

**Avaliação de sustentabilidade de biomassas para gerar energia elétrica na comuna
Mona Quimbundo, município Saurimo**

***Sustainability assessment of biomass to generate electrical energy in the Mona Quimbundo
commune, Saurimo municipality***

Paulo Bunga Cabocolo¹, Yamilé Mesa Barrera^{2*}, Franklyn González Segura³

¹ Lic. Aprovechamiento hidroeléctrico de Chicapa-1. cabocolo25@gmail.com <https://orcid.org/0009-0001-7527-3658>

² Dr. Professora Titular. Universidad de Oriente. mesayamile63@gmail.com <https://orcid.org/0000-0001-6485-4222>

³ Ms.C. Professor Auxiliar. Universidad de Holguín. Cuba. franklyngonzalezsegura1969@gmail.com <https://orcid.org/0000-0002-7394-7647>

* Autor para correspondência: mesayamile63@gmail.com

RESUMO

O artigo socializa resultados de pesquisas para obtenção do título de mestre. Na dissertação se avalia a sustentabilidade de três variantes de biomassas no processo de combustão para propostas de biomassas na Comuna Mona Quimbundo do município do Saurimo com a aplicação fundamental do método emergético tendo em conta no procedimento que o protótipo a desenvolver pode ser instalado em cada uma das 56 aldeias para abastecer de energia elétrica às mesmas mediante a tecnologia dos Aterros Sanitários. A análise da emergia determinou que a alternativa mais adequada para a conversão de biomassa em energia é a dos resíduos do arroz, a qual tem como resultados os indicadores emergéticos uma razão de renovabilidade, e de eficiência emergética que indicam que o processo explora moderadamente os recursos naturais locais. Por outra parte, o impacto ambiental não é tão grande em comparação com outros processos e se deve valorar o impacto existente tendo em conta as áreas vizinhas. Além do anterior, o índice de sustentabilidade emergética indica que a longo prazo o sistema é sustentável por si. Por outro lado, a variante apresentou uma eficiência energética grande pelo método direto e mostra uma eficiência exergetica moderada. Os resultados obtidos permitem ter melhor critério para a posterior tira de decisão a qual ajudará ao desenvolvimento económico da Comuna através da produção de eletricidade a partir destas biomassas.

Palavras chave: biomassa, sustentabilidade, energia elétrica, exergia, emergia, indicadores emergéticos.

ABSTRACT

The article shares research findings toward obtaining a master's degree. In the dissertation, the sustainability of three types of biomass in the combustion process is evaluated for potential biomass proposals in the Mona Quimbundo Commune of the Saurimo municipality, using the emergy method as a primary approach. The procedure considers that the prototype to be developed could be installed in each of the 56 villages to supply them with electricity through Landfill Technology. The emergy analysis determined that the most suitable alternative for converting biomass into energy is rice waste, which yielded emergy indicators, a renewability ratio, and emergy efficiency showing that the process moderately exploits local natural resources. Furthermore, the environmental impact is relatively low compared to other processes, and the existing impact on neighboring areas should be assessed. Additionally, the emergy sustainability index indicates that, in the long term, the system is self-sustaining. This alternative also demonstrated high energy efficiency using the direct method and moderate exergetic efficiency. The results obtained provide a better basis for future decision-making, which will aid the Commune's economic development through electricity generation from these biomass sources.

Keywords: biomass, sustainability, electrical energy, exergy, emergy, emergy indicators.

INTRODUÇÃO

Na atualidade o emprego da biomassa na produção de energia é considerado uma opção para diminuir o aquecimento global derivado do uso de combustíveis fósseis. Entre outros fatores o uso da biomassa para a produção de energia se sustenta em que é um combustível virtualmente neutro quanto a emissões de CO₂, é uma fonte de calor universal, renovável e eficiente que não depende de fatores externos como podem ser os meteorológicos, também se citam como vantagens o impacto positivo nas economias locais, ao completar-se localmente o ciclo de produção comercialização e uso.

Além da variabilidade para satisfazer demandas de diferentes serviços energéticos tanto na produção de eletricidade, calor e frio, segundo explica Machín et al., (2012). Segundo os autores citados anteriormente, a biomassa é um dos recursos mais abundantes da natureza, representa o, 35% do consumo de energia primária nos países em desenvolvimento, elevando o total mundial a 14%. As fontes bibliográficas dispõem de vários estudos relacionados com a avaliação da sustentabilidade de biomassa e sua utilização com fins energéticos, a nível internacional e especificamente em Angola.

Em Angola e segundo os Objetivos 2030 do Livro Branco CEEAC-CEMAC para o Acesso Universal a Serviços Energéticos Modernos se argumenta a possível utilização sustentável da biomassa para o desenvolvimento de outras energias renováveis onde quase o 100% da biomassa deverá ser sustentável em 2030. Uma das principais fontes de energia renovável é a biomassa, embora o maior potencial energético o tenha as biomassas da sacarose, existem outras fontes que têm importância na ordem local ou que seu aproveitamento resulta conveniente do ponto de vista ambiental.

Também constitui uma prioridade nos tempos atuais da política económica e social o fomento das fontes renováveis de energia, daí que a energia seja um eixo transversal neste propósito. Atualmente ainda é baixa a utilização das fontes renováveis de energia, pois com elas só se produz o, 4,3% da eletricidade do país onde a biomassa alcança o, 0,5%.

Para este país a aquisição de combustíveis fósseis representa um grande desafio, devido aos altos custos que estes apresentam e a impossibilidade da economia nacional para sua aquisição competitiva faz cada vez mais difícil o cenário atual, outra e não menos importante o gera o impacto ambiental que contempla a utilização dos combustíveis fósseis para a geração de energia, daí que as potencialidades das fontes renováveis para o país deve permitir em um futuro próximo uma maior participação das fontes renováveis de energias (FRE), com um, 24%.

Tal como se aprecia nos antecedentes citados anteriormente a avaliação da sustentabilidade da biomassa para a produção de energia elétrica é insuficiente, ao não se avaliar em todas suas dimensões, não utilizar todos os métodos possíveis e critérios tão energéticos, exegéticos e emergéticos que permitam uma análise integral deste processo.

Por outra parte, a Comuna Mona Quimbundo do Município do Saurimo na Província da Lunda Sul permanece com os problemas de fornecimento elétrico nas diferentes aldeias, provocando que o desenvolvimento social da mesma seja ainda muito limitado para uma população próxima às 19 000 pessoas.

A geografia da Comuna Mona Quimbundo é muito grande, conta com 56 aldeias de camponeses que se dedicam fundamentalmente às tarefas agrícolas, 15 delas se dedicam ao cultivo do arroz pelo que os resíduos desta atividade perfeitamente se pudessem utilizar para gerar energias além de outros resíduos materiais que também poderiam contribuir a esta positividade.

Alternativas para a eletrificação destas aldeias podem ser qualquer das fontes de geração verdes que se conhecem, por lógica sempre que se determine realizar uma proposta e logo um projeto com antecipação será obrigatório fazer um estudo de sustentabilidade para conseguir implementar a denominada geração distribuída, já que a distribuição elétrica a essas aldeias de fontes convencionais é inviável produto a custos e localização pouco acessível.

Especialmente para aldeias como as da Comuna Mona Quimbundo onde se produzem resíduos na produção agrícola, a geração de energia elétrica a partir da biomassa representa uma oportunidade excelente para o incremento da eficiência económica e a proteção do meio-ambiente.

Problema de investigação: Como avaliar o índice de sustentabilidade de diferentes tipos de biomassas para o processo de produção de energia elétrica na Comuna Mona Quimbundo do Município do Saurimo considerando, aspectos ambientais, económicos e sociais?

DESENVOLVIMENTO

Materiais

No estudo realizado sobre as bibliografias consultadas, ficou evidente que o desenvolvimento sustentável tem sido abordado por diversos autores, como: Relatório Brundtland (1987), García et al., (2003) e retomada por Hernández et al., (2016), Montero (2006), Rosa (2007), Barber (2009), Davidsdottir et. al (2007), Vera et al., (2005) e ratificado por Mendizábal (2014), entre otros.

