



Sistema Silvipastoril como Alternativa Energética

Sérgio Inácio Gomes¹ – sergio.gomes@ifpr.edu.br
Mauro Antonio da S.S. Ravagnani² – massravagnani@uem.br
Cid Marcos Gonçalves Andrade² – cmgandrade@uem.br

1 – Instituto Federal do Paraná – IFPR Paranavaí

2 – Universidade Estadual de Maringá - Departamento de Engenharia Química - DEQ/UEM-Maringá, PR

Resumo: Os sistemas silvipastoris são caracterizados pela associação de pastagens com animais e cultivos arbóreos e pode ser uma forma eficiente e sustentável para o fornecimento de matéria prima na forma de biomassa florestal para produção de energia térmica, elétrica ou mecânica. Este trabalho faz uma estimativa da produção primária de biomassa florestal proveniente de um sistema silvipastoril em comparação com a produção primária de biomassa florestal proveniente de um sistema monocultural de silvicultura. Os dados utilizados para a presente análise foram baseados em arranjos produtivos reais da região do Arenito Caiuá no noroeste do Estado do Paraná e estimados de acordo com um modelo de simulação matemática por nós elaborado, que relaciona os fatores de produção e de conversão energética primária (térmica) que pode ser integrado a um sistema de cogeração de energia. Obteve-se como resultado, que o “fator silvipastoril” foi 3,5 vezes superior ao do sistema monocultural, um fator extraordinariamente superior o que demonstra a potencialidade desse recursos energético, o qual pode-se considerar pela ausência de aplicação prática, um sistema desconhecido no sistema energético brasileiro. Trata-se assim, de um resultado interessante para a análise de viabilidade da alternativa energética não convencional proposta.

Palavras-chave: Sistema Silvipastoril; Biomassa Florestal; Fator Silvipastoril; Modelagem; Simulação.

1. 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 (LI et al., 2015).

No que permeia à matriz energética do futuro e suas tendências, verifica-se entre as diversas possibilidades de cenários, estudos que indicam que a contribuição da biomassa lenhosa para fins energéticos poderá ser importante com estimativas de até 14% da

energia primária consumida no planeta em 2050, já excluídas, nessa estimativa, toda a biomassa florestal proveniente de florestas nativas (LAURI et al., 2014).

Na mesma linha, de acordo com Goerndt et al., (2013), a biomassa de origem florestal é um recurso renovável em potencial que pode ser planejada e utilizada como uma alternativa energética em vista da necessidade da diversificação da matriz energética.

A proposta da descentralização na geração de energia é um tema discutido em nível mundial como uma forma de se alcançar maior confiabilidade e complementariedade no suprimento energético aliado à obtenção de melhores condições ambientais e econômicas.

Mudanças estruturais importantes nos sistemas elétricos, a exemplo da geração distribuída, ajudaram a viabilizar o aproveitamento energético de muitas alternativas energéticas não convencionais, tais como a energia da biomassa florestal proveniente de sistemas silvipastoris.

Muitos estudos mostraram os benefícios e vantagens ambientais ou econômicas dos sistemas silvipastoris, que se constituem na associação entre cultivos arbóreos, pastagens e animais para a atividade pecuária.

Além das vantagens e benefícios oferecidos para a atividade da pecuária, esses sistemas também podem consistir em uma alternativa sustentável de produção de biomassa florestal para fins energéticos.

O propósito do presente estudo é o de fazer a estimativa da produção primária de biomassa florestal proveniente de um sistema silvipastoril e seu respectivo balanço

energético primário em comparação ao da produção primária de biomassa florestal e energética proveniente de um sistema de produção silvicultural como base na monocultura.

Assim, estabelece-se um sistema de produção de biomassa florestal de referência, que é o do sistema arbóreo monocultural, cujos dados de produção foram obtidos de um estudo de caso da região do Arenito Caiuá, no noroeste do Estado do Paraná, Brasil.

Da mesma maneira, os dados de produção de biomassa florestal do sistema silvipastoril foram coletados de uma área localizada na mesma bacia hidrográfica e região do sistema de referência, a qual possui as características de fertilidade e disponibilidade hídrica semelhante ou são equivalentes em relação ao do sistema de referência.

