



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENERGIA NUCLEAR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS ENERGÉTICAS E
NUCLEARES

JÉSSICA BÁRBARA DA SILVA

**BALANÇO ENERGÉTICO NA PRODUÇÃO DE BIOMASSA DE PALMA
FORRAGEIRA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Recife

2022

JÉSSICA BÁRBARA DA SILVA

**BALANÇO ENERGÉTICO NA PRODUÇÃO DE BIOMASSA DE PALMA
FORRAGEIRA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Dissertação Apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Tecnologias Energéticas e Nucleares. Área de Concentração: Fontes Renováveis de Energia.

Área de concentração: Fontes Renováveis de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Emmanuel Damilano Dutra.

Coorientador: Prof. Dr. Aldo Torres Sales.

Recife

2022

Catálogo na fonte
Bibliotecário Gabriel Luz CRB-4/2222

S586b Silva, Jéssica Bárbara da.
Balanço energético na produção de biomassa de palma forrageira no semiárido brasileiro / Jéssica Bárbara da Silva. 2022.
70 f.; il., tabs., siglas.

Orientador: Prof. Dr. Emmanuel Damilano Dutra.
Coorientador: Prof. Dr. Aldo Torres Sales.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Pós-graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares,
Recife, 2022.
Inclui referências e apêndices.

1. Tecnologias energéticas e nucleares. 2. eficiência energética. 3. EROI. 4. cultivo. 5. produtividade agrícola. I. Dutra, Emmanuel Damilano (Orientador). II. Sales, Aldo Torres (Coorientador). III. Título.

UFPE

621.042 CDD (22. ed.)

BCTG / 2022-203

JÉSSICA BÁRBARA DA SILVA

**BALANÇO ENERGÉTICO NA PRODUÇÃO DE BIOMASSA DE PALMA
FORRAGEIRA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Dissertação Apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Tecnologias Energéticas e Nucleares. Área de Concentração: Fontes Renováveis de Energia.

Aprovada em: 11/03/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Emmanuel Damilano Dutra (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Rômulo Simões Cezar Menezes (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Vinícius Gonçalves Maciel (Examinador Externo)
Embrapa

Prof. Dr. Antonio Samuel Alves da Silva (Examinador Externo)
Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a UFPE e ao PROTEN pela oportunidade de cursar o mestrado nessa área tão relevante que é das fontes renováveis de energia, em especial a energia da biomassa.

Agradeço a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo financiamento desta pesquisa.

Agradeço a toda atenção, paciência e colaboração do orientador Prof. Dr. Emmanuel Dutra e Prof. Dr. Aldo Sales e no apoio para facilitar a realização desta pesquisa. Além do prof. Dr. Antonio Silva, que deu uma grande ajuda com o software R e análise estatística dos dados.

Agradeço também a grande colaboração do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), em especial ao Dr. Sérvulo Siqueira e Dr. Djalma Santos, bem como a equipe técnica representada por Antônio Carlos, Henrique, Leonardo e Rafael. Em que todos colaboraram fortemente para fornecimentos de informações relevantes do cultivo da instituição, bem como na seleção dos produtores rurais e acompanhamento nas entrevistas.

Os agradecimentos também vão ao Instituto Nacional do Semiárido (INSA), em especial a Dra. Jucilene e ao Dr. Thiago, pela receptividade e por conceder informações relevantes da produção de palma em sua unidade.

E agradeço a todos os produtores rurais que participaram das entrevistas, sua participação foi fundamental para o desenvolvimento desta pesquisa.

RESUMO

O aumento crescente da população, a necessidade de redução das emissões de poluentes atmosféricos e a expansão de terras áridas e semiáridas no mundo, inclusive no Brasil, exigem alternativas de cultivos agrícolas que produzam alimento e biocombustíveis e que sejam resistentes ao clima dessas regiões e a baixa oferta hídrica. Sem contar que essas biomassas precisam apresentar viabilidade econômica e energética favorável em relação ao investimento realizado. Na região semiárida do Brasil as palmas forrageiras são uma alternativa para suprimento de forragem onde vários estudos destacam essa biomassa como fonte potencial para a produção de biocombustíveis. Para verificar a sua viabilidade energética e qual forma de produção seria mais eficiente, foi analisado o balanço energético da palma forrageira em sistemas de produção de baixa (A), média (B) e alta intensidade (C) tecnológica, no Semiárido brasileiro. Foram obtidos, entre abril a agosto de 2021, dados de insumos e processos de manejo de 54 produtores rurais, abrangendo 7 estados do Nordeste (4,0% dos entrevistados são de Alagoas, 4,0% do Ceará, 7,0% da Bahia, 20,0% da Paraíba, 55,5% de Pernambuco, 4,0% do Rio Grande do Norte e 5,5% de Sergipe), equivalendo a 0,043% do total de produtores no país. Com os dados, realizou-se balanços energéticos a partir do método do retorno energético sobre o investimento (EROI). O sistema A teve o menor gasto energético investido ($46.208 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) e a menor produtividade ($204.020 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) com um EROI de 4,42, e o sistema B teve um gasto energético investido cerca de $89.575 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ e uma produtividade média de $322.544 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, resultando no menor EROI (3,60) que fica ainda menor se considerar somente os produtores que adicionaram adubação mineral na produção (3,21), enquanto o sistema C se destacou com o maior gasto energético médio, no valor de $89.682 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ e obteve a maior produtividade energética ($472.147 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$), resultando no maior valor médio de EROI (5,26), cujo retorno energético se torna máximo ao considerar somente os cultivos que utilizam adubação mineral com irrigação (EROI de 6,14), mas também pode reduzir consideravelmente nos casos sem irrigação e sem adubação mineral (EROI de 4,05), tornando-se menor que o sistema A. Verificou-se também, a partir do teste de Kruskal-Wallis e Wilcoxon–Mann–Whitney, que a maior variabilidade do EROI se deu nos cultivos de produtores acima de 65 anos, com nível médio de escolaridade e sistema de cultivo de alta intensidade tecnológica, enquanto que a produtividade também mostrou-se a maior variabilidade

para este sistema. Portanto, o sistema de produção de alta intensidade tecnológica mostrou-se, no geral, o mais eficiente do ponto de vista energético, podendo ser a alternativa mais viável para produção da biomassa em larga escala tanto para produção de forragem como de biocombustíveis. É importante considerar que mesmo com a aplicação de um sistema de produção de baixa intensidade tecnológica, além de ser mais sustentável no âmbito econômico e ambiental, o retorno energético da palma forrageira mostrou-se positivo, sendo de viável acesso ao pequeno produtor rural.

Palavras-chave: eficiência energética; EROI; cultivo; produtividade agrícola.

ABSTRACT

Growing population, the need to reduce emissions of atmospheric pollutants and the expansion of arid and semi-arid lands in the world, including Brazil, require alternative crops that produce food and biofuels which are resistant to the climatic conditions of these regions and low water supply. In the semi-arid region of Brazil, forage palms are an alternative for animal feed supply, also several studies highlight this biomass as a potential raw material for the production of biofuels. In addition, these biomasses need to present favorable economic and energy viability in relation to the investment made. To verify its energy feasibility and determine which form of production is efficient, the energy balance of forage cactus was analyzed in production systems of low (A), medium (B) and high technological intensity (C) in the Brazilian semiarid region. From April to August 2021, data on inputs and management processes were obtained from 54 rural producers, covering 7 states in the Northeast (4.0% in Alagoas, 4.0% in Ceará, 7.0% in Bahia, 20.0% in Paraíba, 55.5% in Pernambuco, 4.0% in Rio Grande do Norte and 5.5% in Sergipe), equivalent to 0.043% of the total of producers in the country. With the data, energy balances were made using the energy return on investment (EROI) method. System A had the lowest invested energy expenditure (46,208 MJ ha⁻¹ year⁻¹) and the lowest productivity (204,020 MJ ha⁻¹ year⁻¹) with an EROI of 4.42, and system B had the energy expenditure invested of about 89,575 MJ ha⁻¹ year⁻¹ and an average productivity of 322,544 MJ ha⁻¹ year⁻¹, resulting in the lowest EROI (3.60) which is even lower if we consider only those that added energy from mineral fertilization in production (3.21), while system C stood out with the highest average energy expenditure, amounting to 89,682 MJ ha⁻¹ year⁻¹ and higher productivity (472,147 MJ ha⁻¹ year⁻¹), resulting in the highest EROI value (5.26), whose energy return increases when considering the system of only those which use mineral fertilization with irrigation (6.14). It was also verified, from the Kruskal-Wallis and Wilcoxon-Mann-Whitney test, that the greatest variability of the EROI was in the crops of producers over 65 years old, with medium level of education and high technological intensity cropping system, while productivity also showed the greatest variability for this system. Hence, the high technological intensity production system proved to be the most efficient from the energy point of view, and may be the most viable alternative for large-scale biomass production for both forage and biofuel production. It is important to consider that even with the

application of a low technological intensity production system, besides being more sustainable in the economic and environmental scope, the energy return of the forage cactus was positive, being of feasible access to small rural producers.

Keywords: energy efficiency; EROI; cultivation; agricultural productivity.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Gráfico 1 –	Disponibilidade energética anual de fontes de biomassa para produção de energia no Nordeste do Brasil em GWh	19
Figura 1 –	Diagrama de fluxo para um sistema agrícola otimizado, baseado na produção de palma forrageira	20
Mapa 1 –	Mapa de ocorrência de plantio de palma forrageira em municípios do Nordeste	24
Figura 2 –	Infestação de cochonilha do carmim na palma forrageira em Arcoverde, PE, com sinais de queda de cladódio e clorose (a), com destaque para as colônias do inseto (b)	28
Figura 3 –	Ataque da cochonilha de escama no clone Orelha de Elefante Mexicana (<i>Opuntia stricta</i> Haw), em Sertânia, PE (a). No mesmo cultivo experimental foram também encontradas joaninhas como predadores da praga (b)	29
Mapa 2 –	Mapa de localização das propriedades produtoras de palma forrageira participantes da pesquisa	34
Figura 4 –	Fotos de entrevistas realizadas com produtores rurais	36
Gráfico 2 –	Proporção de clones de palma forrageira cultivados nas propriedades rurais entrevistadas no semiárido brasileiro	42
Gráfico 3 –	Gráfico de correlação entre a energia retornada sobre o investimento (EROI), os fluxos de entrada e saída de energia, a área plantada, o tempo de plantio, escolaridade e idade dos produtores de palma forrageira no Semiárido brasileiro	48
Gráfico 4 –	Análise de variância pelo teste de Kruskal-Wallis entre a energia retornada sobre o investimento (EROI) e a) os sistemas de manejo de baixo nível tecnológico (A), médio nível tecnológico (B) e alto nível tecnológico (C), b) e do tempo de plantio, c) a idade e d) a escolaridade dos produtores de palma forrageira do Semiárido brasileiro	50

