

SIMULAÇÃO DE BIOMASSA FLORESTAL EM SISTEMA SILVIPASTORIL PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA

SÉRGIO INÁCIO GOMES^{1*}, MAURO ANTONIO DA SILVA SÁ RAVAGNANI²; CID MARCOS GONÇALVES ANDRADE³;

¹Eng^o Eletr, Ms. Eng^a Química, DEQ/UEM, Maringá-PR, sinaciogomes@gmail.com

²Dr. Eng^a Química, DEQ/UEM, Maringá-PR, massravagnani@uem.br

³Dr. Eng^a Química, DEQ/UEM, Maringá-PR, cmgandrade@uem.br

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC 2016
29 de agosto a 1 de setembro de 2016 – Foz do Iguaçu, Brasil

RESUMO: Os sistemas silvipastoris são caracterizados pela associação entre cultivos arbóreos, pastagens e animais e podem também constituir-se em um meio eficiente e sustentável de suprimento de biomassa florestal para fins energéticos a exemplo da geração de energia elétrica e térmica. Este trabalho apresenta uma simulação matemática por nós elaborada com o propósito de relacionar os fatores básicos da produtividade de biomassa florestal proveniente de um sistema silvipastoril com os fatores básicos de um sistema de cogeração de energia elétrica e térmica, em especial, a estimativa de energia total gerada e seu custo. Como resultado obtido para o custo da cogeração para um estudo de caso em condições da simulação com parâmetros próximos aos reais, obteve-se R\$ 0,12/kWh, o que apresenta-se como um bom indicativo para a viabilidade econômica da proposta.

PALAVRAS-CHAVE: sistema silvipastoril; biomassa florestal; cogeração de energia; energia elétrica e térmica; análise exergoeconômica.

SIMULATION OF BIOMASS IN FOREST SILVIPASTORAL SYSTEM FOR ENERGY PRODUCTION

ABSTRACT: The silvopastoral systems are characterized by the association of arboreal crops, pastures and animals and can also be in an efficient and sustainable way of forest biomass supply for energy purposes such as the generation of electricity and heat. This paper presents a mathematical simulation we developed in order to relate the basic factors of forest biomass productivity from a silvopastoral system with the basic factors of an electrical and thermal cogeneration system, in particular, the total energy generated and estimate its cost. As a result obtained for the cost of cogeneration for a case study simulation conditions with parameters close to real, we obtained R\$ 0.12/kWh, which is presented as a good indicator for the economic viability of the proposal.

KEYWORDS: silvopastoral system; forest biomass; cogeneration; electric and thermal energy; exergoeconomic analysis.

INTRODUÇÃO

Os modos de produção e de uso dos recursos energéticos são o centro das preocupações do mundo contemporâneo, que exige o estabelecimento de uma relação mais harmoniosa entre as questões relacionadas ao clima, energia, meio-ambiente e à sociedade. O presente estudo se insere nessa preocupação e faz a avaliação termoeconômica associada à produção de biomassa florestal proveniente do sistema silvipastoril na região do Arenito Caiuá, no noroeste do Estado do Paraná.

Com essa finalidade, o presente trabalho se propõe à elaboração e apresentação de uma simulação matemática como um método alternativo e inovador com vistas à quantificação das grandezas envolvidas nos processos de produção e de transformação energética, bem como em relação aos custos associados com base nos balanços de massa, de energia e econômico dos referidos processos.

A simulação elaborada e apresentada no presente estudo se baseia no processo conhecido por “termoeconomia” que, faz a junção entre os conceitos econômicos, tais como recursos, instalações e eficiência e a teoria geral de sistemas de conversões energéticas sustentada na termodinâmica que oferece soluções capazes de quantificar as irreversibilidades dos referidos processos.

Fundamenta-se assim, a chamada, “teoria do custo exergético”, aplicável a qualquer processo produtivo, em especial quando o mesmo envolve conversões energéticas (Lozano & Valero, 1993).

A finalidade da referida análise é avaliar a viabilidade do arranjo agroenergético proposto, qual seja, a de um sistema silvipastoril que se associa à produção de energia elétrica e térmica, de tal forma a manter e melhorar a atividade pecuária pré-existente, oferecendo mais qualidade à mesma, com as vantagens ambientais e econômicas decorrentes do acréscimo de um sistema produtivo de biomassa florestal (Souza et al., 2010).