A Organização para as Nações Unidas (ONU) na Cúpula de Desenvolvimento Sustentável de Setembro de 2015, onde se reuniram os dirigentes mundiais de todos os países membros, na Agenda 2030, resolveu implementar 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) que entraram em vigor oficialmente o primeiro de Janeiro de 2016, objetivos que também aparecem divulgados no portal da Embaixada de Angola em Portugal (2021), no artigo Angola passa a país de renda média em 2021; CEMIG; Academia Brasileira de Ciência (2019); UNICEF, e outras muitas fontes, propõem como um dos objetivos a que esta investigação responde é o objetivo 7, titulado: garantir o acesso à energia acessível, confiável, sustentável e moderna para todas as pessoas.

Existem diversos trabalhos que se conduziram respeito ao tema do desenvolvimento energético sustentável, tais como: Lund et al., (2007) quem realizaram uma análise de dois modelos de sistemas de energia comparando as metodologias empregadas, o qual se concentra em estudar o sistema elétrico e de energias renováveis tanto de uma região como de um país completo. Na perspectiva de Narula e Sudhakara (2016) os indicadores de segurança energética aplicada e estudados foram principalmente com os países em desenvolvimento.

Por outra parte, estabeleceram que nestes o uso de indicadores sociais para medir pobreza e igualdade de oportunidades devem considerar-se, ao mesmo tempo, dos aspectos económicos e ambientais para medir a sustentabilidade energética. Também apareceu o trabalho de Sheinbaum et al., (2012) que aplicaram a metodologia da AIEA (Agência Internacional de Energia Atômica) para analisar a evolução dos indicadores do desenvolvimento energético.

Do mesmo modo, Vera e Langlois (2007) expuseram um trabalho similar para o caso do Brasil; e finalmente, Patlitzianas et al., (2008) realizaram uma revisão quanto às metodologias dos indicadores do desenvolvimento energético sustentável. Os indicadores energéticos do desenvolvimento sustentável (IEDS) foram desenhados com o propósito de proporcionar informação sobre as tendências em matéria de energia, procurando apoiar a adoção de decisões por parte dos governos dos distintos países na avaliação de suas políticas energéticas.

Os IEDS se centram em três dimensões: social, económica e ambiental. De esta forma, busca-se que os indicadores energéticos não só sejam parâmetros estatísticos, mas sim seja um instrumento para prover um entendimento mais profundo das relações entre energia, economia e meio-ambiente.

Segundo a OIEA (2008), em seu conjunto, estes indicadores podem dar uma imagem do sistema de energia, incluindo vínculos e compromissos entre diferentes dimensões do desenvolvimento sustentável, assim como as implicações a longo prazo das decisões atuais e o comportamento através das mudanças nos valores desses indicadores que no tempo marcam o progresso ou a falta de este para dito desenvolvimento.

Resumindo o explicado anteriormente e a critério do autor desta dissertação se determina que só se pudesse chegar ao desenvolvimento sustentável com o concurso de todos os atores da sociedade, a ciência, a política, e a religião dentro dos contextos económicos de cada região antepondo a natureza por cima de qualquer benefício.

Para o desenvolvimento sustentável da geração de energia elétrica na cidade do Saurimo é inevitável poder aplicar políticas como a da União Europeia de 26 de novembro de 1986, referida à orientação comunitária do desenvolvimento das fontes de energias novas e renováveis.

Na consideração de Ortiz (2015) é confirmar que o desenvolvimento de uma estratégia energética para a cidade exige recorrer indevidamente a elas enquanto suas perspectivas ulteriores de viabilidade económica sejam demonstradas e que o desenvolvimento da exploração destes recursos contribua a alcançar estes objetivos.

Seria muito importante propor a utilização de fontes de energias renováveis já que isto vai contribuir a melhorar as competências de geração de energia elétrica em Saurimo, a segurança no fornecimento elétrico e melhoramento do meio-ambiente.

A biomassa e o desenvolvimento sustentável

A bioenergia emerge como uma solução promissora no cenário energético global, destacando-se como uma alternativa renovável e sustentável aos combustíveis fósseis convencionais. Definida como a energia gerada através da biomassa, a bioenergia abrange um vasto espectro de recursos orgânicos e tecnologias de conversão, oferecendo uma abordagem versátil para os desafios energéticos contemporâneos. No contexto da Comuna Mona Quimbundo, na Província da Lunda Sul, Angola, onde o acesso à eletricidade é limitado e os recursos de biomassa são potencialmente abundantes, a compreensão e aplicação do conceito de bioenergia assumem um papel crucial.

A bioenergia utiliza matéria orgânica renovável, como resíduos agrícolas, florestais e urbanos, além de culturas energéticas dedicadas. Isso a torna uma fonte de energia potencialmente inesgotável, desde que gerida de forma sustentável; pode ser utilizada para gerar eletricidade, calor, e biocombustíveis para transporte, oferecendo soluções para diversos setores energéticos. Neste artigo, a ênfase é dada ao estudo dos resíduos agrícolas devido ao interesse do autor.

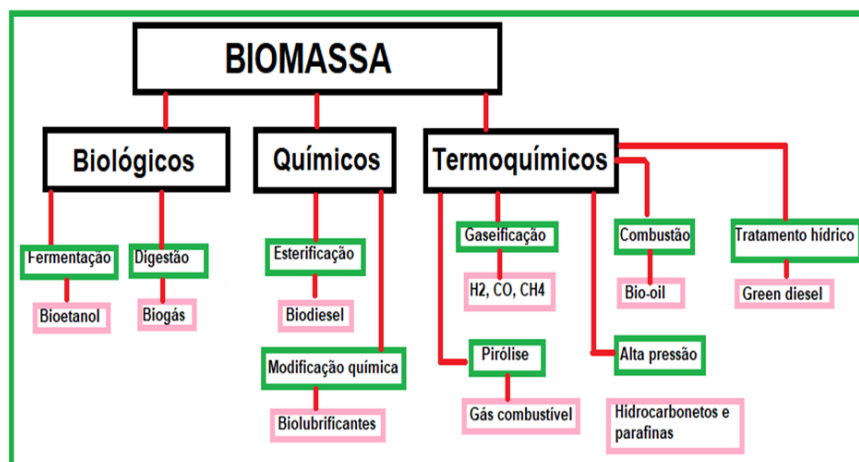
Tecnologias de transformação da biomassa

Na figura 1, se podem observar os processos e tecnologias de transformação ao que se podem submeter os resíduos vegetais, ditos processos são de três classes, conforme López (2013):

- Processos termoquímicos: estes incluem a combustão (produção de bio-oil), pirólise (gás combustível), gaseificação (H_2 , CO , CH_4), alta pressão-água subcrítica e hidrotratamento.
- Processos de conversão biológica: incluem a fermentação (bioetanol), e a digestão (biogás: uma mescla principalmente de metano e dióxido de carbono).
- Processos químicos: incluem a esterificação (biodiesel), e as modificações estruturais químicas (reação de esterificação), de acordo com Wang et al., (2020).

Figura 1

Tecnologias de transformação da biomassa.



Métodos

A pesquisa adotou uma abordagem metodológica mista, combinando métodos qualitativos e quantitativos. Com a compressão do problema de estudo, se adquiriu informação sobre os diferentes

tipos de biomassas que possam ser utilizadas para gerar energia elétrica nas aldeias da Comuna Mona Quimbundo do Município do Saurimo.

A coleta de dados, que para este caso se fundamentou na medição da quantidade de biomassa. Estas coletas e medições utilizaram procedimentos padronizados. Que gerem credibilidade e aceitação por outros investigadores. Os dados adquiridos de registos de medições foram sistematizados mediante a elaboração de tabelas e gráficos. O processo procurou um máximo controlo para obter que outras explicações possíveis, às do estudo, sejam desprezadas, exclua-se a incerteza e se minimize o erro.