Gráfico 5 –	Gráfico de análise de variância pelo teste de Kruskal-Wallis da energia de produtividade de colheita dos sistemas de cultivo de baixo (A), médio (B) e alto nível tecnológico (C) de palma forrageira	51
-------------	---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Espaçamentos entre cultivos de palma forrageira e densidade total de plantas por hectare	25
Tabela 2 –	Equivalente de energia de cada atividade	37
Tabela 3 –	Uso de maquinários agrícolas (trator e implementos) no sistema de baixa (A), média (B) e alta (C) intensidade tecnológica	43
Tabela 4 –	Comparação entre os valores médios da energia investida (MJ ha ⁻¹ a ⁻¹), da energia produzida na colheita (MJ ha ⁻¹ a ⁻¹) e da energia retornada sobre o investimento (EROI) para a produção de palma forrageira no Semiárido brasileiro nos sistemas de manejo de baixo (A), médio (B) e alto nível tecnológico (C)	45
Tabela 5 –	Comparação entre os valores médios da produtividade e energia retornada sobre o investimento (EROI) dos sistemas de manejo de baixo nível tecnológico (A), médio nível tecnológico (B) com e sem adubação mineral e alto nível tecnológico (C) com ou sem adubação mineral e com ou sem irrigação, de palma forrageira do Semiárido brasileiro	47

LISTA DE SIGLAS

ACV	AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA
ANOVA	ANÁLISE DE VARIÂNCIA
C	CONSUMO DE COMBUSTÍVEL
CAPEX	COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR
CAM	METABOLISMO ÁCIDO DAS CRASSULÁCEAS
E_{AI}	ENERGIA INVESTIDA EM ÁGUA DE IRRIGAÇÃO
E_C	ENERGIA INVESTIDA EM COMBUSTÍVEL
$E_{colheita}$	ENERGIA DA PRODUÇÃO DE BIOMASSA OBTIDA NO PLANTIO
E_E	ENERGIA INVESTIDA EM ELETRICIDADE
E_{EC}	COMBUSTÍVEL EQUIVALENTE EM ENERGIA
E_{ECLA}	EQUIVALENTE EM ENERGIA DOS CLADÓDIOS
E_{EFER}	EQUIVALENTE EM ENERGIA DOS FERTILIZANTES UTILIZADOS
E_{EHER}	EQUIVALENTE EM ENERGIA DOS HERBICIDAS UTILIZADOS
E_{FH}	ENERGIA INVESTIDA EM FERTILIZANTES E HERBICIDAS
E_{LF}	ENERGIA INVESTIDA EM LUBRIFICANTES E FILTROS
E_M	ENERGIA INVESTIDA EM MATERIAIS, MANUFATURA E TRANSPORTE
E_{man}	ENERGIA EQUIVALENTE DE TRABALHO MANUAL
E_{mec}	ENERGIA EQUIVALENTE DE TRABALHO MECÂNICO
E_{MM}	ENERGIA POR UNIDADE DE MASSA DO IMPLEMENTO AGRÍCOLA
E_{MOH}	ENERGIA INVESTIDA EM MÃO DE OBRA HUMANA
E_{MR}	ENERGIA INVESTIDA EM MANUTENÇÃO E REPAROS
E_{MT}	ENERGIA POR UNIDADE DE MASSA DO TRATOR
EROI	ENERGIA DE RETORNO SOBRE O INVESTIMENTO
E_s	ENERGIA INVESTIDA EM SEMENTES
E_T	ENERGIA TOTAL INVESTIDA
GEE	GASES DE EFEITO ESTUFA

H _m	QUANTIDADE DE HORAS UTILIZADAS COM O IMPLEMENTO
H _{MT}	QUANTIDADE TOTAL DE HORAS UTILIZADAS COM O TRATOR
IBGE	INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA
INSA	INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO
IPA	INSTITUTO AGRONÔMICO DE PERNAMBUCO
M _C	MASSA DE CLADÓDIOS DE PALMA PLANTADOS
M _F	MASSA UTILIZADA DE FERTILIZANTE
M _M	MASSA DO IMPLEMENTO AGRÍCOLA
MV	MATÉRIA VERDE
MS	MATÉRIA SECA
M _T	MASSA DO TRATOR
ODS	OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
ONU	ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS
PCI	PODER CALORÍFICO INFERIOR
PNPB	PROGRAMA NACIONAL DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL
RENOVABIO	POLÍTICA NACIONAL DE BIOCOMBUSTÍVEIS
SEBRAE	SERVIÇO DE APOIO À PEQUENA E MÉDIA EMPRESA
T _{man}	HORAS DE TRABALHO MANUAL POR HECTARE EM UM ANO
T _{mec}	HORAS DE TRABALHO MECÂNICO POR HECTARE EM UM ANO
t _{MS}	TONELADA DE MATÉRIA SECA
V _H	VOLUME UTILIZADO DE HERBICIDAS
V _M	VIDA ÚTIL DO IMPLEMENTO
V _T	VIDA ÚTIL DO TRATOR

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVO GERAL E ESPECÍFICOS	17
2	REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1	BIOMASSA COMO FONTE DE ENERGIA EM REGIÕES SEMIÁRIDAS.	18
2.2	PALMAS FORRAGEIRAS	21
2.2.1	Breve histórico	21
2.2.2	Características morfo-fisiológicas da palma	22
2.2.3	Plantio, manejo e produtividade da palma forrageira	23
2.3	PENSAMENTO DO CICLO DE VIDA	30
2.4	ANÁLISE ENERGÉTICA DE SISTEMAS AGRÍCOLAS	31
3	MATERIAIS E MÉTODOS	34
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	34
3.2	DADOS PRIMÁRIOS – QUESTIONÁRIO E VISITA DE CAMPO	35
3.3	ANÁLISE DO BALANÇO ENERGÉTICO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO.	36
3.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA	41
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
	REFERÊNCIAS	54
	APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO SEMIESTRUTURADO PARA O ESTUDO DO BALANÇO ENERGÉTICO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO DA PALMA FORRAGEIRA.....	64
	APÊNDICE B – RESUMO GRÁFICO.....	70

1 INTRODUÇÃO

Um dos principais objetivos da Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), instituída pela Lei nº 13.576/2017, é promover a expansão da produção e uso de biocombustíveis na matriz energética brasileira, em prol da redução da emissão de poluentes atmosféricos ocasionada pelo uso de combustíveis fósseis e auxiliar na redução e controle das mudanças climáticas (BRASIL, 2017). Dentre os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU, 2016), o objetivo 7 descreve que se deve promover o acesso confiável, sustentável e a preço acessível à energia para todos.

As mudanças climáticas podem promover o aumento da extensão e do grau de aridez das terras secas em todo o mundo, principalmente em países em desenvolvimento (ABEL et al., 2020). O desenvolvimento de cadeias de produção de biocombustíveis nestas regiões pode ser uma forma para tornar essas áreas socioeconomicamente viáveis, porém requer a utilização de plantas adaptadas às condições de solo e clima local.

Na vasta região do Semiárido brasileiro, a produção de biocombustíveis ainda é um desafio. Esta região caracteriza-se pela baixa disponibilidade hídrica, limitando as possibilidades de cultivo das plantas usualmente empregadas na produção de biocombustíveis, como cana-de-açúcar, milho e soja (SANTOS et al, 2016). As palmas forrageiras, largamente utilizada para produção de forragem para alimentação animal na região semiárida brasileira, devido ao seu elevado uso eficiente da água é reconhecida como potencial fonte de biomassa para produção de biocombustíveis (RAMÍREZ-ARPIDE et al, 2018). O potencial da palma em produzir etanol por meio de hidrólise e fermentação foi comprovado por Kuloyo, James & Garci (2014) e Santos et al (2016) verificaram também uma produção de biogás de 3.717 m³ ha⁻¹, a partir das espécies *O. ficus-indica* (L.) Mill e *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dick. Além disso, o cultivo de palma em regiões semiáridas auxilia na recuperação de áreas degradadas, abandonadas e propícias à desertificação (CUSHMAN et al., 2015). A produtividade e o custo de produção da biomassa podem variar conforme as espécies, a forma de cultivo, a fertilização química ou orgânica, a intensidade das variações climáticas, o uso de mão de obra, entre outros fatores (LÓPEZ-SANDIN et al., 2019),

resultando em impactos positivos ou não na produção e no ambiente (TAVERA-CORTÉS; ESCAMILLA-GARCÍA; PÉREZ-SOTO, 2018).

Apesar de haver estudos agronômicos demonstrando o potencial de produção da palma forrageira, não há estudos sobre o seu desempenho energético. Além disso, dependendo da tecnologia empregada no sistema de cultivo da palma pode apresentar variações no balanço energético e, portanto, devem ser avaliadas. Em outras culturas, como o sorgo sacarino, os sistemas de baixa, média e alta intensidade tecnológica influenciaram na viabilidade energética e os cálculos permitiram identificar como melhorar o custo benefício da produção (López-Sandin et al., 2019).

Assegurar a maior eficiência energética é uma condição essencial na produção de culturas energéticas (BUDZYNSKI; JANKOWSKI; JAROCKI, 2015). Em geral, as culturas com alto rendimento de biomassa por unidade de área apresentam balanço energético positivo (BUDZYNSKI; JANKOWSKI; JAROCKI, 2015; JANKOWSKI et al., 2016). O balanço energético leva em consideração tanto a eficiência do uso do solo como a eficiência energética, a partir das entradas e saídas de energia (MUYLLE et al., 2015). Entretanto, o alto uso de insumos e a mecanização intensiva podem reduzir o saldo energético (LÓPEZ-SANDIN et al., 2019), além de poder impactar negativamente o ambiente (TAVERA-CORTÉS; ESCAMILLA-GARCÍA; PÉREZ-SOTO, 2018). Dessa forma, acredita-se que o nível tecnológico de cultivo adotado pelos produtores rurais pode influenciar no balanço energético de produção da cultura.

Neste cenário, o objetivo deste trabalho foi realizar o balanço energético de sistemas de produção da palma forrageira de baixa, média e alta intensidade tecnológica no Semiárido brasileiro a partir de dados primários. De forma a identificar se a energia produzida tem saldo energético favorável ou não, em relação à energia gasta do plantio à colheita (MELO et al., 2007) e em que grau de diferenciação entre esses sistemas. Pesquisas como essa são necessárias para identificar a viabilidade energética de produção, bem como auxiliar na tomada de decisões em busca da otimização do sistema de cultivo.

1.1 OBJETIVO GERAL E ESPECÍFICOS

O presente trabalho foi desenvolvido objetivando realizar o balanço energético da produção da palma forrageira em sistemas de baixa, média e alta intensidade tecnológica no Semiárido brasileiro. Para tanto, foram estabelecidos como objetivos específicos:

- a) Comparar o EROI e produtividade da palma forrageira entre os sistemas de baixa, média e alta intensidade tecnológica;
- b) Analisar a correlação entre a escolaridade, a idade e o tempo de experiência de plantio com o EROI do cultivo de palma forrageira.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Nesta seção será apresentada uma revisão literária sobre o tema em questão para fundamentar a discussão da pesquisa.

