	Custo do equipamento anualizado
C_e	Custo do equipamento
i	taxa de juros
N	Vida útil do equipamento

Para implantar um sistema de geração de eletricidade desse porte, faz-se necessária a construção de galpões para a acomodação dos equipamentos, bem como a construção de depósitos para receber o excedente de biomassa, visto que a disponibilidade do açaí se dá por safra, 6 meses durante o ano.

Os custos relativos à implantação dessa infra-estrutura foram estimados em R\$ 100.000,00. As despesas de manutenção foram estimadas sendo 2,5% do investimento inicial, índice esse levantado na literatura. Visando o fornecimento de energia 24 horas por dia durante 360 dias, optou-se pela necessidade de 6 operários, sendo que três trabalhariam durante o turno comercial, auxiliando no processo de secagem da biomassa, e os outros três intercalariam três turnos na operação do gaseificador. O cálculo dos custos de operação e manutenção do sistema de geração é expressado na equação (2):

$$C_{O\&M} = 0,025 * C_e + (12 * R_t * N_t) \quad (2)$$

Onde:

$C_{O\&M}$	Custo de operação e manutenção
C_e	Custo do equipamento
R_t	Remuneração do trabalhador
N_t	Número total de trabalhadores

De acordo com as características do gaseificador, considerando um teor de umidade do insumo energético inferior a 15% e um fator de carga de 0,6, a quantidade de energia elétrica gerada anualmente será de 414.720 kWh. Chegou-se a este valor considerando a fórmula (3):

$$Q_{Energia} = 360 * 24 * P_g * F_c \quad (3)$$

Onde:

$Q_{Energia}$	Quantidade de energia elétrica gerada
P_g	Potência do gaseificador
F_c	Fator de carga

A quantidade de biomassa necessária para gerar 414.720 kWh foi calculada considerando-se que a eficiência do secador de 76%, e o consumo específico do gaseificador de 1,1 kg/kW.

Com a densidade a granel do caroço igual a 599,6 kg/m³ e a capacidade do secador sendo 7,5 m³, verificou-se que o secador possui uma capacidade de processar 4,5 toneladas de caroço de açaí úmido. Assim, o equipamento, para secar essa quantidade de biomassa, deverá funcionar durante 36 horas ininterruptas. Nestas condições, para conseguir atender a demanda de biomassa durante o ano, o secador deveria ser carregado aproximadamente 134 vezes. Com uma potência nominal de 5,97 kW, o custo da energia elétrica consumida pelo secador foi calculado levando em consideração a tarifa rural de R\$ 0,20241.

Na avaliação do custo da biomassa seca, foram considerados os custos decorrentes da implantação, manutenção e operação do secador, além do gasto com eletricidade para seu funcionamento.

O custo de geração de energia elétrica do projeto foi obtido somando-se inicialmente todos os custos anualizados e depois dividindo-se o resultado obtido pela quantidade de energia elétrica gerada durante um ano de funcionamento.

3. RESULTADOS

Na tabela 3 são apresentados os custos anualizados obtidos para os equipamentos e a estrutura.

Tabela 3. Custos anualizados do secador, gaseificador e infra-estrutura.

Taxa de juros (%)	12
Vida útil dos equipamentos (anos)	20
Custo do gaseificador (R\$)	479.114,06
Custo anual do gaseificador (R\$)	64.143,21
Custo do secador (R\$)	52.000,00
Custo anual do secador (R\$)	6.961,70
Custo total com infra-estrutura (R\$)	100.000,00
Custo anual com infra-estrutura (R\$)	13.387,88

Para gerar 414,72 GWh de energia são necessárias 459,30 toneladas de biomassa. Isso representa cerca de 602,84 toneladas de caroço de açaí com umidade de aproximadamente 35% e rendimento do secador igual a 76%. Tal valor se justifica pelo fato de que, durante o processo de secagem dos caroços, além da saída da água há também a soltura das fibras.

O preço do insumo energético é formado pelo preço do caroço úmido mais o custo de secagem associado. Nas condições atuais o caroço é considerado resíduo do processo de beneficiamento da polpa de açaí; portanto, é adquirido a custo zero. Em outras palavras, o custo do insumo energético (caroço de açaí seco) resume-se ao custo de secagem. O consumo de energia anual no processo de secagem ficou em torno de 28.811,24 kWh/ano e o custo anual em R\$ 5.831,68, isso quando considerada a tarifa rural aplicada pela concessionária de energia elétrica da região/CEAM.

O custo da biomassa seca (R\$/ton) é determinado a partir dos dados da tabela 4.

Tabela 4. Dados utilizados para o cálculo da biomassa seca.