A proposta em questão se insere entre diversas possibilidades estudadas globalmente na busca pela diversificação da matriz energética tornando-a mais sustentável. Associado a essa questão verifica-se, por exemplo que, desde que se desenvolvam programas de fomento para a produção de biomassa florestal para fins energéticos, estima-se que até 18% da energia primária consumida no planeta em 2050 possa ser suprida por essa modalidade de energia renovável (Lauri et al., 2013).

A exergia poderia ser definida como sendo a “energia útil” ou efetivamente utilizada para produção de trabalho e ela não é simplesmente uma propriedade da termodinâmica, mas sim uma propriedade do sistema e do ambiente (Dincer & Rosen, 2013a). Por essa razão, para o presente estudo, o ambiente e o sistema em que se processa a análise é definido como sendo um processo de cogeração de energia com característica típica à utilizada em indústrias de açúcar e etanol proveniente da cana de açúcar, em especial, destacando-se aquelas localizadas na região noroeste do Paraná, voltadas à produção de energia elétrica e térmica.

Cogeração é a produção de calor e eletricidade em um processo integrado e pode oferecer benefícios pela melhor eficiência, por vantagens operacionais, ambientais ou financeiras (Dincer & Rosen, 2013b). Diversas podem ser as aplicações da energia térmica, sendo que, para cada tipo de utilização se verificam diferentes patamares de quantificação de sua exergia térmica. O rendimento energético e as temperaturas de entrada e saída do processo serão algumas das considerações estabelecidas, as quais definirão o rendimento exergético obtido no referido processo (Dincer & Rosen, 2013b).

MATERIAIS E MÉTODOS

Para fazer a análise do processo devem ser realizados os balanços de massa, energia, exergia e seus custos em base exergética. Com esse objetivo, o modelo contempla uma análise de custos de produção e transporte da matéria prima, além de uma gama de custos associados à sua transformação energética, sendo que os referidos fatores de custo impactarão no custo da energia elétrica gerada.

O modelo de simulação proposto e apresentado nesse estudo se baseia na coleta e na estruturação de dados de produção e de processamento da biomassa florestal (lenha) como recurso energético e estabelece assim, relações entre os fatores de um sistema elétrico e termodinâmico, tais como geração de energia e seus custos de produção com os fatores básicos de produtividade de biomassa provenientes da arborização de pastagens e seus respectivos custos de produção.

Os referidos custos são agrupados em duas categorias: custos fixos e custos variáveis em que, somados, compõem os custos totais do processo.

A otimização dos sistemas térmicos baseia-se na análise cuidadosa acerca dessas fontes de custos e um aspecto de interesse ecológico a ser ressaltado no modelo de simulação utilizado é que ele contempla a possibilidade da diversificação de espécies florestais cada qual com características energéticas e celulósicas específicas, bem como quanto à produtividade média das espécies e seus respectivos custos de produção.

Com base nos princípios de conservação de massa e de energia junto com a segunda Lei da Termodinâmica realiza-se, a análise exergética do processo.

Os dados referentes à produtividade de biomassa florestal possíveis de serem obtidos a partir de um sistema silvipastoril podem ser estimados pela média de produtividade de plantações silviculturais. Uma boa fonte de dados acerca das características e da produtividade média de biomassa florestal de algumas espécies na região do Paraná, pode ser obtida pelas informações disponibilizadas na internet pelo banco de dados do “Projeto SIFLOR” (Siflor, 2015).

No entanto, conforme (Limberger, 2012), experiências de campo na região mostram dados ainda mais promissores que diversos dados contidos no Projeto Siflor, muito embora, por critério conservador para efeitos da presente simulação, tais dados serão considerados aqueles disponibilizados por essa segunda fonte de dados.

Para efeitos de cálculo da exergia térmica do vapor superaquecido serão consideradas como condição inicial de temperatura da água a 25°C e temperatura final a 360°C. Esses valores refletem situações próximas às utilizadas pelas industriais do setor sucro-alcooleiro.