Antes de compilar os dados para o estudo quantitativo deveu-se seguir um padrão previsível e estruturado para obter dito fim. A observação quantitativa generalizou os resultados encontrados dos indicadores de sustentabilidade numa amostra da população determinada e buscou-se que estes possam ser replicados. Com os resultados obtidos pôde-se explicar e predizer os fenómenos investigados, e buscaram-se regularidades e relações entre estes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Principais características da metodologia para avaliação de índices de sustentabilidade de biomassas

A metodologia que será empregada para avaliar os índices de sustentabilidade de três tipos de biomassa, com o intuito de gerar energia elétrica na Comuna Mona Quimbundo, município de Saurimo, caracterizada por uma vasta extensão geográfica, abrangendo 56 aldeias predominantemente agrícolas. Esta região se destaca por seu potencial significativo na produção de bioenergia, aproveitando a riqueza de seus recursos agrícolas. Dentre as aldeias, 15 se especializam no cultivo de arroz, gerando uma quantidade substancial de resíduos que podem ser eficientemente utilizados para a geração de energia.

Além dos resíduos do arroz, a comuna dispõe de uma diversidade de outros materiais residuais provenientes de várias atividades agrícolas, ampliando consideravelmente as possibilidades de produção de bioenergia. A escolha da metodologia se fundamenta na necessidade de estabelecer um critério científico e objetivo para comparar as diferentes biomassas, considerando os aspectos ambientais, sociais e económicos envolvidos na produção de energia a partir destas fontes.

A metodologia proposta busca atender aos princípios da Lei Geral de Eletricidade da República de Angola e às diretrizes do Ministério do Ambiente (MINA), que incentivam o uso de fontes renováveis de energia e o desenvolvimento sustentável. Através da aplicação desta metodologia, espera-se identificar a biomassa mais adequada para a geração de energia elétrica na região, considerando os seus impactos e benefícios a curto e longo prazo. Através da aplicação desta metodologia, espera-se identificar a biomassa mais adequada para a geração de energia elétrica na região, considerando os seus impactos e benefícios a curto e longo prazo.

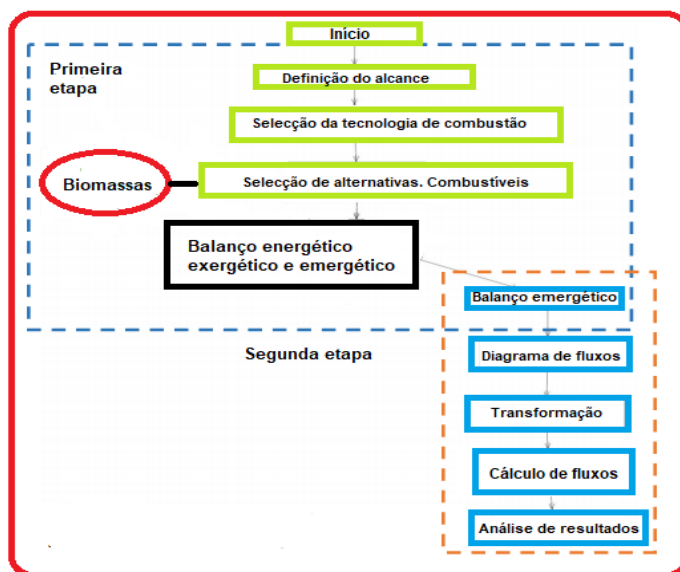
Primeiro se analisam as propriedades para proceder ao desenvolvimento de três balanços (energético, exergético e emergético) os quais constituem os principais critérios para a posterior avaliação de um ponto de vista integral das alternativas de combustão de biomassas a avaliar, para assim poder comparar sortes alternativas e poder decidir qual destas é a mais favorável.

Escolheram-se três tipos de biomassas para experimentar em termos de sustentabilidade, como os resíduos dos cultivos de arroz, milho e mandioca que são muito representativos nos terrenos desta comuna, no caso do arroz é cultivado em 15 aldeias e trata-se de um resíduo volumoso. Teve-se em conta que um hectare de arroz pode chegar a produzir até 10 t de palha (em peso seco).

Em primeiro lugar se terá que otimizar a logística da coleta, para poder colher o máximo possível a palha com a melhor qualidade possível. Logo viria a parte do uso, que pode ser múltiplo. Segundo Matias (2022) desde aplicações onde o valor do resíduo seria baixo:

- Biocombustível sólido: adaptar caldeiras de biomassa ao alto conteúdo em cinzas ricas em sílice.
- Biocombustível de segunda geração: incorporação ao chão em outros terrenos.

Até as que perseguem obter um produto de maior valor acrescentado como: Biomateriais. Moléculas químicas de alto valor. Na figura 2 se mostra o procedimento da metodologia.

Figura 2.*Diagrama heurístico da metodologia.*

Metodologia para avaliar os índices de sustentabilidade

Se apresenta uma abordagem sistemática e abrangente para avaliar os índices de sustentabilidade no contexto da produção de bioenergia na Comuna Mona Quimbundo. A metodologia aqui delineada foi desenvolvida para capturar a complexidade e as múltiplas dimensões da sustentabilidade, integrando aspectos ambientais, econômicos e sociais. O processo de avaliação proposto baseia-se em uma combinação de métodos quantitativos e qualitativos, permitindo uma análise holística dos sistemas de produção de bioenergia.

A metodologia inclui a identificação e seleção de indicadores-chave de sustentabilidade, específicos para o contexto local de Mona Quimbundo, levando em consideração as particularidades da região, como a predominância da agricultura de arroz e a disponibilidade de diversos resíduos agrícolas. Serão detalhados os métodos de coleta de dados, incluindo pesquisas de campo e entrevistas com pessoal da localidade.

Além disso, esta seção descreverá as técnicas de normalização e agregação dos indicadores para calcular índices compostos de sustentabilidade. Será apresentado um modelo de avaliação que permite a comparação entre diferentes cenários de produção de bioenergia, destacando os diversos aspectos da sustentabilidade.

A robustez e a adaptabilidade da metodologia serão enfatizadas, demonstrando sua aplicabilidade não apenas para o caso específico de Mona Quimbundo, mas também sua potencial extensão para outras regiões com características semelhantes. Por fim, serão discutidas as limitações e considerações éticas associadas à metodologia proposta, assegurando uma abordagem transparente e responsável na avaliação da sustentabilidade.

Esta metodologia serve como base fundamental para a análise subsequente, fornecendo um *framework* estruturado para avaliar e comparar diferentes opções de produção de bioenergia, com o objetivo final de informar decisões políticas e práticas que promovam o desenvolvimento sustentável na região.

Etapa 1. Balanço energético exergético e emergético

Definição do alcance

O alcance da investigação está dado na avaliação da sustentabilidade de diferentes biomassas a utilizar como combustível nas propostas de gerar energia elétrica na Comuna Mona Quimbundo. A análise se centra no processo de combustão mediante a determinação de indicadores emergéticos que permitam formar apoio para a avaliação geral.

Etapa 2. Método energético, exerético e emergético

A etapa 2 do método proposto, envolve as análises energética, exerética e emergética. É fundamental para uma avaliação abrangente e importante da sustentabilidade das diferentes opções de biomassa para geração de energia elétrica em Mona Quimbundo. Cada um desses métodos oferece uma perspectiva única e complementar, permitindo uma compreensão mais profunda dos sistemas de bioenergia em questão. Nesta seção vão se avaliar os elementos fundamentais dos diferentes métodos a utilizar.

Método energético

A eficiência de um gerador de vapor se determina fundamentalmente por dois fatores: uma combustão completa do combustível e um esfriamento profundo dos produtos da combustão, conforme com Pérez (2021).