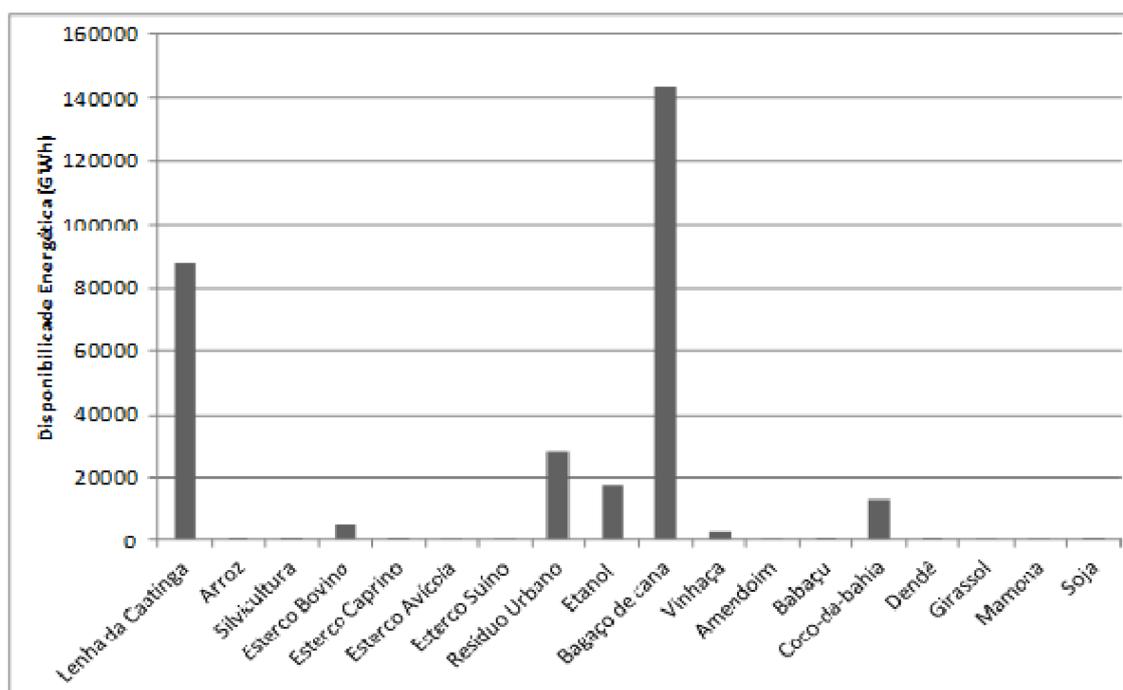
2.1 BIOMASSA COMO FONTE DE ENERGIA EM REGIÕES SEMIÁRIDAS

Devido à crescente demanda de energia por causa do crescimento populacional e do desenvolvimento econômico e social, e também à necessidade de reduzir as emissões de poluentes atmosféricos, é necessário investir em fontes de energia renovável, sendo a biomassa uma excelente alternativa de recurso bioenergético (MARAFON et al., 2016).

A capacidade instalada de bioenergia no mundo em 2019 foi de 123.805 MW, sendo 14.992 MW apenas no Brasil (IRENA, 2019). No entanto, o aproveitamento energético das fontes de biomassa no Brasil ainda é restrito, devido ao pouco conhecimento sobre seu potencial (LIMA-JÚNIOR et al., 2014). Atualmente a biomassa, como a lenha, o bagaço de cana, a lixívia, o biodiesel e outras fontes primárias, correspondem a 8,5% da matriz energética brasileira, que equivale a 54,4TWh (EPE, 2019).

As fontes que lideram o potencial energético no Nordeste brasileiro (Gráfico 1) são o bagaço de cana e a lenha da Caatinga sob manejo florestal sustentável, seguidos dos resíduos sólidos urbanos, etanol, coco, esterco bovino e vinhaça (LIMA-JÚNIOR et al., 2014). Os autores afirmaram que se todas essas fontes de biomassa fossem utilizadas em sua totalidade como recurso energético somariam 119,5 milhões de toneladas, equivalente a 55 TWh por ano. Desse total, 21,9TWh seriam correspondentes apenas à lenha da Caatinga, que poderia abastecer anualmente um terço da energia nas termelétricas.

Gráfico 1 - Disponibilidade energética anual de fontes de biomassa para produção de energia no Nordeste do Brasil em GWh



Fonte: (LIMA-JÚNIOR *et al.*, 2014).

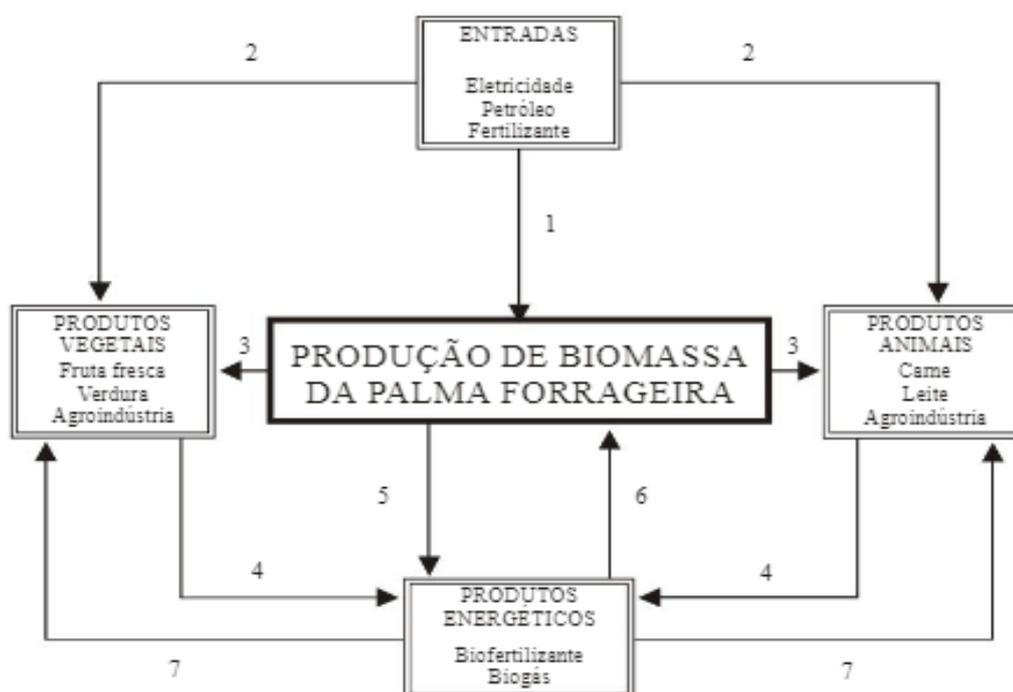
O Semiárido brasileiro abrange uma área de 982.563,3 km², estando presente nos estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e Minas Gerais (IBGE, 2018). Essa região se caracteriza pela baixa pluviosidade anual, inferior a 800 mm, com insolação em torno de 2800 h/ano, temperaturas do ar médias anuais entre 23° e 27° C, evaporação média de 2.000 mm/ano e umidade relativa do ar média aproximadamente de 50% (BRITO; MOURA; GAMA, 2007). Para essa região é necessário o cultivo de biomassa adaptado às suas características.

Além de vegetações nativas, como as florestas da Caatinga, outras biomassas exóticas já são cultivadas no semiárido para finalidades não energéticas vêm se destacando como possíveis alternativas energéticas. Em Pernambuco, plantas dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea*, produziram 1.490-1.975 L ha⁻¹ ano⁻¹ de etanol e 3.717 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de metano, comparáveis às produções de culturas energéticas tradicionais (SANTOS *et al.* (2016). No México, Ramírez-Arpide *et al.* (2018), estimaram produção de 30.068 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de biogás combinando substrato dos cladódios de palma com esterco de vaca leiteira. Em estudo subsequente (RAMÍREZ-ARPIDE *et al.*, 2019), relataram que na produção de biogás, eletricidade e metano

houve baixo impacto de emissão de CO₂ (0,334 kg CO₂eq⁻¹ MJ⁻¹, 0,057 kg CO₂eq⁻¹ MJ⁻¹ e 0,058 kg CO₂eq⁻¹ MJ⁻¹ respectivamente) e, embora a rentabilidade da produção de eletricidade ou metano tenha sido positiva (7%), verificaram que é necessário diminuir os custos de produção da biomassa, melhorando o sistema de biodigestão e aumentando os créditos de carbono, tornando assim mais sustentável o sistema de produção de biomassa e conversão em energia.

Na figura 1 segue um diagrama de um sistema de cultivo integrado e sustentável da espécie *Opuntia ficus-indica* (CORTÁZAR & VARNERO, 2001). Inicialmente é necessário o investimento em fertilizantes, combustíveis derivados do petróleo e eletricidade (1 e 2) para garantir alta produtividade de biomassa. Depois, são produzidos forragem e outros produtos (3), e os resíduos vegetais e animais são biodigeridos (4 e 5), gerando energia e biofertilizantes para alimentar o sistema (6 e 7), substituindo os insumos fósseis. É um sistema viável, mas ainda são necessários estudos para verificar e melhorar a eficiência tanto energética, como econômica e ambiental.

Figura 1 - Diagrama de fluxo para um sistema agrícola otimizado, baseado na produção de palma forrageira



Fonte: Cortázar & Varnero, 2001.

Legenda: Setas: 1) Fluxo de fertilizantes químicos; 2) Necessidades energéticas satisfeitas com combustíveis fósseis; 3) Produtos da agricultura da palma forrageira; 4) Fluxo ideal para resíduos animais e vegetais; 5) Carga direta do biodigestor com biomassa da palma forrageira; 6) Reciclagem de nutrientes através de biofertilizantes; 7) Necessidades de energia satisfeitas com biogás.

2.2 PALMAS FORRAGEIRAS

Nesta seção foi abordado conteúdo mais detalhado sobre as palmas forrageiras desde sua origem, características, manejo e potencial produtivo de forma a entender um pouco sobre a importância dessa biomassa.

2.2.1 Breve histórico

Pertencentes à família das cactáceas, as palmas forrageiras têm a capacidade de se desenvolver em regiões com condições climáticas de pouca pluviosidade, estando presente em zonas áridas e semiáridas do continente americano e também em países da África, da Ásia e da Oceania (RAMÍREZ-ARPIDE *et al.*, 2018; SÁENZ *et al.*, 2013).

A introdução da palma forrageira no Brasil foi registrada no final do século XIX, mas pesquisas científicas e tecnológicas sobre seu cultivo em escala significativa deram-se a partir do século XX (LIRA, 2017). Espécies de palma foram trazidas para o Brasil pelos portugueses na era colonial com a finalidade de criar cochonilha do carmim para a produção de corante para a indústria têxtil. Porém, a produção não teve êxito e foram posteriormente cultivadas apenas com intuito paisagístico e somente por volta de 1915 é que as palmas passaram a ser utilizadas como forrageiras (PESSOA, 1967).