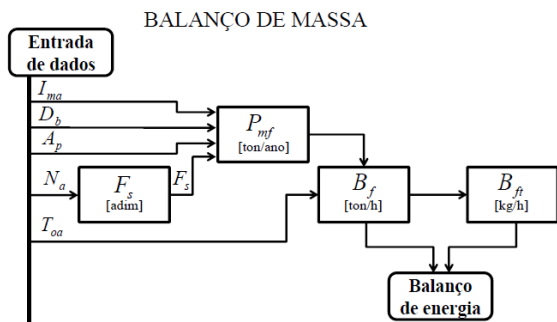
O rendimento do sistema de geração de energia a ser considerado será o de que, para a produção exclusiva de energia elétrica, o rendimento da conversão energética do ciclo de Rankine será de 25% e para o sistema de cogeração para produção de energia elétrica e térmica, o rendimento energético total será de 75% (Dincer & Rosen, 2013b).

As equações constituintes do sistema de simulação proposto trabalham com 48 variáveis relacionadas aos dados produtivos, energéticos e econômicos próprios do arranjo produtivo silvipastoril proposto, as quais não serão aqui descritas pormenorizadamente, mas encontram-se descritas e inter-relacionadas nos fluxogramas contendo as unidades das principais variáveis.

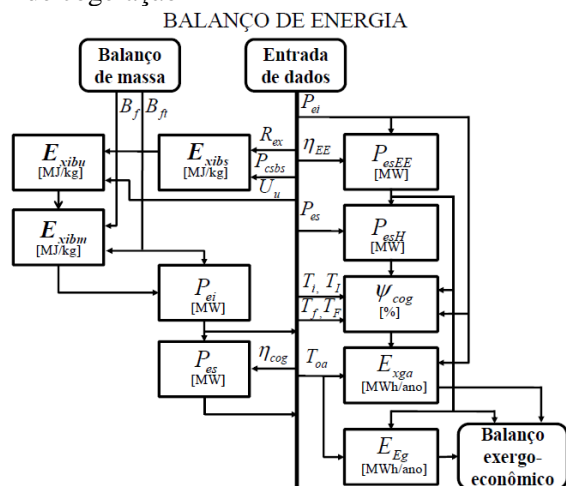
São 9 variáveis pertinentes ao balanço de massa; 20 variáveis relacionadas ao balanço de energia e 19 outras variáveis referentes ao balanço exergoeconômico da proposta. A variável que se procura determinar com a simulação matemática é o “Rendimento exergoeconômico do sistema de cogeração, $\psi_{x\text{cog}}$ ”, expresso em (kWh/U\$) e, uma outra variável equivalente que será útil como um parâmetro comparativo com o custo tarifário médio de outras modalidades de geração de energias convencionais, a exemplo da geração de energia elétrica a Diesel, comparação a qual será indicativa da viabilidade econômica ou não da alternativa energética sob avaliação, qual seja, a de um sistema silvipastoril para produção de energia em sistema de cogeração. À essa grandeza, chamaremos aqui de “Custo tarifário exergoeconômico do sistema de cogeração, C_T ”, expresso em (R\$/kWh);

Assim, serão apresentados três fluxogramas quantitativos, os quais estabelecem as relações existentes entre as grandezas consideradas na simulação matemática e suas respectivas unidades. O primeiro fluxograma é relacionado ao balanço de massa com a finalidade de estimar a produção de biomassa florestal e portanto, o fluxo mássico médio do referido combustível na entrada do processo termoelétrico. O segundo fluxograma refere-se ao balanço de energia com a finalidade de estimar a produção de energia térmica e elétrica cogerada.