A eficiência de uma instalação se pode obter do balanço de energias, considerando a energia aproveitada e a energia entregue, tal e como diz Golato et al., (2008),

Método exerético

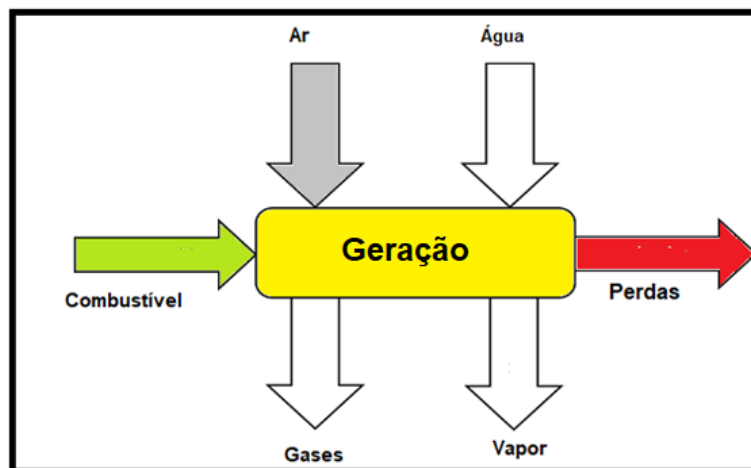
Exergia do conhecimento geral é uma propriedade termodinâmica que permite determinar o potencial de trabalho útil de uma determinada quantidade de energia que se pode alcançar pela interação espontânea entre um sistema e seu entorno.

O balanço de exergia permite avaliar a quantidade e a qualidade da energia, já que esta é a capacidade de trabalho útil máxima que pode obter-se de um sistema em um determinado estado.

Com esta avaliação nas caldeiras se podem valorar as irreversibilidades internas que têm lugar nas mesmas tanto no processo de combustão como nos processos de transmissão de calor para a formação de vapor de acordo com Dincer e Rosen (2007), Frómata (2010) e Jiménez et. al., (2016). Na figura 3 se mostram quão correntes intervêm no gerador de vapor para o processo de combustão.

Figura 3.

Correntes de entrada e saída na geração.



Método emergético

Explicou Odum (1996) que grande parte do conceito de emergia é o conceito da transformidade, a qual se define como a energia de um tipo requerida para fazer uma unidade de energia de outro tipo.

Argumenta Lomas (2009) que para poder transformar as diferentes qualidades de energia à qualidade da energia solar correspondente, usa-se o fator de equivalência de transformidade, que informa que quantidade de energia com qualidade equivalente a solar é necessária para gerar uma unidade de energia de maior qualidade. Portanto, a transformidade tem unidades de se J/unidades de energia.

Limite espaço-temporal do sistema.

Os sistemas termodinâmicos são definidos como qualquer região espacial num limite prescrito selecionado para seu estudo e deve ser estabelecido para um tempo determinado posto que este seja um fator que define os fluxos que atravessam o sistema.

Modelagem emergética.

Este passo consiste na representação por meio de diagramas de fluxos de matéria e energia utilizando a simbologia emergética, com o fim de representar a interação entre as fontes internas e externas do sistema, além dos fluxos de saída e feedback do sistema.

A principal função deste passo é a organização dos dados, permitindo determinar os fluxos e interações no sistema, destacando os mais relevantes. A escala e grau de detalhe podem variar dependendo dos objetivos e do tipo de ecossistema segundo Lomas (2009).

O modelado se compõe dos seguintes passos Lomas (2009):

1. A partir dos limites do sistema se definem as principais entradas e saídas de energia do mesmo, e se classificam segundo sua natureza (biogeofísica, económica, humana), de esquerda à direita em ordem de transformidade crescente ao redor do símbolo de limites do sistema.
2. Definem-se os componentes internos do sistema e suas relações tanto com as entradas e saídas de matéria e energia como entre eles, tomando cuidado de implicar todos os elementos do sistema que regulam os processos que constituem o funcionamento do mesmo. Coloca-se sob o mesmo critério que no anterior ponto.
3. Incluem-se os fluxos de dinheiro correspondente ao uso económico que possam ter alguns fluxos do sistema, assim como as entradas de dinheiro que movem alguns dos componentes socioeconómicos do mesmo.
4. Inclui-se a degradação correspondente à segunda lei da termodinâmica.
5. Simplifica-se o diagrama segundo os objetivos do estudo mediante uma agregação de categorias ao nível de detalhe que se queira realizar.

Construção das tabelas emergéticas.

Partindo do balanço energético se procede à construção da tabela emergética. Como se mostra na tabela 1, esta apresenta a ordem de cada um dos fluxos e sua origem na primeira coluna. Logo a segunda mostra o nome de ditos fluxos, a terceira o valor proporcionado pelos cálculos de cada fluxo, na quarta coluna figuram suas unidades correspondentes.

A quinta-coluna se refere a energia por unidade (transformidade ou energia específica), que converte os valores da terceira coluna aos valores da sexta coluna, levando todos os valores a uma mesma unidade de medida, energia-a.

Tabela 1.

Exemplo típico de uma tabela emergética.

Nota	Item	Dados	Unidade	Transformidade (seJ/unidade)	Energia Solar (seJ/ano).
1	Item 1	xx.x	J/ano	xxx.x	E_{m1}
2	Item 2	xx.x	g/ano	xxx.x	E_{m2}
.....
.....
n.	Enésimo Item.	xx.x	J ou G/ano	xxx.x	E_{mn}

y	y-ésimo produto	xx.x	$\sum_n^i \frac{E_{mi}}{xx.x}$	$\sum_n^1 E_{mi}$
---	--------------------	------	-------	--------------------------------	-------------------

Fonte: Lomas (2009).

Das equações 2.13 até a 2.19 permitem calcular os totais dos recursos renováveis (R), não renováveis (N) e estes compreendem os recursos da natureza (I), além dos materiais da economia (M), os serviços da economia, que a sua vez compreendem adquirir-los da economia (F).

$$R = \sum_{i=1}^n \text{Recursos renováveis} \quad (1)$$

$$N = \sum_{i=1}^n \text{Recursos não renováveis} \quad (2)$$

$$M = \sum_{i=1}^n \text{materiais da economia} \quad (3)$$

$$S = \sum_{i=1}^n \text{serviços da economia} \quad (4)$$

$$I=R+N \quad (5)$$

$$F=M+S \quad (6)$$

$$Y=I+F \quad (7)$$

Cálculo dos indicadores

Como se declarou anteriormente a análise emergética classifica as entradas do sistema em recursos renováveis (R), não renováveis (N), materiais da economia (M) e serviços da economia (F). Isto permite o cálculo de uma série de índices que brindam informação sobre diversas características do sistema, permite estabelecer comparações entre vários cenários para a gestão dos mesmos, assim como a comparação entre diversos sistemas. Continuando, mostram-se estes indicadores detalhadamente.

A transformicidade (Tr) expressa a quantidade de recursos necessários para a obtenção de um produto específico tal e como declaram Sánchez e García (2016).

É a relação entre a emergia total que ingressa no sistema (Y) e a emergia dos produtos que saem (Ep), sua unidade é em se J. Este índice revela uma qualidade do sistema, quanto maior (Tr) mais emergia-se requer para gerar produtos.

Pode interpretar-se como o valor inverso da eficiência de uma agroecossistema (Y), que é emergia incorporada pelo sistema e (E) energia do recurso como explicam Aguilar (2014), Alejandre e Espinosa (2015). Na equação 2.20 se apresenta a determinação da transformidade.

$$T_r = \frac{Y}{E_p} \quad (8)$$

A emergia específica se define como a emergia total (Y) por unidade de massa dos produtos de saída (P) por isso sua unidade é usualmente seJ/g. Como a energia é requerida para concentrar os materiais esta unidade de valor emergético (UEV) incrementa com a concentração das substâncias.