O fator de comparação entre a produção de biomassa florestal proveniente do sistema silvipastoril em comparação ao do sistema monocultural será aqui chamado de “Fator Espacial do Sistema Silvipastoril”, F_e .

Em outros termos, F_e refere-se à estimativa da potencialidade de incremento na produção de biomassa florestal devido à redução na competitividade de sua formação em relação às plantas da vizinhança, uma vez que um sistema mais adensado oferece maior competitividade decorrente de menor insolação e espacialidade, cujos quantitativos em termos de formação de biomassa florestal serão proporcionalmente mais restritos.

O modelo apresentado e avaliado nesse estudo se baseia na inserção de dados de sistemas produtivos florestais e silvipastoris com a estruturação dos referidos dados de produção de biomassa florestal (lenha) que será a matéria-prima enquanto recurso energético.

A simulação utilizada nesse estudo baseia-se nos balanços de massa e de energia dos referidos processos e quantifica as grandezas envolvidas nos processos de produção e de sua transformação energética (GOMES, 2017).

O balanço de energia primária pode

ser considerado sinônimo de “exergia”, que é aplicável a qualquer processo produtivo, que envolve conversões energéticas.

Define-se exergia como sendo o máximo trabalho útil possível de ser obtido por um fluxo de energia sob condições impostas pelo meio ambiente circundante. Segundo Tsatsaronis (1993) a exergia depende do estado do fluido que está sendo considerado e do estado do meio ambiente presente.

Trata-se assim de uma simulação, que é uma ferramenta capaz de auxiliar na análise de viabilidade do arranjo agroenergético sugerido, qual seja, o de avaliar um sistema silvipastoril, que fornece um fluxo contínuo de biomassa florestal a um sistema de conversão energética.

2. Metodologia

Inicialmente é realizada a avaliação em volume de madeira proveniente de um sistema silvipastoril, cujas características e dados produtivos são apresentados e analisados à luz da simulação do sistema de equacionamento proposto.

São também avaliadas a produtividade de biomassa florestal em termos de volume de madeira proveniente de um sistema monocultural. O objetivo é o de estabelecer o parâmetro de referência para a produtividade em biomassa florestal para o sistema silvipastoril.

Assim, será realizada uma comparação entre a produtividade das duas propriedades rurais, que possuem características produtivas semelhantes, sendo uma cultivada com o sistema silvipastoril e outra com silvicultura monocultural, as quais foram inventariadas ao final de um ciclo de produção.

Nessas propriedades foram plantadas 132 árvores por hectare no sistema silvipastoril e 1214 árvores por hectare no sistema monocultural de referência.

Para fazer a análise do processo são realizados os balanços de massa e energia em base exergética.

Assim, com base no balanço de massa de acordo com pesquisas de campo realizadas na localidade avaliada, o modelo de

simulação estabelece uma relação entre os dados referentes à produtividade de biomassa florestal do sistema silvipastoril e a produtividade obtida pelo sistema de plantações silviculturais tradicionais com as mesmas características produtivas da região avaliada.

A propriedade cultivada com o sistema silvipastoril, foi plantada em setembro de 2011 em conformidade com técnicas adequadas à região e colhida em julho de 2018, cujo incremento volumétrico médio obtido por área foi de 130,38m³.

A propriedade cultivada com o sistema de silvicultura exclusiva foi plantada em março de 2007 em conformidade com técnicas tradicionais e colhida em julho de 2012, cujo incremento volumétrico médio obtido por área foi de 262,08m³ (LIMBERGER, 2018).

2.1. Variáveis utilizadas:

As variáveis a serem utilizadas no modelo de simulação serão as seguintes:

- D_b Densidade básica da espécie de biomassa florestal produzida em base seca em (g/cm³);
- E_{xa} Exergia média anual por área de um sistema silvipastoril ou “Energia primária de suprimento a um sistema de conversão energética”, expresso em (kWh / ha.ano);
- F_e Grandeza referente ao fator de produtividade devido arranjo espacial da arborização utilizada no sistema silvipastoril em relação à do sistema de referência (adimensional);
- F_u Grandeza referente ao fator de umidade ou relação entre a umidade e a exergia das espécies florestais (adimensional);
- I_{mas} Incremento médio anual de biomassa florestal do sistema silvipastoril em (m³ sólido / ha.ano);
- I_{maref} Incremento médio anual de biomassa florestal do sistema monocultural em (m³ sólido / ha.ano);
- I_{ref} Incremento de biomassa florestal por