Custo da secagem da biomassa	
Custo do secador anualizado (R\$)	6.961,70
Custos com infra-estrutura anualizado (R\$)	6.693,94
Custos anuais com O&M para secador (R\$)	26.500,00
Custo com a lenha (R\$)	22.800,00
Custo anual com energia elétrica (R\$)	5.831,68
Total do custo anual com secagem (R\$)	68.787,32
Quantidade de biomassa seca produzida por ano (ton)	459,30
Custo com secagem de biomassa (R\$/ton)	149,76

Uma vez realizado o levantamento e o cálculo dos custos envolvidos na implantação e operação do sistema, verifica-se, inicialmente, que o custo de geração de energia elétrica do projeto NERAM é igual a R\$ 0,37/kWh. É importante salientar que, para este custo, adotou-se um fator de carga igual a 0,6. Os custos dos equipamentos anualizados, assim como os custos com operação e manutenção e a quantidade de energia produzida anualmente, podem ser visualizados na tabela 5.

Tabela 5. Custos de implantação do sistema de geração.

Custo de Geração	
Custo do gaseificador anualizado (R\$)	64.143,21
Custo do secador anualizado (R\$)	6.961,70
Custo com infra-estrutura anualizado (R\$)	13.387,88
Custo total com operação e manutenção do gaseificador anualizado (R\$)	37.177,85
Custo total com operação e manutenção do secador anualizado (R\$)	26.500,00
Custo com energia elétrica consumida pelo secador (R\$)	5.831,68
Custo anual total com implantação do sistema (R\$)	154.002,32
Quantidade de energia elétrica gerada anualmente (kWh)	414.720
Custo da energia elétrica (R\$/kWh)	0,37

A participação dos custos com equipamento, manutenção e infra-estrutura em relação ao investimento total de implantação do sistema de geração de energia elétrica é visualizado na figura 1. Fica claro que as maiores despesas são por conta da aquisição dos equipamentos (46%) e da operação com os mesmos (32%).

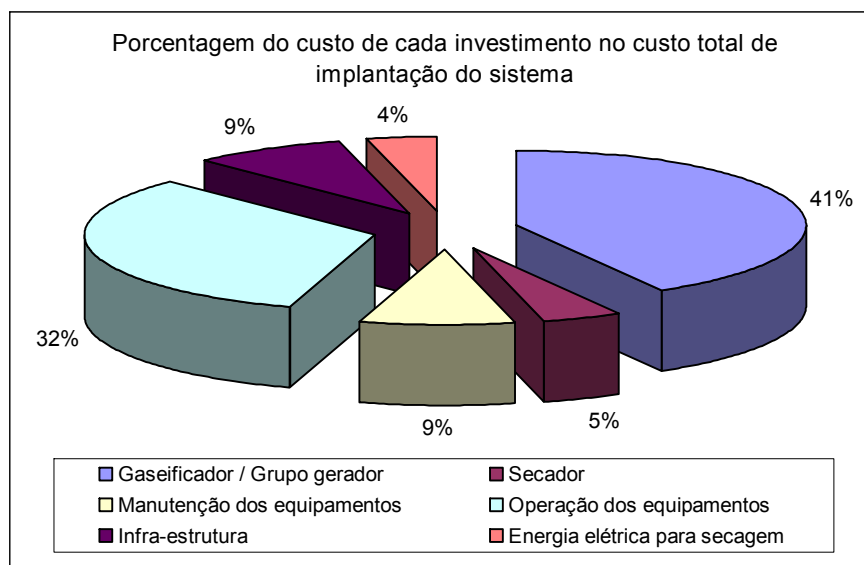


Figura 1: Participação dos custos com os investimentos realizados.
Fonte: elaboração própria

Nas regiões isoladas, a geração de energia elétrica predominante é através de termoelétricas, que se faz necessária devido à geração de energia hidroelétrica ser insuficiente para o atendimento ao mercado. A geração termoelétrica apresenta custos superiores ao da energia hidroelétrica, na medida em que requer a utilização de combustíveis, como óleo combustível, óleo diesel, gás natural e carvão.

Sabe-se que a Conta de Consumo de Combustíveis Fósseis dos Sistemas Isolados (CCC-ISOL) é destinada a cobrir os custos de combustíveis da geração térmica constantes dos Planos de Operação dos sistemas isolados e tem como contribuintes todas as concessionárias do país que atendam a consumidores finais. Assim, através da CCC-ISOL, os custos da geração termoelétrica são rateados por todos os consumidores do país, mediante fixação de valores anuais para cada concessionária de distribuição, em função do seu mercado e podem variar em função da necessidade maior ou menor do uso das usinas termoelétricas.