Os elementos e compostos pouco abundantes na natureza, por conseguinte têm uma emergia específica maior quando se encontram concentrados dado que mais trabalho foi requerido para concentrá-los, espacial e quimicamente confirma Brown (2014).

Esta emergia específica pode ser obtida a partir da equação 2.21.

$$E_m = \frac{Y}{P} \quad (9)$$

A razão de renovabilidade avalia a sustentabilidade do sistema de produção, está definido como a relação entre o conteúdo de emergia dos recursos renováveis (R) dividido pelo total de emergia usada para obter o produto (Y) e se expressa em percentagem. Daqui se deduz que os sistemas naturais terão valores altos de renovabilidade, enquanto que valores baixos de renovabilidade indicam maior uso de recursos naturais não renováveis para a obtenção do produto segundo Sánchez e García (2016).

Portanto, reflete alguns aspectos da sustentabilidade de um sistema ou sua habilidade de ser movida por recursos renováveis locais devido a que só os processos com um alto rendimento (% R) são ecologicamente sustentáveis. Este índice se determina pela equação 2.22.

$$\% R = \frac{R}{Y} \times 100 \quad (10)$$

A razão de eficiência energética é uma medida da habilidade do processo para explorar e fazer disponível os recursos naturais pelo investimento externo. Provê uma olhar ao processo de uma perspectiva diferente já que analisa a apropriação dos recursos locais o que se interpreta como uma contribuição adicional à economia.

O valor menor possível do EYR é um, que indica que um processo entrega a mesma quantidade de energia que foi provida para sua operação pelo que não foi capaz de explorar recursos naturais. Por conseguinte, processos com o EYR iguais a um ou ligeiramente superior não retroalimentam à economia significativamente em termos energéticos e só transformam recursos que estavam disponíveis de processos prévios pelo que, ao fazer isto atuam mais como processos consumidores que como processos criadores de oportunidades para o crescimento do sistema segundo Brown (2014).

A equação 2.23 mostra a maneira de calcular este índice.

$$EYR = \frac{R+N+F}{F} \quad (11)$$

A razão de carga ambiental é a relação entre a soma dos recursos não-renováveis da natureza (N) e os da economia (F) pelos recursos renováveis da natureza (R), é adimensional. Quando o valor do índice é alto, maior será o impacto ambiental do sistema.

Também indica que os custos de produção são mais altos, e pelo que seu preço final se incrementasse, fazendo que o produto ou zonas produtoras sejam menos competitivos no mercado com uma relação de carga ambiental mais baixa conta Aguilar (2014).

Este índice é alto para sistemas com altas entradas não renováveis ou com altas emissões ao ambiente e aqueles processos muito tecnológicos, segundo a opinião de Cano (2022).

Mediante a equação 12 se pode obter este indicador.

$$ELR = \frac{N+F}{R} \quad (12)$$

Se o ELR e o EYR se combinam se cria um índice de sustentabilidade sendo uma medida da potencial contribuição do sistema (EYR) por unidade de carga imposta ao sistema local (ELR). Este indicador (ESI) é útil para medir a abertura e as mudanças de cargas ocorridas através do tempo em processos tecnológicos e economias segundo Brown (2014).

Este índice se determina usando a equação 13.

$$ESI = \frac{EYR}{ELR} \quad (13)$$

Método energético

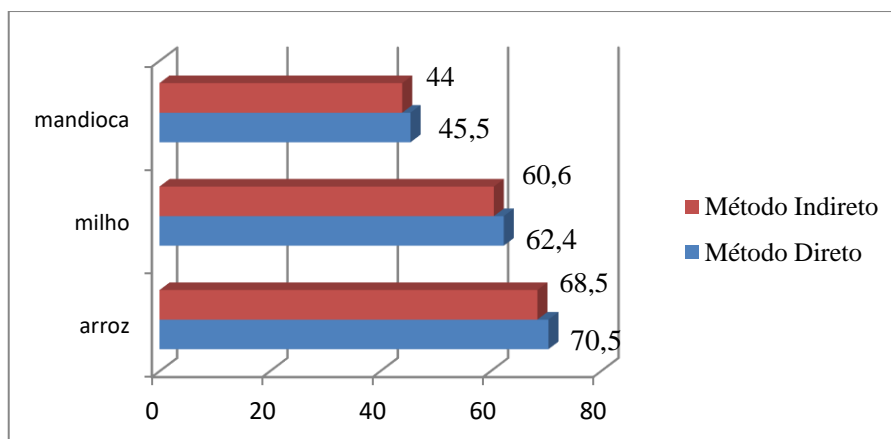
Para esta análise se requer de um procedimento a realizar em vários passos, partindo inicialmente da determinação do poder calórico para as distintas variantes utilizadas. Depois se efetuam os cálculos para obter os volumes teóricos dos produtos de a combustão completa e do ar para os combustíveis. Procede-se a achar as características equivalentes para o conteúdo de cinza dos combustíveis e posteriormente se determina o coeficiente de excesso de ar à saída do aterro sanitário.

Seguidamente se acham as entalpias específicas da combustão e do ar, continuando com as entalpias dos gases de saída e do ar frio. Finalmente calculam-se as perdas mediante a combustão e se chega à determinação da eficiência energética tanto pelo método direto como o indireto, como se expressa na figura 4 e tabela 2.

O balanço energético apresentou que a eficiência calculada pelo método direto é maior que a calculada pelo método indireto, já que esta última toma em consideração um número de perdas. Os valores mais baixos de eficiência, representa-os a variante da mandioca com um 44% por o método indireto e com um 45,5% pelo método direto o valor mais alto os representa a variante do arroz 3 com um 68,50% e 70,50% respetivamente.

Figura 4.

Valores de eficiência energética por ambos os métodos em % das distintas biomassas.

**Tabela 2.**

Valores segundo tipo de método.

Variante	Método direto Eficiência Energética %	Método indireto Eficiência Energética %
Arroz	70,50	68,50
Milho	62,40	60,60
Mandioca	45,50	44

Método exerético

Para a análise exerética o procedimento se compreende primeiro, a determinação das entalpias e entropias das entradas e saídas. Seguido a este passo se calcula e se obtêm as exergias específicas para logo achar as exergias de entrada e saída. Finalmente se determinam as perdas e a eficiência exerética. Na tabela 3 se mostram os valores de eficiência das variantes avaliadas.

Tabela 3.

Valores de perdas de eficiência exeréticas das variantes avaliadas.

Variante	Eficiência exerética %
Arroz	30,50
Milho	24,70
Mandioca	14,60

Como se pode observar na tabela 3.2 o valor mais baixo de eficiência exerética o apresenta a variante da mandioca com um 14,60%, entretanto, a variante do arroz apresenta o valor mais alto de eficiência exerética de um 30,50%.

Análise emergético

Nesta secção se apresentam os resultados do balanço emergético, para o tempo de simulação se tomou um período de um ano. Partindo do diagrama emergético no que se expõem as entradas e saídas do processo da figura 5, os dados da bibliografia e utilizando as diferentes transformidades que a mesma oferece, (ver o anexo) se procede à construção da tabela emergética para a variante do milho, tabela 4.

Figura 5.

Esquema emergético.

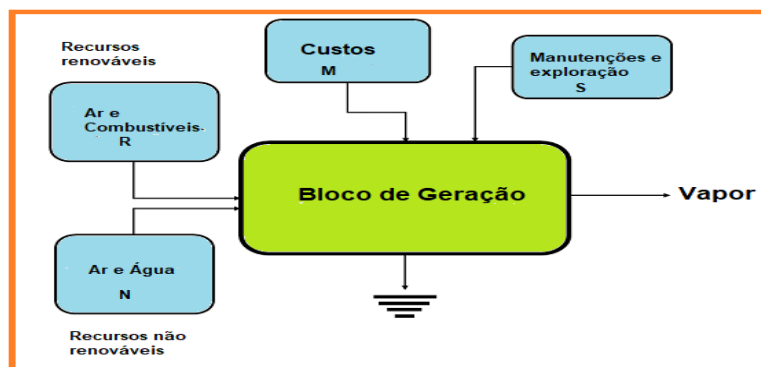
**Tabela 4.**

Tabela emergética para a variante 100% resíduos de milho.