Conforme Simões, Santos & Dias (2005), na década de 1930, houve maior difusão e incentivos governamentais no Nordeste para a cultura de palma forrageira para alimentação animal como forma de enfrentamento das secas. Entretanto, só a partir da intensa seca de 1993, em que houve elevadas perdas de rebanhos por escassez de forragens, começou-se a se expandir amplamente o plantio de palma como forragem de cultivo intensivo, em pequenas e grandes propriedades rurais do Semiárido. Além disso, foram incentivadas sua comercialização nos períodos de seca e a implantação de técnicas experimentais com diversas variedades. Em vista disso, instituições como o Serviço de Apoio à Pequena e Média Empresa (SEBRAE) e organizações não-governamentais têm incentivado o cultivo da palma no Nordeste, como o seu uso na alimentação humana, produção do carmim de cochonilha,

produção de frutos e até para fabricação de produtos cosméticos (CHIACCHIO; MESQUITA; SANTOS, 2006).

A palma forrageira pode também contribuir bastante na contenção da erosão do solo e, conseqüentemente, na fixação de água e nutrientes, podendo reduzir em até 93% as perdas de solo comparado ao terreno descoberto sem vegetação, o que a torna uma planta importante na conservação do solo (GALINDO, SAMPAIO & MENEZES, 2005).

Já existem estudos, análises e experimentações com o uso da palma forrageira para produção de combustíveis no Brasil em escala industrial e este trabalho visa contribuir ainda mais com a geração de informações sobre o assunto.

2.2.2 Características morfo-fisiológicas da palma

As espécies de palma forrageira mais cultivadas no Nordeste brasileiro são a *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill, a *Opuntia stricta* Haw e a *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck, originárias do México.

A *Opuntia ficus-indica* é formada por artículos suculentos, conhecidos botanicamente por cladódios que exercem a fotossíntese, e possuem uma dimensão de 30 a 40 cm de comprimento por 18 a 25 cm de largura e 19 a 28 mm de espessura (ALBUQUERQUE & SANTOS, 2005). A *Opuntia stricta* Haw possui porte médio, com raquetes ovoides de coloração verde-cinza e com bordaduras recortadas, cujo tamanho varia entre 26 cm x 21 cm e 47 cm x 34 cm de comprimento e largura, respectivamente. de tamanho médio à grande (LOPES & VASCONCELOS, 2012; LIRA et al., 2019). E a espécie *Nopalea cochenillifera* possui ramificação bastante intensa, cladódios mais estreitos com coloração verde-clara, cujo tamanho varia entre 18 cm x 9 cm e 25 cm x 10 cm de comprimento e largura, respectivamente. As três espécies possuem raízes superficiais ramificadas horizontalmente, cuja profundidade varia conforme as condições de umidade do solo (ALBUQUERQUE & SANTOS, 2005; LIRA et al., 2019).

Rocha (2012) esclareceu que a boa adaptabilidade da palma forrageira em regiões áridas e semiáridas é decorrente do seu eficiente uso da água que se dá pela presença de aspectos fisiológicos característicos de uma planta CAM (metabolismo ácido das crassuláceas). Os cladódios possuem cutícula impermeável e relativamente

poucos estômatos no aparelho fotossintético. A cutícula impermeável promove a conservação e confinamento de água no interior da planta, defende do ataque de insetos e microorganismos, possibilita a reflectância da luz, diminuindo a temperatura interna e controlando a entrada e saída de oxigênio e gás carbônico. As plantas CAM requerem 10 vezes menos água por unidade de biomassa seca produzida do que as culturas comuns de metabolismo C3 e C4 (MASON et al., 2015), como é o caso da soja e da cana-de-açúcar, respectivamente.

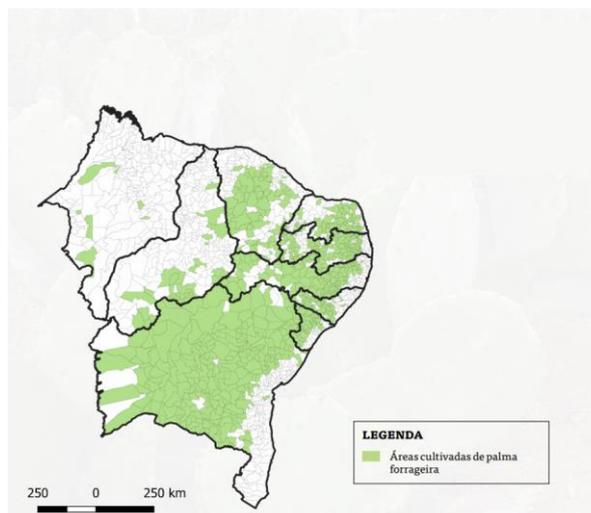
A palma pode realizar fotossíntese até 15 dias após o esgotamento do suprimento disponível de água do solo, dependendo da temperatura e da umidade relativa do ar, principalmente à noite (SAMPAIO, 2005). Entretanto, em situações de baixa umidade relativa e altas temperaturas durante a noite, características de algumas regiões do Semiárido brasileiro, possuem produtividade reduzida (LIRA, 2017).

Devido a sua alta produção de biomassa e eficiência na utilização da água, a palma é uma cultura bioenergética relevantemente viável em regiões semiáridas, com potencial para a expansão da produção da matéria prima (YANG et al., 2015). Plantas CAM, como a *Opuntia* spp., poderiam servir como matéria-prima para a produção tanto de alimentos como para biocombustíveis em áreas que não são aproveitadas para a produção de culturas de metabolismo C3 e C4 (CUSHMAN et al, 2015). Embora, há necessidade de realizações de mais pesquisas para a otimização do uso da palma na produção de biocombustíveis no Semiárido nordestino.

2.2.3 Plantio, manejo e produtividade da palma forrageira

Somente no Nordeste possuem 125.408 propriedades rurais que cultivam palma, distribuídas em 1.793 municípios (IBGE, 2017), produzindo 3.581.469 toneladas em uma área total de 147.439 hectares, correspondendo a 98,8% do cultivo nacional (Mapa 1).

Mapa 1 - Mapa de ocorrência de plantio de palma forrageira em municípios do Nordeste



Fonte: Santos *et al.* (2019)

O sucesso da colheita da palma forrageira depende do tipo de manejo utilizado, isto é, do espaçamento adotado, da fertilização, do controle de plantas daninhas e da frequência e intensidade de corte dos cladódios (FARIAS; SANTOS; DUBEUX JR, 2005). Para estes autores, as palmas, independentemente de qual espécie cultivada, são exigentes em solos férteis e bem drenados, visto que não suportam alagamentos, além não terem um bom desenvolvimento em áreas salinizadas.

Quanto às tecnologias utilizadas no plantio da palma, Araújo *et al.* (2019) afirmaram que:

“Os implementos agrícolas utilizados no cultivo da palma forrageira podem ser de tração mecânica através de tratores (arado, grade niveladora, sulcador, enxada rotativa, entre outros) e de tração animal (arado, sulcador, cultivador, capinador, enxada rotativa, etc.). Além desses, há ferramentas como as enxadas, enxadões, chibancas e enxadecos, que podem ser manuseados de forma braçal.” (ARAÚJO *et al.*, 2019, p.13).

O cultivo de palma desenvolve-se muito bem quando há capinação e roçagem. Nos estudos de Santos *et al.* (2006) em São Bento do Una – PE, a produção de palma forrageira com capinagem e roçagem teve aumento de mais de 100% em relação ao cultivo sem estes tratamentos culturais. A não realização do controle de plantas invasoras pode diminuir a produtividade da palma forrageira, visto que há uma

competição por luz, água e nutrientes, além disso aumenta o risco de incêndios (MELLO; CUNHA, 2017).

Na preparação do solo para o plantio, em casos de compactação, deve-se realizar a subsolagem, por meio de um arado subsolador de 3 a 5 hastes (dependendo da potência do trator), para promover a soltura das camadas superficiais do solo e facilitar o desenvolvimento das raízes (QUEIROGA et al., 2020).

Geralmente, no Brasil, o plantio da palma é realizado de forma manual, embora também possa ser realizado por plantadeiras movidas a trator. Essas plantadeiras realizam o plantio de cerca de 2000 a 2500 cladódios por hora em cada linha (ARAÚJO et al., 2019), enquanto que manualmente um produtor consegue plantar cerca de 117 a 156 cladódios por hora em 1ha (SANTOS et al, 2019). A opção do uso da forma manual do plantio pode ser entendido pelo o fato de que nem sempre a tecnologia está ao alcance dos pequenos produtores rurais (ROCHA, 2012).

O espaçamento depende do sistema aplicado pelo produtor, mas para obter maior produção geralmente realiza-se o plantio adensado com corte bianual (SANTOS et al., 2006). No entanto, o plantio adensado pode dificultar a realização dos tratos culturais, sendo recomendado sistemas de produção em filas duplas com maior espaçamento entre elas, pois apesar de apresentarem menor produtividade em relação aos sistemas mais adensados, há vantagens, como a possibilidade de formação de consórcios com outras culturas e a facilitação dos tratos culturais mecanizados (MELLO & CUNHA, 2017). O plantio da palma forrageira em filas duplas, nos espaçamentos de 3,0 x 1,0 x 0,5 m ou 7,0 x 1,0 x 0,5 m, possibilita a consorciação com milho, feijão, algodão e outras culturas, reduzindo os custos com tratos culturais e possibilitando maior produtividade da área de cultivo e maior rendimento econômico (LIRA, 2017). A Tabela 1 apresenta alguns exemplos de espaçamentos e o número de plantas de palma por hectare a que eles correspondem.

Tabela 1 - Espaçamentos entre cultivos de palma forrageira e densidade total de plantas por hectare.

Entre raquetes (m)	Fileira dupla (m)	Entre fileira (m)	Densidade nº plantas ha ⁻¹
1,00	-	2,00	5.000
0,80	0,40	3,20	12.500
0,80	0,40*	3,20	17.860
1,20	0,30		19.230
0,20	-	1,60	31.000
0,25	-	1,00	40.000

Fontes: Albuquerque (2000); Rocha (2012); Silva, Cezimbra & Miranda (2004).

*Fileira quádrupla.

A periodicidade de colheita ocorre conforme a necessidade do produtor (podendo ser um ano ou mais após do plantio), bem como aos tipos e níveis de adubação adotados e à capinação (ARAÚJO et al., 2019; CUNHA & FERRAZ, 2017). Segundo Ramírez-Arpide et al. (2018), a palma é uma planta de cultivo perene que possui uma vida útil de cerca de 20 anos.