Fluxograma I: Balanço de massa do sistema silvipastoril



Fluxograma II: Balanço de energia do sistema de cogeração

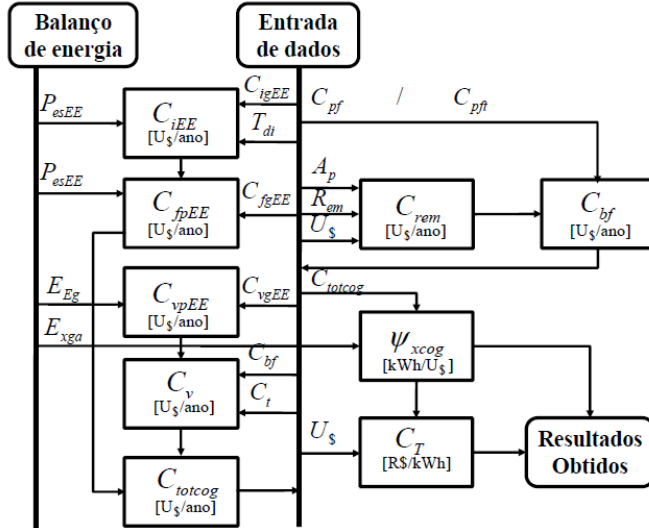


O terceiro fluxograma refere-se ao balanço econômico do processo com a finalidade de estimar como resultados obtidos, o rendimento exergoeconômico do sistema de cogeração com biomassa florestal, $\psi_{x\text{cog}}$ e portanto, seu custo tarifário médio, C_T .

Assim, o sistema de simulação matemática utilizado baseia-se nas relações entre as grandezas conforme encontram-se indicados nos fluxogramas de acordo com os princípios do arranjo produtivo considerando um sistema silvipastoril.

Fluxograma III: Rendimento exergeoeconômico do sistema completo

BALANÇO EXERGO-ECONÔMICO



As equações utilizadas no sistema de simulação são as seguintes:

$$F_s \square 9.10^4 N_a \quad 1\sim$$

$$P_{mf} \square F_s I_{ma} D_b A_p \quad 2\sim$$

$$B_f \square \frac{P_{mf}}{T_{oa}} \quad 3\sim$$

$$B_{ft} \square 10^3 \square_1 B_f \quad 4\sim$$

$$E_{xibs} \square \frac{860R_{ex} P_{csbs}}{3,6} \quad 5\sim$$

$$E_{xibu} \square E_{xibs} \square 1 \square 9,59.10^{13} U_u \sim \quad 6\sim$$

$$E_{xibm} \square \frac{\square_1 \square_1 10^3 E_{xibu} B_f \square}{B_{ft}} \quad 7\sim$$

$$P_{ei} \square \frac{10^{16} E_{xibm} B_{ft}}{0,86} \quad 8\sim$$

$$P_{es} \square \dot{h}_{cog} P_{ei} \quad 9\sim$$

$$P_{esEE} \square \dot{h}_{EE} P_{ei} \quad 10\sim$$

$$P_{esH} \square P_{es} \square P_{esEE} \quad 11\sim$$

$$E_{Eg} \square P_{esEE} T_{oa} \quad 12\sim$$

$$\square_{cog} \square \frac{P_{esEE} \square \square_1 \square \frac{T_i}{T_f} \square P_{esH}}{P_{ei}} \quad 13\sim$$

$$E_{xga} \square 10^3 \square_{cog} P_{ei} T_{oa} \quad 14\sim$$

$$C_{iEE} \square \frac{10^3 C_{igEE} P_{esEE}}{T_{di}} \quad 15\sim$$

$$C_{fpEE} \square 10^3 C_{fgEE} P_{esEE} \square C_{iEE} \quad 16\sim$$

$$C_{vpEE} \square 10^3 C_{vgEE} E_{Eg} \quad 17\sim$$

$$C_{rem} \square \frac{R_{em} \square_1 A_p}{U_s} \quad 18\sim$$

$$C_{pft} \square \frac{F_s C_{pf} \square_1 A_p}{U_s} \quad 19\sim$$

$$C_{bf} \square C_{rem} \square C_{pft} \quad 20\sim$$

$$C_v \square C_{vpEE} \square C_t \square C_{bf} \quad 21\sim$$

$$C_{totcog} \square C_{fpEE} \square C_v \quad 22\sim$$

$$\square_{xcog} \square \frac{E_{xga}}{C_{totcog}} \quad 23\sim$$

$$C_T \square \frac{U_s}{\square_{xcog}} \quad 24\sim$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Atribuindo-se valores para as variáveis relacionadas com a pretensão de estimar valores próximos ou desejáveis para casos reais, o resultado obtido para o rendimento exergoeconômico obtido foi de 32,79 kWh/US\$, que corresponde ao custo tarifário, C_T de aproximadamente R\$0,12/kWh, o que indica um valor promissor dentro de uma análise de viabilidade de um empreendimento agroenergético para o setor elétrico ou para o setor sucro-alcooleiro, já que, entre os fatores de comparação que se pode estabelecer para a referida análise de viabilidade pode ser a tarifa média nacional de fornecimento de energia elétrica, em que, ao setor industrial por exemplo, é de R\$ 0,218/kWh (Aneel, 2016).