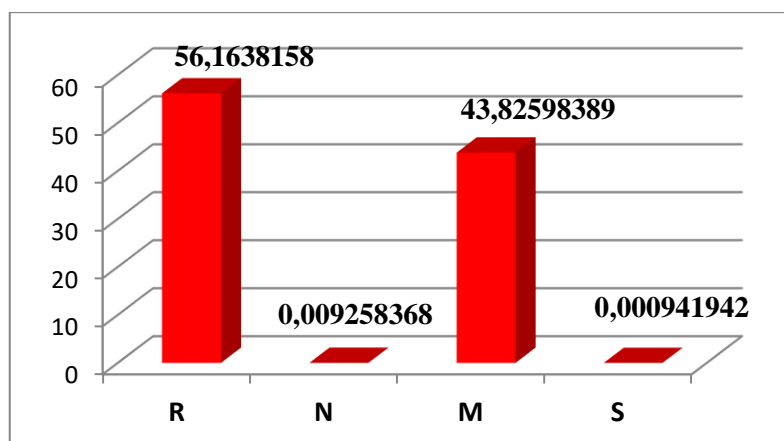
Item	Fluxos	Unidade	Tranformicidade (seJ/unidade)	Emergia (seJ/ano).
Renováveis R	-----	-----	-----	2,20103E+21
Ar	3,0569E+14	J/ano	9,8200E+02	3,00188E+17
Resíduos de milho.	2,3044E+11	g/ano	9,5501E+09	2,20073E+21
Não renováveis N	-----	-----	-----	3,6283E+17
Ar	3,99177E+13	J/ano	9,8200E+02	3,91992E+16
Água	5,964E+11	g/ano	5,4264E+05	3,2363E+17
Custos M	-----	-----	-----	1,71751E+21
Custos da Biomassa.	3,733128E+08	Akz/ano	4,6000E+12	1,71724E+21
Custos da Água.	5,964E+04	Akz/ano	4,6000E+12	2,74344E+17
Serviços da economia. S	-----	-----	-----	3,69141E+16
Manutenção.	3,00E+02	Akz/ano	4,6000E+12	1,38E+15
Exploração.	9,04176E+09	J/ano	3,9300E+06	3,55341E+16
Emergia. Total (Y)	-----	-----	-----	3,91894E+21

Na tabela anterior se pode apreciar que o maior fluxo emergético provém dos recursos renováveis (2,20103E+21 seJ/ano) representando o 56,16% da emergia total, enquanto que a menor emergia é a que contribuem os serviços da economia (3,69141E+16 seJ/ano) e representa só o 0,00094%.

Na figura 6 se pode ver a relação percentual das quatro categorias analisadas onde os recursos renováveis representam o maior contributo emergético e os serviços da economia o menor, este sob valor está dado principalmente porque o sistema é capaz de produzir a maior parte da eletricidade que necessita que se gerasse a diferença de outros processos.

Figura 6.

Proporção da energia total por categoria. Variante 100% resíduos de milho.



R – Renováveis, N – Não renováveis, M – Custos, S – Manutenção e exploração.

Para determinar a energia específica se utilizou a segunda regra da álgebra energética, a qual expõe que para um processo em estado estável, todos os fluxos energéticos de entrada são atribuídos aos fluxos de saída; quando há mais de uma saída (co-produtos) do processo cada uma contribui o total de fluxo energético de entrada do processo.

Embora as transformidades e demais unidades de valor energéticas são diferentes para cada uma destas correntes; quando uma saída se divide em dois ou mais correntes do mesmo tipo, o fluxo energético é dividido em cada corrente apoiado na fração do total de energia ou fluxo de materiais da corrente; por conseguinte, a transformidade e a energia específica é a mesma para cada uma das separações e a energia dos fluxos de *feedback* não podem ser contadas posto que de somar-se algebricamente daria uma energia maior que a da fonte da que foram derivadas. A tabela 5 mostra a tabela energética para o caso da variante dos resíduos de mandioca.

Tabela 5.

Tabela energética para a variante 100% resíduos de mandioca.

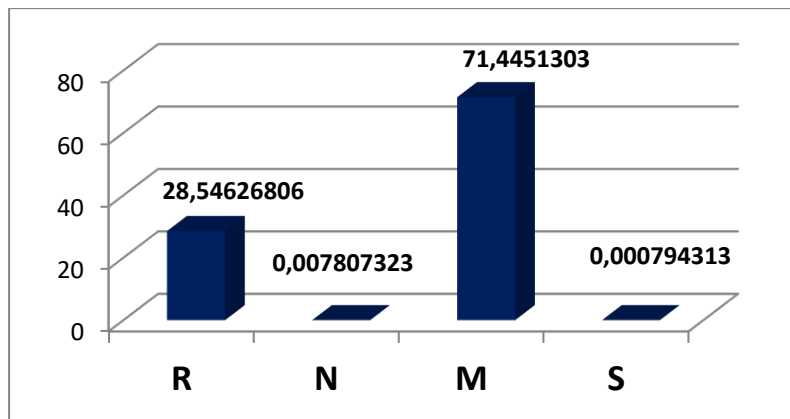
Item	Fluxos	Unidade	Transformicidade (seJ/unidade)	Energia (seJ/ano).
Renováveis R	-----	-----	-----	1,32663E+21
Ar	4,44992E+14	J/ano	9,8200E+02	4,36982E+17
Resíduos de mandioca.	1,1522E+11	g/ano	9,5501E+09	1,10036E+21
Não renováveis N	-----	-----	-----	3,6283E+17
Ar	3,99177E+13	J/ano	9,8200E+02	3,91992E+16
Água	5,964E+11	g/ano	5,4264E+05	3,2363E+17
Custos M	-----	-----	-----	3,32027E+21
Custos da Biomassa.	1,866564E+08	Akz/ano	4,6000E+12	8,58619E+20
Custos da Água.	5,964E+04	Akz/ano	4,600E+12	2,74344E+17
Serviços da economia. S	-----	-----	-----	3,69141E+16
Manutenção.	3,00E+02	Akz/ano	4,600E+12	1,38E+15
Exploração.	9,04176E+09	J/ano	3,9300E+06	3,55341E+16
Energia. Total (Y)	-----	-----	-----	4,6473E+21

Na tabela 5 se evidencia que o maior fluxo energético corresponde aos custos da economia (3,32027E+21 seJ/ano) representando o 71,44% da energia total, enquanto que a menor energia é a contribuída pelos serviços da economia (3,69141E+16 seJ/ano) que representa o 0,00079%.

A figura 7 expressa a relação percentual das quatro categorias analisadas onde os custos da economia representam o maior contributo energético, o qual é compreensível, já que terá que considerar os custos de recolhimento e transportação, tudo isto faz que esta corrente seja superior que para o caso anterior onde os recursos naturais foram superiores.

Figura 7.

Proporção da energia total por categoria. Variante 100% resíduos de mandioca.



R – Renováveis, N – Não renováveis, M – Custos, S – Manutenção e exploração.

No caso da variante do arroz, os resultados aparecem na tabela 6.

Tabela 6.

Tabela energética para a variante 100% resíduos de arroz.