A palma é muito exigente em solos férteis para o seu desenvolvimento. Uma produtividade anual de 20 t ha⁻¹ de matéria seca extrai, em média, 180 kg de nitrogênio, 32 kg de fósforo, 516 kg de potássio e 470 kg de cálcio, além de outros macros e micronutrientes, o que mostra a necessidade de reposição de nutrientes ao solo, após sucessivas colheitas, por meio da adubação (DUBEUX JR; SANTOS, 2005). Portanto a adubação auxilia não somente no aumento da produção, mas também estimula a resistência da planta às pragas (SANTOS et al., 2006).

A adubação orgânica mais usual é com esterco bovino, visto que é mais acessível nos currais das propriedades rurais. A produtividade de palma pode quase dobrar com a aplicação no cultivo de 20t ha⁻¹ de esterco (ALBUQUERQUE; SANTOS, 2005). Para a adubação mineral, é recomendável realizar uma análise prévia do solo para identificar as dosagens apropriadas para suprir as necessidades da produção (SANTOS et al., 2006).

Em situações de adensamento, pesquisas em Pernambuco observaram que, para alcançar elevados níveis de produtividade, geralmente são recomendados níveis baixos de adubação orgânica combinada com adubação mineral, visto que a aplicação de altos níveis de adubação orgânica no solo pode favorecer o aparecimento de

patógenos como *Fusarium* sp, enquanto que o uso de adubação mineral só repõe os principais macronutrientes (nitrogênio, fósforo e potássio), ficando deficiente quanto aos micronutrientes essenciais (DUBEUX JR; SANTOS, 2005).

Souza (1965) verificou que, após cada colheita, a aplicação de 20 a 30 t ha⁻¹ de estrume curtido juntamente com a aplicação de adubação mineral de 100 Kg ha⁻¹ de nitrogênio, além de fósforo, potássio e calcário, conforme a análise de solo, pode aumentar em 100% a produtividade (toneladas por ano) de forragem. No entanto, Tavera-Cortés, Escamilla-García & Pérez-Soto (2018), no México, verificaram que a utilização de composto orgânico e biofertilizante tem levado a níveis mais elevados de produtividade em comparação com o esterco bruto e o fertilizante mineral, sendo uma alternativa sustentável aos produtores. Lira (2017) afirmou que o plantio de palma Miúda, com espaçamento de 1,0 x 0,5 m e adubação de 20 t ha⁻¹ de esterco bovino, pode produzir cerca de 75 t ha⁻¹ ano⁻¹ de matéria verde (MV), o equivalente a 9,4 t ha⁻¹ ano⁻¹ de matéria seca (MS).

No entanto, estudos demonstram que a palma é suscetível a pragas e doenças quando há adubação em excesso ou abaixo da recomendação (COELHO, 2005). Hoje em dia, no Nordeste, a praga que mais atinge a palma forrageira e traz prejuízos econômicos é a cochonilha-do-carmim do tipo silvestre (*Dactylopius opuntiae* Cockrell), considerada praga-chave da cultura, provocando perdas acima de 90% nas áreas de cultivo, principalmente da espécie *Opuntia ficus indica* (figura 2). A cochonilha silvestre foi introduzida no Nordeste brasileiro no final dos anos 90 e início dos anos 2000, acreditando-se que era a cochonilha do tipo fina (*Dactylopius coccus* Costa), utilizada para produzir o corante carmim (ácido carmínico) para as indústrias de alimentos, cosméticos, tintas, entre outras. A espécie silvestre também produz ácido carmínico, porém em quantidades insignificantes e atua como parasita, sugando a seiva da planta, enquanto introduz toxinas, provocando amarelecimento, podridão, murchamento e morte das plantas em pequeno intervalo de tempo (LIRA et al., 2019).

Figura 2 - Infestação de cochonilha do carmim na palma forrageira em Arcoverde, PE, com sinais de queda de cladódio e clorose (a), com destaque para as colônias do inseto (b)



Fonte: O Autor, 2021.

Outra praga de relevante destaque é a cochonilha-de-escama (*Diaspis echinocati* Bouché). Nos anos mais secos e em plantações menos adubadas e capinadas, esse inseto envolve os cladódios com suas colônias, sugando a seiva (Figura 3) provocando clorose, apodrecimento e até morte da planta (ALBUQUERQUE; SANTOS, 2005). O combate dessas pragas pode ser por controle biológico, corte de plantas infestadas seguindo do fornecimento aos animais ou aplicação de inseticidas próprios para cochonilha de escama (SANTOS et al., 2006; LIRA et al., 2019). Dentre os inimigos naturais da cochonilha há as vespas, que são parasitóides e as joaninhas que são predadores do inseto (ALBUQUERQUE; SANTOS, 2005; LIRA et al., 2019).

Figura 3 - Ataque da cochonilha de escama no clone Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* Haw), em Sertânia, PE (a). No mesmo cultivo experimental foram também encontradas joaninhas como predadores da praga (b)



Fonte: Lira (2017).

O crescimento do cultivo de palma forrageira no Nordeste do Brasil tem levado ao aumento nos problemas fitossanitários, como é o caso de podridões nos cladódios primários e secundários ou em raízes, provocados por fungos ou bactérias, necessitando a eliminação das plantas infectadas e o controle de umidade e adubação (COELHO, 2005).

O controle de pragas é de grande importância para o desenvolvimento sadio do palmar, bem como o aumento da sua produtividade e valoração econômica.

Apesar da palma forrageira ser adaptada às condições de semiárido, ocorrem expressivas diminuições no seu processo fotoquímico em situação de escassez de água no solo por tempo prolongado (FERRAZ, 2018). Em Pernambuco, Bezerra et al. (2015) estudaram a demanda de água de irrigação da palma forrageira com diversos cenários climáticos, por meio de dados meteorológicos de 1961 a 1990, e constataram que a simulação da evapotranspiração anual da cultura foi de 874 mm ano⁻¹, e que a necessidade de irrigação da palma foi de 230 mm, tendo em vista a ocorrência de chuva efetiva. Ferraz (2018), em Santa Luzia – PB, apontou que nos cultivos irrigados de palma forrageira houve aumento de produtividade de 53 t ha⁻¹ ano⁻¹ de matéria seca em relação aos cultivos de sequeiro, chegando a produtividades de 80 t ha⁻¹ ano⁻¹ com altas lâminas de irrigação em ambientes limitados e 27 t ha⁻¹ ano⁻¹ com

reduzidas lâminas em ambientes com mais chuvas, podendo haver produções ainda maiores acrescentando adubação.

2.3 PENSAMENTO DO CICLO DE VIDA

O desenvolvimento sustentável tem um papel de grande importância no equilíbrio entre as produções e os estoques de recursos naturais e a incorporação do pensamento do ciclo de vida em seus processos é de extrema importância fazer uma análise ampla dos impactos (CHANG; LEE; CHEN, 2014).

O pensamento do ciclo de vida trata-se de uma abordagem de gestão da sustentabilidade de toda a cadeia de abastecimento, considerando as interações relacionadas a um determinado bem, serviço, atividade ou entidade, de forma a compreender e prevenir a transferência involuntária de diferentes tipos de impactos para as outras fases da cadeia ou para diferentes partes interessadas que possam ocorrer como resultado das decisões de gestão (PELLETIER, 2015). Assim, com a abordagem do ciclo de vida, pode-se tomar decisões mais conscientes de produção e consumo de matéria e energia de forma a gerar impactos positivos no meio ambiente, na sociedade e na economia (SEBRAE, 2017).

A partir do pensamento do ciclo de vida pode-se analisar, por exemplo a produção e uso de biocombustíveis, que em relação aos combustíveis fósseis, os impactos quanto ao aquecimento global mostram-se neutralizados ou ao menos minimizados pelo fato de ser derivado de biomassa e as emissões de dióxido de carbono equilibram-se com a absorção no período de cultivo (LECKSIWILAI & GHEEWALA, 2020).

No entanto, a medida em que se incorpora na atividade produtiva o pensamento do ciclo de vida e novas atitudes para a redução dos impactos negativos e aumento dos positivos em toda a cadeia de valor do sistema de produção, em busca da sustentabilidade dos negócios, torna-se interessante mensurar os resultados desta mudança e buscar a melhoria contínua (SEBRAE, 2017).

Uma das ferramentas para a mensuração é a avaliação de ciclo de vida (ACV). A ACV tem como objetivo avaliar os aspectos e potenciais impactos ambientais de um produto ao longo de todo o seu ciclo de produção, desde a extração de matérias primas a serem utilizadas, as emissões de poluentes e consumo de materiais e

energia, passando pela fase de produção e uso, até seu descarte final e possível reaproveitamento, ou seja, do berço ao túmulo (ISO 14040 e ISO 14044).

Com a ACV é possível realizar um diagnóstico quantitativo do desempenho ambiental de uma determinada atividade, a partir da quantificação dos fluxos de entrada e saída de matéria e energia que perpassam entre o sistema analisado e o meio ambiente (DONKE, 2016). Assim, deve-se levar em conta todos os materiais associados a cada elemento a ser incluído no estudo, bem como o levantamento dos dados referente ao fluxo de energia necessária para a produção e distribuição de combustíveis, elementos não energéticos relevantes e energia de processo consumidas dentro do sistema estruturado (ABNT, 2009).

A ACV pode ser aplicada para diversos tipos de atividades, inclusive na geração de energia de biomassa. Pacetti, Lombardi & Federici (2015) utilizaram a ACV em estudos de produção de biogás de culturas energéticas como o trigo e o sorgo e Lijó et al. (2014), na monodigestão de silagem de milho. Ambos constataram que a fase do cultivo é a principal fonte de impactos, devido a processos como fertilização, lavra, consumo de diesel nas atividades agrícolas e irrigação. Nos estudos de ACV de Ramírez-Arpide et al (2018), para produção de biogás por meio da co-digestão de cladódios de palma, foi verificado que o sistema de cultivo orgânico em relação ao cultivo tradicional reduz o impacto ambiental em 22% na categoria de potencial de aquecimento global, porém eleva o potencial de acidificação e de eutrofização em 47 e 45%, respectivamente.

2.4 ANÁLISE ENERGÉTICA DE SISTEMAS AGRÍCOLAS

A busca de melhoria do uso eficiente de energia é uma questão de grande relevância nos tempos atuais, visto que os recursos naturais do planeta são limitados e a demanda de energia vem crescendo permanentemente devido ao crescimento populacional e a elevação do nível de vida (ROCHA et al., 2018). Vinculado a esse fato há necessidade também de otimizar fontes de energia renovável para assim reduzir o uso de combustíveis fósseis e, conseqüentemente, minimizar a emissão de gases de efeito estufa (GEE).