Um outro valor de comparação que se coloca pode ser o “valor de referência do custo da energia no ambiente de contratação regulada” do setor elétrico brasileiro, que em 2015 foi de R\$ 192,61/MWh, ou seja, R\$ 0,19/kWh (CCEE, 2016).

O custo da geração diesel é outro parâmetro comparativo, pois essa modalidade de energia não renovável de natureza fóssil, consiste como sendo o principal componente alternativo dentro da matriz energética brasileira voltada ao suprimento de energia elétrica para a região dos chamados “sistemas isolados”, que são os sistemas das regiões sem conexão com o SIN, Sistema Interligado Nacional, bem como também muito utilizado para a complementação no horário de ponta de carga com uso freqüente em indústrias, devido tarifação elevada. O referido custo é uma boa referência comparativa, valor que, por exemplo para a comunidade de Jacareacanga no Pará, segundo um estudo de caso igualmente referido a 2015 foi de R\$ 724,22/MWh, ou seja, R\$ 0,72/kWh (Wilde, 2015).

CONCLUSÃO

Portanto, sob a ótica da análise exergoeconômica, o estudo apresenta um bom indicativo de viabilidade para o uso do sistema silvipastoril para produção de energia em sistema de cogeração.

Uma recomendação que decorre a partir das conclusões do presente trabalho é avaliar a possibilidade do desenvolvimento de programas de fomento à arborização de pastagens associadas à produção de energia elétrica e térmica em sistema de cogeração para a região do Arenito Caiuá no noroeste do Estado do Paraná.

AGRADECIMENTO

Um agradecimento especial ao Eng^o Florestal Erni Limberger da EMATER/PR de Paranaíba, que forneceu a indicação de custos do manejo florestal e da produtividade média de biomassa florestal a partir dos dados obtidos por ele em experiências de campo.

REFERÊNCIAS

- Aneel (www.aneel.gov.br), em “Informações Técnicas; Relatórios do Sistema de Apoio a Decisão; Tarifa Média por Classe de Consumo e por Região; Média brasileira” consulta em 16/02/2016;
- CCEE Câmara de Comercialização de Energia Elétrica; <www.ccee.org.br>, Acesso em 05/05/2016;
- Dincer,I. and Rosen,M.A.,“Exergy – Energy, Environment And Sustainable Development”, second edition, 2013. 552p;
- Dincer,I. and Rosen,M.A.,“Exergy Analysis of Cogeneration and District Energy Systems”, Exergy. Chapter 13; p.286-304.
- Lauri,P., Havlik,P., Kindermann,G., Forsell,N., Böttcher,H., Obersteiner,M.,“Woody biomass energy potential in 2050”, Energy Policy, IIASA, Schlossplatz 1, A-2361, Laxenburg, Austria, 2013;
- Limberger,E.“Disponibilidade de Água no Solo em Sistemas Silvipastoril com Eucalipto em Renque e Pastagem”, Presidente Prudente, 2012. Dissertação (Mestrado);
- Lozano,M.A. and Valero,A.“Theory of The Exergetic Cost”, Energy Vol.18, Nº 9, PP.939-960, 1993;
- Siflor – Sistema de Informações para Planejamento Florestal disponível em <<http://projetosiflor.blogspot.com.br/p/software.html>>, Acesso em 03/07/2015;
- Souza,B.B., Silva,I.J.O., Mellace,E.M., Santos,R.F.S., Zotti,C.A., Garcia,P.R.,“Avaliação do Ambiente Físico Promovido pelo Sombreamento Sobre o Processo Termorregulatório em Novilhas Leiteiras”, ISSN 1808-6845, 2010;
- Wilde,H.,”Diagnóstico das Usinas Termelétricas dos Sistemas Isolados do Ponto de Vista de Adequação aos Limites de Consumo Específico de Combustível e Proposição de Alternativas para Redução dos Mesmos”, Itajubá, Dezembro/2015. Dissertação (Mestrado);