Os valores da CCC são fixados anualmente pela ANEEL com base nas informações prestadas pela ELETROBRAS com relação às condições previstas de hidraulicidade, à taxa esperada de crescimento do consumo para o ano corrente e aos preços esperados dos combustíveis.

Embora a sistemática da CCC de subsidiar o custo dos combustíveis fósseis garanta o preço uniforme da energia elétrica fornecida às regiões isoladas, por outro lado contribui para a crescente obsolescência do parque termelétrico do país (ANEEL).

De acordo com a Lei nº 9.648/98 a geração elétrica a partir de fontes alternativas que venham a ser implantadas em sistema elétrico isolado, substituindo geração termelétrica com derivados de petróleo, sub-rogar-se-ão ao direito de usufruir da sistemática de rateio da CCC, ou seja, essa lei estendeu o subsídio da CCC aos projetos de energia alternativa que venham a substituir, total ou parcialmente, a geração termelétrica a partir dos derivados do petróleo (na sua maioria diesel).

De acordo com a Resolução nº 245 de 11 de agosto de 1999, em seu artigo 9º, II, o valor dos pagamentos previstos com recursos da CCC, fica limitada a no máximo 75 % (setenta e cinco por cento) da parcela do investimento que, comprovadamente, tenha promovido a redução do dispêndio da CCC.

Dessa forma, uma vez que o projeto em questão está centrado na questão da universalização do acesso a energia elétrica, através do programa Luz para todos, através da utilização de fontes alternativas de energia elétrica, se for considerada a sub-rogação da CCC no cálculo do custo de geração de energia elétrica do projeto NERAM, ou seja, considerando que aproximadamente 70% dos custos com equipamentos são subsidiados pela conta consumo combustível, se verifica que o custo de geração do sistema cai para R\$ 0,23/kWh, o que torna um valor competitivo quando comparado com o óleo diesel e principalmente quando comparado à tarifa rural aplicada pela concessionária de energia elétrica da região (CEAM) que é de R\$/kWh 0,20.

Na tabela 6 verificam-se os custos de implantação do sistema de geração considerando a sub-rogação da CCC.

Tabela 6. Custos de implantação do sistema de geração com sub-rogação da CCC

Custo do gaseificador anualizado	19.242,96
Custo do secador anualizado	2.088,51
Custo com infra-estrutura anualizado	4.016,36
Custo total com operação e manutenção do gaseificador anualizado	37.177,85
Custo total com operação e manutenção do secador anualizado	26.500,00
Custo com energia elétrica consumida pelo secador	5.831,68
Custo total anual com implantação do sistema	94.857,37
Quantidade de energia elétrica gerada anualmente (kWh)	414.720
Custo da energia elétrica (R\$/kWh)	0,23

Esse custo de geração obtido ainda foi confrontado com os resultados de uma outra simulação onde se considerou uma planta térmica a diesel.

O gráfico da figura 2 apresenta uma curva comparativa entre esses custos. Observa-se que, a partir de um fator de carga de 0,15 o custo de geração através da tecnologia da gaseificação se torna mais competitivo. O custo de geração utilizando uma planta a diesel operando com um fator de carga de 0,6 é de R\$ 0,66/kWh, ou seja, o custo de geração se reduz a quase um terço daquele obtido com o diesel, se a gaseificação for utilizada, o que demonstra um ganho muito significativo.