O governo brasileiro vem incentivando a inclusão de biocombustíveis e a redução do consumo de combustíveis fósseis. O Programa Nacional de Produção de

Biodiesel (PNPB), lançado em 2004, teve como principal objetivo elevar a produção e uso sustentável do biodiesel, sendo responsável pelo estabelecimento da indústria de biodiesel no Brasil (VIDAL, 2019). A partir da lei nº 11.097/2005, houve a inclusão do biodiesel na matriz energética brasileira e firmou para todo o território brasileiro o percentual mínimo obrigatório de adição de biodiesel ao óleo diesel de 2% (B2) em volume ao diesel fornecido ao consumidor final (BRASIL, 2005). Atualmente a lei nº 13.263/2016 prevê um percentual mínimo obrigatório de 10% de biodiesel (B10) misturado ao óleo diesel vendido ao consumidor, sendo facultados a adição voluntária de biodiesel em quantidades maiores e o uso voluntário da mistura nos transportes, inclusive em tratores e nos demais aparelhos automotores designados a puxar ou arrastar maquinaria agrícola ou a desempenhar trabalhos agrícolas (BRASIL, 2016).

Os estudos de balanço energético foram vastamente propagados na década de 1970 e, posteriormente na década de 2000, devido ao aumento da produção de combustíveis renováveis, tendo como intuito quantificar a energia gerada pelos sistemas energéticos em relação ao consumo de energia não renovável (DONKE, 2016).

O balanço energético possibilita identificar as entradas e saídas de energia no processo de produção, revertendo em saldo energético final do processo produtivo (MELO et al, 2007). Essa ferramenta também é conhecida como “energia retornada sobre o investimento” (EROI) e tem como intuito auxiliar nos processos de planejamento e na tomada de decisão de aspectos essenciais de atividades produtivas, indicando a viabilidade energética (HALL, 2017; MARIANO et al., 2015). Geralmente o EROI é aplicado à energia para encontrar e produzir petróleo ou no cultivo e colheita de biomassa e processamento de biocombustível (MURPHY; HALL, 2010).

Segundo Lambert et al. (2014), se os valores do EROI das fontes energéticas tradicionais de combustíveis fósseis, como o petróleo, permanecerem declinando e os recursos energéticos renováveis e não convencionais não provirem um EROI favorável, haverá um drástico declínio energético líquido e grandes consequências socioeconômicas. Assim, é de grande importância a realização do estudo do balanço energético para identificar quais pontos de gasto energético podem ser reduzidos ou otimizados e buscar melhorias na eficiência das produções energéticas.

López-Sandin et al. (2019) enfatizaram que a eficiência energética, calculada a partir do balanço de energia, favorece a agricultura sustentável quando é estimada através da relação entre os benefícios adquiridos e os recursos utilizados, visto que o uso e a produção de energia se diferenciam amplamente entre as culturas, sistemas e intensidades de gerenciamento.

Segundo Chechetto, Siqueira & Gamero (2010), a entrada de energia é dada pelo trabalho humano, transporte de insumos e produtos, fabricação de máquinas, implementos, insumos agrícolas, entre outros, em que a identificação e a quantificação precisa não são fáceis de serem feitas.

Dessa forma, a escolha das melhores estratégias de sistema de produção agrícola deriva da análise das condições ambientais, características da cultura e da eficiência energética, produzindo melhores efeitos quando o gerenciamento das entradas de energia for feito com critérios e na quantidade adequada para cada cultura (MELO et al., 2007).

O EROI de determinada cultura pode variar bastante em diferentes regiões. Isto acontece porque existem fatores que promovem diferenças relevantes no consumo energético, como o tipo de solo, a topografia (inclinação, altitude, insolação) do terreno e até a tradição local (CAMPOS; CAMPOS, 2004).

No estudo experimental de Donke (2016), realizado em Mato Grosso, a produção de etanol hidratado a partir da cana-de-açúcar, milho e sorgo tiveram EROI de 9,77, 2,68 e 3,10 respectivamente. Nas pesquisas de López-Sandin et al. (2019) sobre o balanço energético do sorgo sacarino a partir de diferentes sistemas de cultivo, em Nuevo León, no México, os valores variaram de 13,21 a 18,68.

Ramírez-Arpide et al. (2018) realizaram um estudo em Queretaro, no México, sobre o balanço energético da produção de biogás a partir da palma (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.) por co-digestão com estrume de vaca, em três diferentes cenários de sistema agrícola e obtiveram resultados de EROI que variaram entre 8,1 e 12,4, sendo superiores ao mínimo recomendado pela literatura (3,0), o que pode indicar uma alternativa economicamente viável de produção de energia.

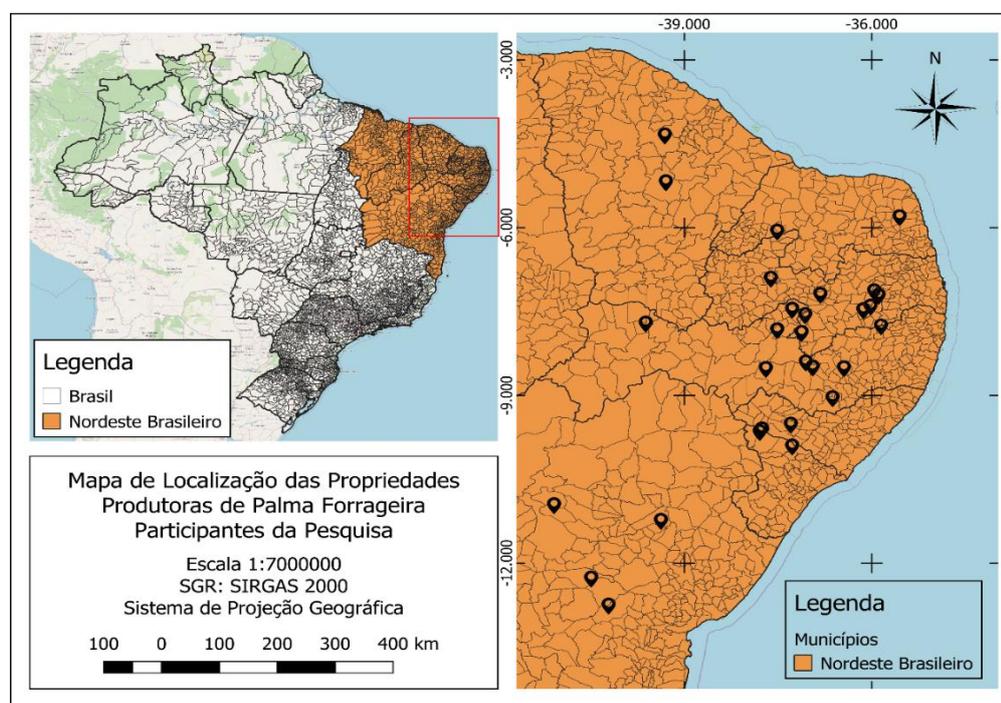
3 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho buscou identificar qual forma de manejo de palmas forrageiras teria uma melhor eficiência energética, verificando o gasto energético dos sistemas de manejo, o ganho em produtividade e o saldo energético final a partir da realidade encontrada nas áreas de cultivo das propriedades rurais do semiárido brasileiro. Para isso, nos tópicos a seguir descrevem os métodos utilizados, bem como a caracterização da área de estudo.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa foi realizada de abril a agosto de 2021, abrangendo 54 produtores de palma forrageira de 29 municípios da região semiárida do Nordeste do Brasil (Mapa 2), coletando dados de sistemas de cultivo em propriedades produtoras de palma forrageira em 7 estados (4,0% em Alagoas, 4,0% no Ceará, 7,0% na Bahia, 20,0% na Paraíba, 55,5% em Pernambuco, 4,0% no Rio Grande do Norte e 5,5% em Sergipe).

Mapa 2 - Mapa de localização das propriedades produtoras de palma forrageira participantes da pesquisa



Fonte: A Autora, 2022.

3.2 DADOS PRIMÁRIOS – QUESTIONÁRIO E VISITA DE CAMPO

A fronteira energética da pesquisa vai do berço ao portão da fazenda, ou seja, o inventário abrangeu os dados energéticos desde o preparo da terra até a colheita. Os dados foram obtidos a partir de coleta de dados primários junto a produtores de palma forrageira situados em diferentes regiões do Semiárido brasileiro. Esta etapa se deu a partir da técnica da observação direta, tanto extensiva como intensiva. A observação direta intensiva é realizada através da técnica de observação e entrevista, de forma a utilizar os sentidos na obtenção de determinados aspectos da realidade, examinar fatos ou fenômenos que se desejam estudar, enquanto que a observação direta extensiva realiza-se através do questionário para a obtenção dos dados necessários a pesquisa (MARCONI & LAKATOS, 2003).

Para a observação direta extensiva foram aplicados questionários semiestruturados (Apêndice A), composto de questões objetivas e subjetivas, a cada produtor de palma forrageira, de forma individual. Foram estabelecidos os seguintes tratamentos a serem analisados: A - sistema de manejo simples (capinação ou roçagem e aração do solo) com adubação orgânica; B - sistema de manejo convencional com mecanização pouco intensiva (capinação ou roçagem, aração e gradagem) com fertilização mineral e/ou orgânica; C - sistema de manejo convencional, com mecanização intensiva (capinação ou roçagem, subsolagem, aração e gradagem) com fertilização mineral e/ou orgânica com ou sem irrigação. A classificação dos sistemas é importante para identificar se há diferenciação nas diferentes técnicas de manejo e qual possui maior eficiência energética. No entanto, realizar a classificação em campo é um grande desafio porque nem sempre a realidade condiz com as condições em que é planejado, necessitando muitas vezes adaptações dessa classificação para que atinja os objetivos da pesquisa.

Nesta pesquisa, o questionário foi aplicado para 54 produtores rurais, tanto em entrevista presencial (Figura 4), como via ligação telefônica por meio do aplicativo WhatsApp®, cujas perguntas foram idênticas para todos os entrevistados. O número de entrevistas teve um nível estimado de 90% de confiança e uma margem de erro estimada de 11 pontos percentuais e a amostragem foi obtida a partir de contatos de um grupo de produtores de palmas forrageiras no aplicativo WhatsApp® e a partir de produtores assistidos pelo Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA). Foram

entrevistados 24 produtores presencialmente, dos Estados da PB e PE, e 30 produtores de forma remota pertencentes aos estados de AL, BA, CE, PB, PE, RN e SE. No geral, foram 16 propriedades do sistema A, 18 do sistema B (em que 52,6% utiliza adubação mineral e 47,4% utiliza somente com adubação orgânica) e 20 do sistema C (em que 63,2% é de sequeiro e 36,84% utiliza irrigação).

Figura 4- Fotos de entrevistas realizadas com produtores rurais



Fonte: A Autora, 2022.

Além do questionário, também foi utilizada a técnica da observação direta intensiva, em que foi realizada uma avaliação e monitoramento in loco de parcelas representativas de sistema intensivo de produção da palma.

Tanto nos questionários, como no monitoramento in loco, foram coletadas informações sobre o manejo da terra, maquinários utilizados, o uso e a quantidade de aplicação de esterco ou fertilizante mineral, o tipo e a quantidade de herbicidas, o tipo e a frequência de irrigação, o espaçamento e o número de indivíduos plantados e o peso da biomassa colhido por unidade de área e a quantidade de diárias de mão de obra utilizada.