área do sistema monocultural ao término do ciclo de produção em (m³ sólido / ha);

- I_s Incremento de biomassa florestal por área do sistema silvipastoril ao término do ciclo de produção em (m³ sólido / ha);
- N_a Densidade de árvores por área em (unidade/ha);
- N_{aref} Densidade de árvores no sistema monocultural de silvicultura de referência em (unidade/ha);
- P_{cibs} Poder calorífico inferior em base seca da biomassa florestal em (MJ/kg);
- P_{vfref} Produção volumétrica média anual de biomassa florestal por árvore no sistema monocultural em (m³ sólido / árvore.ano);
- P_{vfs} Produção volumétrica média anual de biomassa florestal por árvore no sistema silvipastoril em (m³ sólido / árvore.ano);
- R_s Relação entre o número de árvores por área do sistema silvipastoril em relação ao do sistema de referência em (%);
- T_{cs} Tempo de produção da biomassa florestal do sistema silvipastoril (período da plantação até a colheita) em (anos);
- T_{cref} Tempo de produção da biomassa florestal do sistema silvicultural tradicional em (anos);

2.2. Equacionamentos

As equações utilizadas relacionam as variáveis pertinentes, que são as seguintes:

$$R_s = \frac{N_a}{N_{aref}} \quad (1)$$

$$I_{mas} = \frac{I_s}{T_{cs}} \quad (2)$$

$$I_{maref} = \frac{I_{ref}}{T_{cref}} \quad (3)$$

$$P_{vfs} = \frac{I_{mas}}{N_a} \quad (4)$$

$$P_{vref} = \frac{I_{maref}}{N_{aref}} \quad (5)$$

$$F_e = \frac{P_{vfs}}{P_{vref}} \quad (6)$$

$$E_{xa} = \frac{F_u P_{cibs} I_{mas} D_b}{3,6} \quad (7)$$

2.3. Variáveis conhecidas:

Com base nos processos produtivos relacionados, as variáveis são utilizadas nas equações anteriores, sendo conhecidas as seguintes:

$$N_{aref} = 1214; N_a = 132; I_s = 130,38;$$

$$T_{cs} = 6,8333; I_{ref} = 262,08; T_{cref} = 5,3333;$$

3. Resultados Obtidos

As variáveis conhecidas foram utilizadas nas equações acima e os resultados obtidos foram os que se seguem:

$$R_s = 10,98 \% \quad (RO1)$$

$$I_{mas} = 19,08 \text{ m}^3 / \text{ha.ano} \quad (RO2)$$

$$I_{maref} = 49,14 \text{ m}^3 / \text{ha.ano} \quad (RO3)$$

$$P_{vfs} = 0,144 \text{ m}^3 / \text{árv.ano} \quad (RO4)$$

$$P_{vref} = 0,0404 \text{ m}^3 / \text{árv.ano} \quad (RO5)$$

$$F_e = 3,5 \quad (RO6)$$

$$E_{xa} = 24,5 \text{ kWh} / \text{ha.ano} \quad (RO7)$$

3.1. Interpretação dos Resultados:

Observou-se que, com 11% de ocupação arbórea do sistema silvipastoril em relação ao sistema silvicultural monocultural, a produção média de biomassa florestal foi de 39%.

Isso significa que a “taxa média anual de formação de biomassa florestal por unidade arbórea” do sistema silvipastoril foi 3,5 vezes maior do que a do sistema de referência, mostrando que, além de ser mais sustentável do ponto-de-vista ambiental, apresenta-se como um indicativo de que trata-se também de um sistema mais produtivo para

a produção de biomassa florestal.

O incremento médio anual obtido (I_{mas}) de $19,08 \text{ m}^3 / \text{ha.ano}$ significa a potencialidade do sistema silvipastoril avaliado para o fornecimento de um fluxo contínuo de matéria-prima na forma de biomassa florestal.