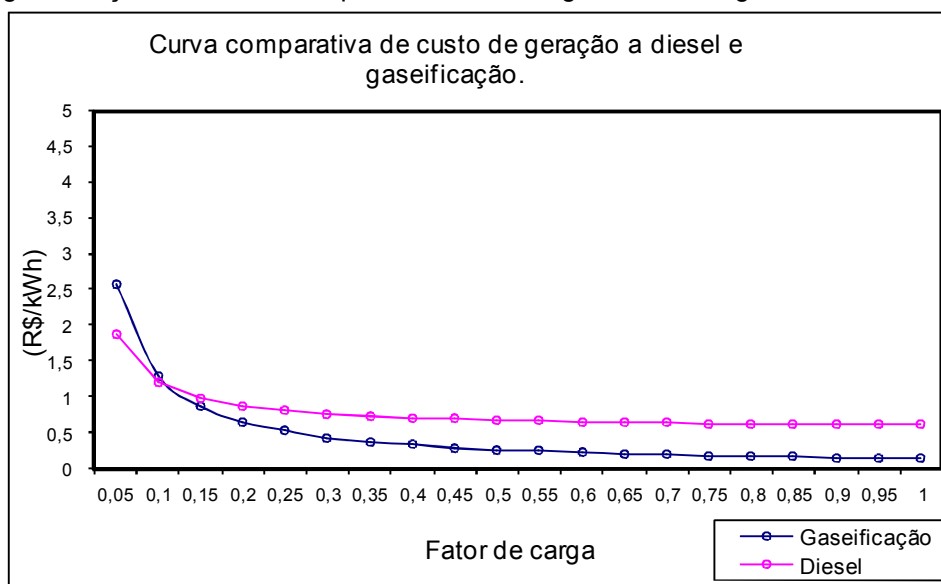


Figura 2: Curva comparativa de custo de geração a diesel e gaseificação.

4. DISCUSSÃO

É importante salientar que o valor encontrado para o custo de geração da energia elétrica do projeto NERAM, ainda é um valor preliminar. Deve-se enfatizar que a alteração de alguns fatores pode comprometer o valor inicialmente encontrado para o custo de geração.

Todos os dados técnicos que foram utilizados para o cálculo desse custo são resultados de um levantamento inicial e que, portanto, estão sujeitos a alterações, quando o sistema de geração estiver em funcionamento na comunidade.

Por outro lado, o valor da compra do caroço do açaí também devesse ser admitido, uma vez que no estado atual do projeto este é considerado um resíduo, portanto, sem valor comercial. Caso o insumo energético disponível na comunidade não seja suficiente para garantir o fornecimento de energia, será necessário que este seja adquirido em outra localidade. Dessa forma, deverão ser considerados no custo da geração o valor pago na compra desse insumo e também o custo do transporte.

Observa-se na figura 1 que 46% do custo de implantação do sistema se deve à aquisição de equipamentos, sendo que dessa participação, 41% é referente à aquisição do sistema de gaseificação. O fato da aquisição desse sistema representar quase 50% do valor da implantação total se deve ao fato do sistema de gaseificação não estar sendo fabricado em larga escala e ainda por cima ser uma tecnologia não disponível nacionalmente. Entretanto, o projeto NERAM prevê a transferência desta tecnologia a partir de parceria com empresa brasileira de maneira a disponibilizá-la para atender demandas do mercado interno. Uma vez que a tecnologia seja adaptada e disponibilizada nacionalmente, acredita-se que o valor da aquisição desse equipamento deverá ser reduzido, o que permitirá ainda um custo de geração a valores mais atrativos que os encontrados no presente estudo.

5. CONCLUSÃO

Neste estudo foi realizada a análise preliminar do custo de geração de energia elétrica através do sistema de gaseificação do caroço de açaí. O resultado da análise de viabilidade mostrou que esse custo é de R\$ 0,23 / kWh, o que representa quase um terço do custo de geração de energia a partir de uma planta a diesel.

Além de representar maior economia, quando comparado a uma planta a diesel de igual potência instalada, a tecnologia da gaseificação para aproveitamento do caroço do açaí em comunidades isoladas da região amazônica tem o caráter de tornar um insumo até então considerado resíduo, numa potencial fonte de renda. Além disso, a queima do caroço (biomassa) não contribui para o aumento dos gases de efeito estufa, pois a mesma quantidade de CO₂ absorvida durante a frutificação é liberada durante a queima.

Vale ressaltar também, que o custo do kWh cobrado na zona rural pela CEAM (R\$ 0,20), é pouco inferior ao custo encontrado para o sistema de gaseificação ao ser considerado a sub-rogação da CCC. Considerando os níveis elevados de aumentos tarifários que vem se verificando se pode afirmar que a tecnologia de gaseificação, nas condições postas, se apresenta como uma alternativa extremamente competitiva. Essa assertiva fica mais evidente quando se observa que o elevado nível de inadimplência (aproximadamente 70%) das unidades consumidoras atendidas através de extensão de rede no âmbito do Programa Luz Para Todos, uma vez que a eletrificação não está respondendo com o aumento da renda.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). Atlas de energia elétrica do Brasil. Brasília: ANEEL, 2002.

BEF – Biomass Energy Foundation; Biomass Gasification Partnership for rural electrification in Brazil; Colorado; 2005.

CORTEZ, L.A., LORA, E. S; Tecnologia de conversão energética da biomassa; EFEI;1997.

SILVEIRA, L. B. R. S. Energia Elétrica para o Desenvolvimento Sustentável. São Paulo: Edusp, 2000.

Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Guia para utilização de recursos da conta consumo de combustíveis - CCC por empreendimentos de geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis nos sistemas isolados. Disponível em : <http://www.aneel.gov.br/63.htm>