Item	Fluxos	Unidade	Transformicidade (seJ/unidade)	Energia (seJ/ano)
Renováveis R	-----	-----	-----	8,65447E+17
Ar	4,49201E+14	J/ano	9,8200E+02	4,41116E+17
Resíduos de de arroz.	56000000000	g/ano	7,5773E+067	4,24332E+17
Não renováveis N	-----	-----	-----	3,6283E+17
Ar	3,99177E+13	J/ano	9,8200E+02	3,91992E+16
Água	5,964E+11	g/ano	5,4264E+05	3,2363E+17
Custos M	-----	-----	-----	2,74348E+17
Custos da Biomassa.	0,784	Akz/ano	4,6000E+12	3,6064E+12
Custos da Água.	59640	Akz/ano	4,600E+12	2,74344E+17
Serviços da economia. S	-----	-----	-----	3,69141E+16
Manutenção.	300000	Akz/ano	4,6000E+12	1,38E+15
Exploração.	9,04176E+09	J/ano	3,9300E+06	3,55341E+16
Energia. Total (Y)	-----	-----	-----	1,53954E+18

Na tabela 7 se aprecia que o maior fluxo energético corresponde aos recursos renováveis (8,65447E+17 seJ/ano) representando o 56,21% da energia total, enquanto que a menor energia é a contribuída dos custos da economia (3,69141E+16 seJ/ano) e representa o 2,39%.

A figura 8 apresenta a relação percentual das quatro categorias analisadas onde os recursos renováveis representam o maior contributo emergético, o contributo emergético dos serviços da economia, ao igual a em análise da variante do milho, foi inferior seu valor, e como se considera nesse caso, este está dado porque o sistema é capaz de produzir a maior parte da eletricidade que necessita, a diferença de outros processos.

Figura 8.

Proporção da energia total por categoria. Variante 100% resíduos de arroz.

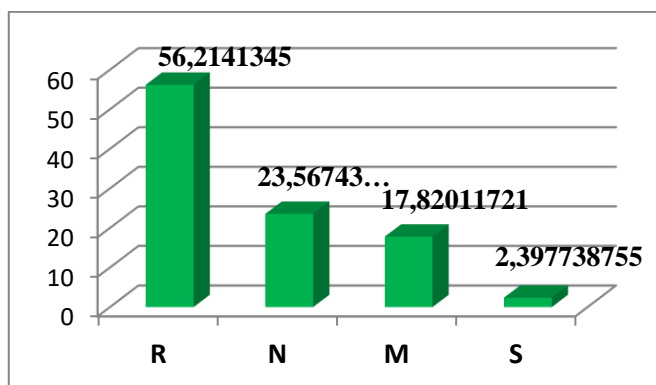


Tabela 7.

Índices emergéticos.

Variante	Renovabilidade (R)	Eficiência emergética (EYR)	Carga ambiental (ELR)	Índice de sustentabilidade emergética (ESI)
Arroz	56,21	4,94	0,77	6,35
Milho	56,16	2,28	0,78	2,92
Mandioca	28,54	1,39	2,50	0,55

No caso da variante do milho se pode observar que a razão de renovabilidade (%R=56,16) e a razão de eficiência emergética (EYR=2,28) indicam que o processo explora moderadamente os recursos naturais locais.

O valor maior que manifesta é que aproximadamente por cada unidade em energia investida da economia se obtém uma unidade de energia da natureza e que esta alternativa é sustentável. Por outra parte, o valor da razão de carga ambiental (ELR < 2) indica que o impacto ambiental não é tão grande em comparação com outros processos e se deve valorar o impacto existente tendo em conta as áreas vizinhas.

Apesar do anterior o índice de sustentabilidade emergética (ESI) indica que em longo prazo o sistema não é sustentável por si mesmo (ESI < 5). Não obstante, o valor obtido (ESI=2,92) dá uma medida que o sistema contribui moderadamente à economia criando oportunidades para o desenvolvimento local. Ao analisar o caso da variante da mandioca se pode advertir que a razão de renovabilidade (%R=28,54) e a razão de eficiência emergética (EYR=1,39) indicam que o processo explora moderadamente os recursos naturais locais. O alto valor da carga ambiental (ELR > 2) indica que o impacto ambiental é elevado.

O índice de sustentabilidade emergética (ESI < 5) indica que o sistema não é sustentável a longo prazo.

A análise dos indicadores emergéticos na variante dos resíduos de arroz expõe que a razão de renovabilidade (%R=56,21) e a razão de eficiência emergética (EYR=4,94) indicam que os recursos naturais locais são explorados moderadamente durante o processo.

O impacto ambiental não é tão grande em comparação com outros processos devido ao baixo valor da razão de carga ambiental (ELR=0,77) e se deve valorar o impacto existente tendo em conta as áreas vizinhas. Além do anterior o índice de sustentabilidade emergética (ESI) indica que a longo prazo o sistema é sustentável por si mesmo (ESI > 5).

CONCLUSÕES

A revisão bibliográfica destaca a importância da avaliação multicritérios de diversos estudos os quais incorporam indicadores de sustentabilidade para a avaliação do potencial de aproveitamento da biomassa.

A metodologia proposta demonstrou ser uma guia para a gestão e desenvolvimento sustentável das diferentes biomassas analisadas mediante a aplicação dos métodos (energético, exergético e emergético) para ter uma melhor informação das alternativas de combustão das biomassas analisadas.

O cálculo dos indicadores emergéticos determinou que a variante do arroz com renovabilidade de (%R = 56,21), eficiência emergética (EYR = 4,9461) indicam que os recursos naturais locais são explorados moderadamente durante o processo.

O impacto ambiental é pequeno em comparação com os outros processos devido ao baixo valor da carga ambiental (ELR = 0,7788) e se deve valorar o impacto existente tendo em conta as áreas vizinhas. Além do anterior o índice de sustentabilidade emergética (ESI) indica que em longo prazo o sistema é sustentável por si mesmo (ESI > 5).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agenda 2030. *Os Objectivos de Desenvolvimento Sustentável uma Oportunidade para América Latina e o Caribe*. Disponível em: <https://repositorio.cepal.org>. Acesso: outubro de 2023.
- Aguilar, A. (2014). *Aponte sobre a revalorização dos resíduos agrícolas da cana. Tecnologias de preparação*. ICIDCA. Sobre os Derivados do Cana de Açúcar. 48(2), 50 - 55. Disponível em: <http://www.revista.icidca.azcuba.cu>. Acesso: outubro de 2023.
- Barber, C. M. (2009). *¿Sustentabilidade o Sustentabilidade?* Disponível em: <http://www.cnnexpansion.com/actualidad/2009/05/22/sustentabilidade-o-sustentabilidade/>. Acesso: Outubro de 2023.
- Brown, M. (2014). *Emergy Analysis and Environmental Accounting*. In: *Encyclopedia of Energy* (pp. 329-354). Elsevier. Disponível em: www.elsevier.com. Acesso: outubro de 2023.
- Cadernos ODS. Disponível em: <https://www.academia.edu/>. Acesso: outubro de 2023.
- Cano, N. A. (2022). *Análise mediante o método emergético da disposição dos lodos produzidos em uma planta de tratamento de águas residuais. (Aplicação a uma PTAR na Área Metropolitana do Vale do Aburrá)*. Escola do Geociencias e Médio Ambiente. Disponível em: www.minas.medellin.unal.edu.co. Acesso: outubro de 2023.
- Davidssdottir, B., Basoli, D. A., Fredericks, S., Lafitte, E. C. (2007). *A Sustainability Assessment Framework*. Disponível em: www.rafhladan.is. Acesso: outubro de 2023.
- Dincer, I., e Rosen, M. (2007). *Exergy*. Energy Environment and Sustainable Development. United States: Elsevier. Disponível em: www.elsevier.com. Acesso: outubro de 2023.
- Frómeta Carbó, Y. (2010). *Diagnóstico energético dos geradores de vapor do Complexo Agroindustrial Dois Rios*. Instituto Superior Mineiro Metalúrgico Dr. Antonio Núñez Jiménez. Moa. Disponível em: <https://www.ismm.edu.cu>. Acesso: outubro de 2023.
- García, C. A., Ramírez, T. A., e Sánchez, J. M. (2003). *O Desenvolvimento Sustentável: Interpretação e Análise*. Em *REVISTA DO CENTRO DE INVESTIGAÇÃO*, Vol. 6, Núm. 21, México: Universidade A Salle. Disponível em: <https://www.lasallebajito.mx>. Acesso: outubro de 2023.
- Golato, M. A., Franck, F. J., Aso, G., Correa, C. A., e Paz, D. (2008). Metodologia de cálculo da eficiência térmica de geradores de vapor. *REV. INDÚSTRIA E AGRICULTURA DE TUCUMÁN*, 85 (2), 17 - 31. Disponível em: <https://www.tucumam.gob.ar>. Acesso: outubro de 2023.