3.3 ANÁLISE DO BALANÇO ENERGÉTICO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO

Os dados obtidos nas entrevistas deram base à construção do balanço energético com o auxílio da ferramenta Excel®.

Os dados dos sistemas de produção de biomassa foram convertidos em energia para calcular o balanço energético. O balanço energético possibilitou identificar as prováveis entradas e saídas de energia no processo de produção,

revertendo em saldo energético final do sistema produtivo (MELO et al., 2007). Este método também é conhecido como “energia retornada sobre o investimento” (EROI) e tem como intuito auxiliar na tomada de decisão de aspectos essenciais de atividades produtivas, indicando a viabilidade energética (HALL, 2017). Esse método é importante para entender a eficiência energética de cada sistema de produção e identificar qual o mais favorável e suas possíveis melhorias.

A eficiência energética foi definida de acordo com a equação citada por Melo et al. (2007), em que:

$$E = \frac{E_{produzida}}{E_{consumida}} \quad (1)$$

Sendo:

E = Eficiência energética;

E_{produzida} = Total de saída de energia (MJ);

E_{consumida} = Energia direta + energia indireta (MJ).

Conforme a equação, quando a eficiência energética de um recurso for maior que um, ele pode ser classificado como produtor líquido de energia, porém se for igual ou inferior a um, o recurso é considerado um consumidor líquido de energia. A conversão das energias consumidas e produzidas em MJ será feita a partir de dados equivalentes de energia obtidos da literatura. A unidade funcional em análise neste trabalho é MJ ha⁻¹. Na Tabela 1 constam as possíveis entradas de energia de um sistema de produção de biomassa e seu equivalente de energia.

Tabela 2 - Equivalente de energia de cada atividade.

Atividade		Unidade	Equivalente em energia (MJ.unid ⁻¹)	Fonte
Trabalho humano	Manual	h	1,95	Tabatabaeefar <i>et al.</i> (2009)
	Mecanizado		1,05	Tabatabaeefar <i>et al.</i> (2009)
	Tração animal	h	6,59	Albuquerque et al, (2010)
Maquinário		kg	138	Tabatabaeefar <i>et al.</i> (2009)

Diesel	L	47,8	Kitani <i>et al.</i> (1999)
Nitrogênio	kg	77,53	Vilche <i>et al.</i> (2006)
Fósforo	kg	12,44	Yilmaz; Akcaoz; Ozkan (2005)
Potássio	kg	11,15	Yilmaz; Akcaoz; Ozkan (2005)
Herbicida	kg	214	Meul <i>et al.</i> (2007)
Cladódio de palma	kg	14,0	Pinos-Rodríguez et al (2010)
Água para irrigação	m ³	1,02	Acaroglu & Aksoy (2005)
Eletricidade	KWh	11,93	Hatirli; Ozkan & Fert (2005)
Transporte	MJ·km ⁻¹ ·t ₋₁	4,5	Tabatabaeefar <i>et al.</i> (2009)

O total de energia gasta na atividade da agricultura (MJ ha⁻¹ a⁻¹) foi obtido a partir da seguinte equação (LÓPEZ-SANDIN *et al.* ,2019):

$$ET = EM + EC + ELF + EMR + ES + EFH + EE + EMOH + EAI \quad (2)$$

Em que:

- ET = Energia total investida (MJ ha⁻¹a⁻¹);
- EM = Energia investida em materiais, manufatura e transporte (MJ ha⁻¹a⁻¹).
- EC = Energia investida em combustível (MJ ha⁻¹a⁻¹);
- ELF = Energia investida em lubrificantes e filtros (MJ ha⁻¹a⁻¹).
- EMR = Energia investida em manutenção e reparos (MJ ha⁻¹a⁻¹);
- ES = Energia investida em sementes (MJ ha⁻¹a⁻¹);
- EFH = Energia investida em fertilizantes e herbicidas (MJ ha⁻¹a⁻¹);
- EMOH = Energia investida em mão de obra humana (MJ ha⁻¹a⁻¹);
- EE = Energia investida em eletricidade (MJ ha⁻¹a⁻¹);
- EAI = Energia investida em água de irrigação (MJ ha⁻¹a⁻¹).

A EM engloba o valor referente a energia utilizada na produção do trator e implementos, além da energia gasta no trabalho no campo, sendo calculada a partir da adaptação do método utilizado por López-Sandin *et al.* (2019) e Paneque; Fernandes & Oliveira (2002) representada na equação 3.

$$E_M = \frac{M_T \times E_{MT} \times h_{mt}}{V_T} + \frac{M_M \times E_{MM} \times h_m}{V_M} \quad (3)$$

Em que:

- M_T = Massa do trator (kg);
- E_{MT} = Energia por unidade de massa do trator (MJ/kg);
- H_{MT} = Quantidade total de horas utilizadas com o trator ($\text{h ha}^{-1} \text{a}^{-1}$);
- V_T = Vida útil do trator (h);
- M_M = Massa do implemento agrícola (kg);
- E_{MM} = Energia por unidade de massa do implemento agrícola (MJ/kg);
- H_m = Quantidade de horas utilizadas com o implemento ($\text{h ha}^{-1} \text{a}^{-1}$);
- V_M = Vida útil do implemento (h).

Foi considerada a vida útil do trator e dos implementos de 10.000 horas e 2.000 horas, respectivamente (PACHECO, 2000). Os valores das massas dos maquinários foram obtidos através de ficha técnica disponível nos sites dos fabricantes.

A E_C pode ser obtida pelo produto do consumo de combustível por hora trabalhada, e o equivalente em energia, conforme a equação 4. Na estimação de E_{LF} e E_{MR} foram adotados os valores de 5% da E_C e 129% da E_m , respectivamente (PANEQUE; ERNANDES; OLIVEIRA, 2002).

$$E_C = C \times E_{EC} \quad (4)$$

Em que:

C = Consumo de combustível [$\text{L ha}^{-1} \text{a}^{-1}$]

E_{EC} = Combustível equivalente em energia [MJ L^{-1}].

O consumo de combustível foi obtido a partir do produto entre a quantidade de horas gasta para a atividade por hectare, o coeficiente de conversão de 0,25 e a potência do trator, conforme a equação 5 (PACHECO, 2000).

$$C = h \times 0,25 \times \text{Pot} \quad (5)$$

A energia referente aos cladódios plantados e aos fertilizantes e herbicidas foi obtida pela equação 6. Não foi considerado o gasto energético com inseticidas, visto que não se obteve valores consideráveis para cálculos.

$$E_S + E_{FH} = (M_C \times E_{ECLA} \times M_S) + (M_F \times E_{EFER}) + (V_H \times E_{EHER}) \quad (6)$$

Em que:

- M_C = Massa de cladódios de palma plantados (kg ha^{-1});
- E_{ECLA} = Equivalente em energia dos cladódios (MJ kg^{-1});
- M_S = Proporção de matéria seca da palma forrageira (%);
- M_F = Massa utilizada de fertilizante ($\text{kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$);
- E_{EFER} = Equivalente em energia dos fertilizantes utilizados (MJ kg^{-1});
- V_H = Volume utilizado de herbicidas ($\text{L ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$);
- E_{EHER} = Equivalente em energia dos herbicidas utilizados (MJ L^{-1}).

A energia investida em mão de obra humana, E_{MOH} , foi calculada a partir da metodologia utilizada por Tabatabaeefar *et al.* (2009), através da equação 7, em que se leva em conta tanto o trabalho manual como o trabalho do tratorista. Foi considerado nos cálculos que o trabalho da mão de obra humana em campo é de 8 horas por dia.

$$E_{MOH} = (T_{man} \times E_{man}) + (T_{mec} \times E_{mec}) \quad (7)$$

Em que:

T_{man} = Horas de trabalho manual por hectare em um ano;

E_{man} = Energia equivalente de trabalho manual (MJ h^{-1});

T_{mec} = Horas de trabalho mecânico por hectare em um ano;

E_{mec} = Energia equivalente de trabalho mecânico (MJ h^{-1}).

A energia obtida após a colheita da palma (energia de saída) pode ser calculada a partir da equação 8.

$$E_{colheita} = \text{Produtividade média (MV ha}^{-1} \text{ a}^{-1}) \times \text{PCI} \times \text{MS} \quad (8)$$

Em que:

$E_{colheita}$ = energia da produção de biomassa obtida no plantio ($\text{MJ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$);

PCI = poder calorífico inferior (MJ kg^{-1});

Ms = matéria seca (%).

O teor de matéria seca das palmas forrageiras variam muito, conforme o gênero e espécie, apresentando valores entre 6,1% a 17,1% (FROTA et al., 2015). Assim, foi considerado para cálculos o teor médio de matéria seca de 10% (LIMA et al., 2015). O PCI das variedades de palma forrageira não difere significativamente, sendo utilizado para este trabalho o valor de 14 MJ kg^{-1} (PINOS-RODRÍGUEZ et al., 2010).

Os valores para cálculos foram baseados nos dados obtidos nas entrevistas com os produtores de palma forrageira. No entanto, em 20% dos entrevistados não possuía a informação de algum dado sobre especificações dos maquinários, horas de trabalho manual ou produtividade, sendo dessa forma preenchido com valores da literatura coerentes com a realidade do cultivo do produtor.

3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados do balanço energético e outros coletados passaram por uma análise estatística em que foi realizada análise de variância (ANOVA) do tipo não paramétrica, sendo utilizado o teste de Kruskal-Wallis, a partir do Software R Core Team (2021), devido ao fato dos dados não seguirem normalidade.