Esse fluxo é equivalente a aproximadamente $9,5 \text{ ton} / \text{ha.ano}$ de biomassa florestal em base seca (depende da densidade básica da espécie florestal) ou $13,0 \text{ ton} / \text{ha.ano}$ seca nas condições ambientes, que também depende da umidade relativa ambiental média do local.

Em outros termos, esse fluxo contínuo representa aproximadamente $3,5 \text{ kg} / \text{ha.h}$ de biomassa florestal num processo de conversão energética, que poderá consistir num processo de cogeração de energia, que converte energia térmica em energia mecânica (ou elétrica) e térmica remanescente aproveitável em processos de geração de energia elétrica e em processos industriais ou residenciais.

A “exergia” disponibilizada ou ainda, “energia primária” de suprimento à entrada de um processo termoeletrico ou termomecânico será próximo de $24,5 \text{ kWh} / \text{ha.ano}$.

Isso equivale a um “conversor” de energia, cuja potência térmica recebida na entrada equivale a 7 Watts para operação anual ininterrupta.

Considerando que a eficiência de processos termoeletricos, costumeiramente apresentam perdas típicas de 2/3 (e, portanto, o aproveitamento de energia elétrica de 1/3), poderemos ter 2,5 Watts de potência elétrica com geração permanente.

3.2. Conclusões:

Portanto, para o dimensionamento de um processo termoeletrico ou termomecânico de determinada potência nominal desejada, pode-se prever a área necessária de sistema silvipastoril a ser manejada com arranjos espaciais em uma localidade que apresenta condições de fertilidade e características similares.

Assim, de forma complementar aos

benefícios econômicos tradicionais da atividade da pecuária, o sistema silvipastoril apresenta-se como uma alternativa energética não convencional para o suprimento de biomassa florestal.

Esse “novo produto”, que pode ser produzido com maior eficiência de produção do que a silvicultura tradicional monocultural, pode também representar um benefício econômico complementar ao agricultor.

3.3. Consideração Importante:

Uma ressalva relevante que torna-se necessária a ser considerada é que os resultados obtidos representam dados excepcionais, porém trata-se de uma análise compatível ao presente estudo de caso, cujos valores médios de produção fogem aos da média geral.

Conforme ressaltou o avaliador dos dados de campo utilizados nesse estudo, embora de fato, os sistemas silvipastoris são mais produtivos em termos de formação de biomassa por unidade arbórea, o incremento usual é cerca de 30% a 50% (LIMBERGER, 2018).

Essa ressalva, entretanto, não invalida a análise e, muito pelo contrário, reforça as conclusões acerca da viabilidade da alternativa energética não convencional proposta e avaliada no presente estudo.

REFERÊNCIAS

LAURI, P., Havlík, P., Kindermann, G., Forsell, N., Böttcher, H., & Obersteiner, M. (2014). **Woody biomass energy potential in 2050**. Energy Policy. Vol. 44, pp. 19-31.

LI, H., Guo, S., Cui, L., Yan, J., Liu, J., & Wang, B. **Review of renewable energy industry in Beijing: Development status, obstacles and proposals**. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Vol. 43, pp. 711-725. (2015).

GOERNDET, M. E., Aguilar, F. X., & Skog, K. **Resource potential for renewable energy generation from co-firing of woody biomass with coal in the Northern U.S.**

Biomass and Bioenergy. Vol. 59, pp. 348-361. 2013.

GOMES, S. I., **Biomassa florestal para geração de energia em sistema de produção silvipastoril**. Tese de Doutorado, Orientador: Andrade, C.M.G; Co-orientador: Ragnani, M.A.S.S., DEQ/UEM. Maringá, 2017.

LIMBERGER, E., **Relatórios de avaliação de volume de madeira na área de Sistema Silvipastoril de 24 de julho de 2018 e Inventário Florestal Fazenda Cachoeira avaliado em julho de 2012**. Eng. Florestal, Extensionista do Instituto Emater, Paranavaí, Pr, 2018.

TSATSARONIS, G.; **Thermoeconomic Analysis and Optimization of Energy Systems**, Progress in Energy and Combustion Science. V.19, PP.227-257, Pergamon Press, Great Britain, 1993.