- Hernández, J. R., Acosta, R., Barbosa, G. R., Aguilar, J.O., Chargoy, M. A., e Quinto, P. (2016). *Indicadores de Desenvolvimento Energético Sustentável*. Caso: Quintana Rôo, México Quivera, vol. 18, núm. 2, julho-dezembro, 2016, pp. 111-129. Universidad Autónoma do Estado do México Toluca, México. Disponível em: <https://miar.ub.edu>. Acesso: outubro de 2023.
- Indicadores Energéticos do Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: <https://www-pub.iaea.org>. Acesso: outubro de 2023.
- IRSE. Instituto Regulador do Sistema Eléctrico de Angola. Disponível em: www.irse.gov.ao. Acesso: junho de 2023.
- Jiménez, B., Bastida, L., Pérez, G., e García, C. (2017). *Metodologia para a estimativa do potencial de Biomassa no Cienfuegos com fins energéticos*. Universidade de Cienfuegos. Cuba. Disponível em: www.ucf.edu.cu. Acesso: setembro de 2023.
- Lomas, P. P. (2009). *Contribuições da Síntese Emergética à Avaliação Multi-Escalar do emprego dos Serviços dos Ecossistemas através de casos de estudo*. TESE DOUTORAL. Madrid: Universidade Autónoma de Madrid. Disponível em: www.uam.es. Acesso: Outubro de 2023.
- López, D. (2013). *Avaliação de origem vegetal mediante processos térmicos e termoquímicos*. Universidade Castilla da Mancha. Faculdade de Ciências e Tecnologias Químicas. Departamento de Engenharia Química. Ciuda Real. julho de 2013. Disponível em: www.uclm.es. Acesso: outubro de 2023.
- Lund, H., Duic, N., Krajacic, G. e da Graça Carvalho, M. (2007). *Two Energy Systems Analysis Models. A Comparison of Methodologies and Results*. In: *ENERGY*, Vol. 32, núm. 6, Ámsterdã: Elsevier. Disponível em: www.elsevier.com. Acesso: outubro de 2023.
- Machín, L. R., Glean, D. B., Bermúdez, R. P., e Pérez, L. A. (2012). Métodos de estimativa da biomassa potencial. Disponível em: www.portaljuridicoangola.com. Acesso: outubro de 2023.
- Matías, J. (2022). *Valorização do resíduo do cultivo de arroz*. Entrevista ao (CICYTEX). Disponível em: www.cicytex.juntaex.es. Acesso: outubro de 2023.
- Mendizábal, S. M. (2014). *Análise e Interpretação de Indicadores Energéticos para o Desenvolvimento Sustentável de Guatemala*. Disponível em: www.biblioteca.olade.org. Acesso: outubro de 2023.
- Montero Peña, J. M. (2006). *Surgimento e Auge do Conceito Desenvolvimento Sustentável*. Disponível em: www.researchgate.net. Acesso: outubro de 2023.
- Narula, K., e Sudhakara R. B. (2016). *A SES (Sustainable Energy Security) Index for Developing Countries*. In: *ENERGY*, Vol. 94. Ámsterdã: *ELSERVIER*. Disponível em: www.ideas.repec.org. Acesso: outubro de 2023.
- Odum, H. T. (1996). *Environmental Accounting (Emergy and Environmental Decision Making)*. John Wiley & Sons. Disponível em: www.onlinelibrary.com. Acesso: outubro de 2023.
- OIEA, UNDESA, AIE, Eurostat, AEMA. (2008). *Indicadores Energéticos para o Desenvolvimento Sustentável: Directrizes e Métodos*. Organismo Internacional de Energia Atômica, Departamento de Assuntos Económicos e Sociais de Nações Unidas, Agência Internacional de Energia, Escritório Europeu de Estatística das Comunidades Europeias, Agência Europeia de Meio Ambiente. Viena: OIEA. Disponível em: www.iaea.org. Acesso: julho de 2023.
- Ortiz Calderón, J. F. (2015). *A Contribuição das Energias Renováveis ao Desenvolvimento Económico Social e Meio-ambiental*. Universidade de Extremadura. TESE DE DOUTORADO. Disponível em: www.dehesa.unex.es. Acesso: dezembro de 2023.
- Patlitzianas, K. D., Doukas H., Kagiannas, A. G. e Psarras, J. (2008). *Sustainable Energy Policy Indicators: Review and recommendations*. In: *RENEWABLE ENERGY*, Vol. 33, núm. 5. Disponível em: www.discover.selinc.com. Acesso: dezembro de 2023.
- Pérez, J. (2021). *Processo de gaseificação de biomassa: Uma revisão de estudos teóricos experimentais*. Rev. *FACULDADE DE ENGENHARIAS*. Universidade da Antioquia N.º 52 pp. 95-107. Março, 2021. Disponível em: <https://www.udea.edu.co>. Acesso: outubro de 2023.

- Relatório Brundtland. (1987). *Relatório da Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento*. Disponível em: <http://www.ecominga.uqam.ca>. Acesso: outubro de 2023.
- Rosa, V. H. (2007). *Energia Eléctrica Renovável em Pequenas Comunidades no Brasil: Em Busca de um Modelo Sustentável*. Disponível em: www.bdtb.ibict.br. Acesso: outubro de 2023.
- Sánchez, V., e García, J. A. O. (2016). *Análise emergético do policultivo de cachama branca (Piaractus brachipomus) e bocachico (Prochilodus sp.) na estação Vai, município do Doncello-Caquetá-a Colômbia*. MOMENTOS DE CIÊNCIA, 3(2). 6. Disponível em: www.corpoamaonia.go.co. Acesso: outubro de 2023.
- Vera, I., Langlois, L., e Rogner, H. (2005). *Indicartors for Sustainable Energy Development: An initiative by the International Atomic Energy Agency*. Vienna: International Atomic Energy Agency. Disponível em: www.iaea.org. Acesso: outubro de 2023.
- Vera, I., e Langlois, L. (2007). *Energy Indicators for Sustainability Development*. Em: *Energy*, Vol. 32, núm. 6, Ámsterdam: ELSEVIER. Disponível em: www.scrip.org. Acesso: outubro de 2023.
- Wang, J. Y., XU, H., Zhang, H., e Tay, J.H. (2020). *Semi-continuous anaerobic digestion of food waste using a hybrid anaerobic solid-liquid bioreactor*. WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY. 48 (4): 169-174. Disponível em: www.iwaponline.com. Acesso: outubro de 2023.

Síntesis curricular dos autores

Eng. Paulo Bunga Cabocolo. Licenciado em Engenharia Eletromecânica. Trabalha na Instituição de Aproveitamento hidroelétrica de Chicapa-1, na cidade de Saurimo, na província Lunda Sul. Angola.

Ph.D. Yamilé Mesa Barrera. Docente de Educação Superior da Faculdade de Construção da Universidade de Oriente, Cuba. Professora Titular. Doutora em Ciências Pedagógicas. Mestre em Pedagogia Profissional. Licenciada em Educação Construção. Professora em colaboração do Instituto Politécnico de Saurimo. Universidade Lueji A'Nkonde. Lunda Sul. Angola.

MSc. Franklyn González Segura. Mestre em Ciências Técnica. Docente de Educação Superior da Faculdade de Engenharia da Universidade de Holguín, Cuba. Com categoria docente de Professor Auxiliar. Professor em colaboração do Instituto Politécnico de Saurimo. Universidade Lueji A'Nkonde. Lunda Sul. Angola.