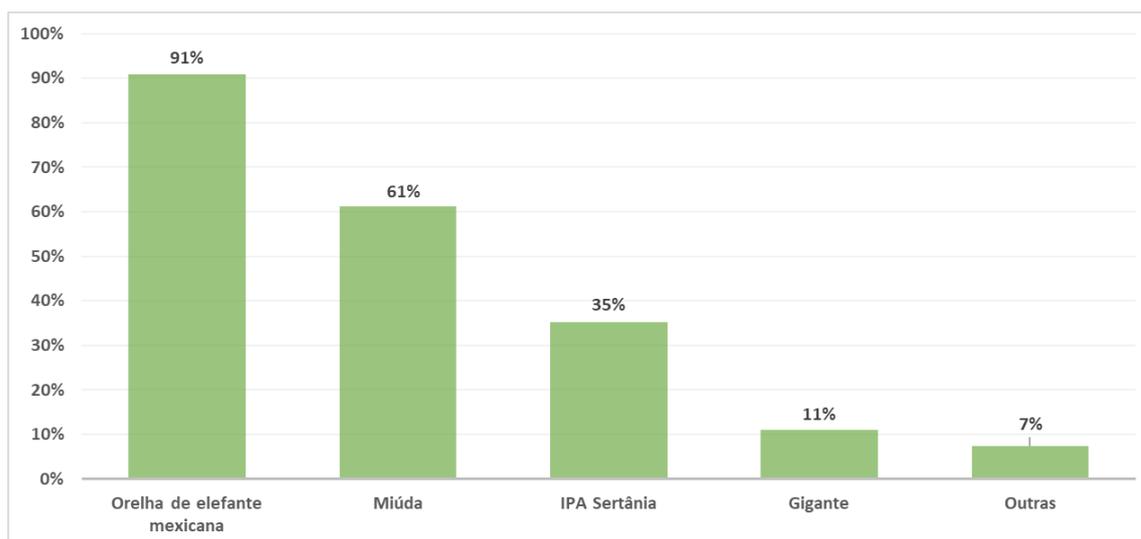
O teste de Kruskal-Wallis é utilizado para comparar dois ou mais grupos independentes e se há diferenças estatisticamente significativas entre os grupos de uma variável independente categórica em uma variável dependente contínua (MARTINS et al., 2019). Posteriormente ao teste de Kruskal-Wallis utilizou-se o post hoc Wilcoxon–Mann–Whitney (MANN & WHITNEY, 1947; WILCOXON, 1945). Para este estudo realizou comparações múltiplas por pares, comparando-se o valor do EROI em relação aos sistemas de manejo, a produtividade, ao tempo de plantio, ao grau de escolaridade dos produtores rurais e à idade deles.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os produtores rurais entrevistados cultivam palma forrageira, em sua maioria, com a finalidade de alimentação animal, principalmente nos períodos de estiagem, com um fornecimento médio de 35,7 Kg para bovinos e 4,94 Kg para caprinos e ovinos. Foi verificado que 39% venderam palma para outras fazendas, com um valor médio de R\$ 0,41Kg-1.

Os clones de palma forrageira mais cultivadas foram a Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* Haw), a Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dick) e a IPA Sertânia (*Nopalea cochenillifera* Salm-Dyck), presentes em 91%, 61% e 35%, das áreas de cultivo, respectivamente (Gráfico 2). Outros clones como a Gigante (*Opuntia ficus indica* Mill), a Redonda (*Opuntia ficus-indica* Mill) e a Orelha de Elefante Africana (*Opuntia ficus indica* Mill) estavam somente em 18% dos campos.

Gráfico 2 - Proporção de clones de palma forrageira cultivados nas propriedades rurais entrevistadas no semiárido brasileiro



Fonte: A Autora, 2022.

Verificou-se também que 87,5% dos produtores do sistema A, 55,6% do B e 20% do C, alugam trator para preparação da terra no cultivo da palma forrageira (Tabela 2). Poucos dos entrevistados adotam tração animal, sendo 12,5% do sistema A e 5,6% do sistema B, enquanto que somente 6,25% do sistema A informou que adotou prática manual em todo o processo de cultivo. Muitos produtores alegaram que

a falta de mão de obra disponível favoreceu o auxílio da mecanização agrícola, principalmente no preparo inicial do terreno para plantio. No entanto, o plantio e colheita das palmas forrageiras, para todos os sistemas, são feitos manualmente, com grande necessidade de mão de obra. Mason et al (2015) constatou que nas áreas semiáridas pouco povoadas tendem a ter pouca disponibilidade de mão-de-obra, visto que as pessoas tendem a migrarem para as cidades e se afastarem de atividades de tecnologias retrocedidas como a colheita manual de culturas como Agave, logo que as circunstâncias as possibilitem. Pode-se entender que a mesma situação deve ter ocorrido para o cultivo de palmas forrageiras nas áreas entrevistadas.

Tabela 3 - Uso de maquinários agrícolas (tratores e implementos) no sistema de baixa (A), média (B) e alta (C) intensidade tecnológica

	Sistema A	Sistema B	Sistema C
Próprio	-	44,4%	80,0%
Alugado	87,5%	55,6%	20,0%
Não usa	12,5%	-	-

Fonte: A Autora, 2022.

Quanto ao tamanho da área de plantação de palma forrageira, verificou-se extrema variação, em que para o sistema A haviam áreas de 0,3 a 35 ha, para o B de 1,0 a 85 ha e para o C de 0,055 – 115ha, sendo uma média geral de 9,57ha. Nos estudos de Ramos et al (2014) em Soledade, na Paraíba, também constatou que as áreas de plantio de palma forrageira tinham médias inferiores a 10ha, enquanto que nos estudos de Leite et al (2014) no Cariri paraibano, verificou-se uma média de 3,7 ha.

No inventário energético, o sistema A destacou-se como o que menos consumiu energia para produção por hectare em um ano, enquanto o sistema B foi o que mais consumiu, pouco acima do sistema C (Tabela 3).

Em todos os sistemas analisados, a maior energia investida foi dos cladódios de palma forrageira utilizados como mudas no plantio. O sistema B teve a maior média de investimento nessa biomassa, consumindo mais em fertilizantes minerais (4.907,25 MJ ha⁻¹ a⁻¹), herbicidas (261,48 MJ ha⁻¹ a⁻¹) e trabalho manual (6.690,42 MJ ha⁻¹ a⁻¹) do que os outros sistemas. Enquanto que o sistema A teve o menor investimento

em energia de entrada na produção de palma forrageira, sobressaindo apenas na energia de trabalho com tração animal (27,60 MJ ha⁻¹ a⁻¹).

Enquanto que no sistema C se destacou no maior consumo energético em combustível (9.272,15 MJ ha⁻¹ a⁻¹), irrigação (462,40 MJ ha⁻¹ a⁻¹) e eletricidade (431,65 MJ ha⁻¹ a⁻¹). Mesmo o sistema C utilizando mecanização mais intensificada, o trabalho de distribuição das mudas no plantio e o corte na colheita ainda é manual, pois a tecnologia para esta cultura ainda não foi avançada e difundida para o produtor rural.

Quanto aos tratamentos culturais, 28% responderam que não realizavam nenhum tratamento para retirada de ervas daninhas, enquanto que 28% informaram que realizam o roço manual e 15% a capina manual. A palma forrageira responde muito bem a capinas e roços (RAMOS et al, 2014). Embora no Brasil ainda não há herbicidas registrados para controle de ervas invasoras em sistemas de produção da palma forrageira (LIRA et al 2017), vimos que 35% dos produtores entrevistados aplicavam herbicida de forma manual e 9% com o pulverizador mecanizado, sendo este último utilizado apenas pelos produtores do sistema C. O sistema que se destacou com o maior consumo médio de energia em herbicidas foi o sistema B (261,48 MJ ha⁻¹ a⁻¹), correspondendo a 35% dos que utilizam esse insumo.

Apesar do sistema B ter investido mais em insumos e mão de obra teve uma produtividade inferior à do sistema C (tabela 3) que utilizou tecnologia mecanizada mais intensificada, reduzindo os custos energéticos. O sistema A teve a menor produtividade, provavelmente causada pela menor densidade de plantio e ausência de fertilizante mineral. Nos estudos de Ramos et al (2014) verificaram que a baixa fertilidade dos solos e a falta de uso de fertilizantes auxiliaram na diminuição da oferta de palma forrageira na região de Soledade, na Paraíba. Ressalte-se que a adubação mineral deve ser feita conforme o resultado da análise do solo (LIRA, 2017), o que dificilmente o produtor de palma realiza e geralmente opta pela adubação orgânica com esterco animal (SOUZA et al, 2019).

No balanço energético não foi considerada a adubação orgânica por ser um resíduo. Mas pôde-se observar, nas entrevistas, que 96,3% dos produtores utilizam esterco animal, que geralmente são obtidos da própria unidade produtiva.

O consumo de eletricidade está ligado à utilização de bomba hidráulica para irrigação, mais comum no sistema C, porém em alguns poucos casos também

utilizados no sistema A. A irrigação deve ter influenciado o aumento da produtividade, principalmente nas regiões em que a disponibilidade e regularidade de chuva é menor. Ferraz (2018) constatou que os cultivos de palma forrageira irrigados tiveram aumento de produtividade de 53,54 t ha⁻¹ ano⁻¹ em comparação aos cultivos de sequeiro, além de ter promovido maior equilíbrio entre os nutrientes nos cladódios. Neupane et al (2021) verificaram em seu experimento em Nevada, EUA, que o peso fresco e seco dos cladódios teve um aumento de 26% e 88%, com o aumento na irrigação da palma forrageira de 300 a 716 mm ano⁻¹, respectivamente.

Todos os sistemas analisados tiveram um valor de EROI positivo dada as condições ambientais de cultivo, mostrando que o sistema de manejo da palma forrageira possui viabilidade energética no Semiárido Brasileiro (Tabela 3). Em uma análise geral dos três sistemas, por hectare ano, o sistema C possui o EROI maior com valor de 5,26, o que significa que a energia produzida tem uma rentabilidade 5,26 vezes maior que a energia investida. O valor mais baixo de 3,6 do sistema B, apesar da boa produtividade, resultou do investimento elevado. Enquanto que o sistema A mostrou-se com EROI de 4,42, superior comparado ao sistema C. Se considerar que o intervalo de plantio e colheita fosse dois anos, o EROI elevaria para uma média de 8,73, 6,19 e 9,71 para o sistema A, B e C, respectivamente, o que torna ainda mais interessante a eficiência energética.

Tabela 4 - Comparação entre os valores médios da energia investida (MJ ha⁻¹ a⁻¹), da energia produzida na colheita (MJ ha⁻¹ a⁻¹) e da energia retornada sobre o investimento (EROI) para a produção de palma forrageira no Semiárido brasileiro nos sistemas de manejo de baixo (A), médio (B) e alto nível tecnológico (C)

Fonte de entrada de energia	A	B	C
Cladódios de plantio	43.270,86	74.012,85	71.247,68
Maquinários	123,81	990,98	1.082,41
Manutenção e reparo	159,72	1.278,37	1.396,31
Combustível Diesel	1.183,30	4.697,06	9.272,15
Lubrificantes e filtros	59,16	234,85	463,61
Irrigação	12,24	-	462,40
Consumo de eletricidade	99,78	-	431,65

Trabalho manual	1.170,56	3.178,26	3.342,31
Trabalho mecanizado	1,42	7,70	12,66
Trabalho com tração animal	27,60	5,86	-
Fertilizantes minerais	-	4.907,25	1.777,41
Herbicida	99,67	261,48	193,29
Total	46.208,12	89.574,67	89.681,87
Saída de energia	204.020,53	322.543,66	472.147,47
Média do EROI	4,42	3,60	5,26

Fonte: A Autora, 2022.

Em uma análise mais detalhada do EROI, levando em consideração também a produtividade, quanto às subdivisões dos três sistemas de manejo, na tabela 4 pode-se verificar que o sistema B, que é um cultivo de sequeiro, nas áreas com adubação mineral, mostrou menor eficiência energética (EROI de 3,21) e produtividade (18,78 tMS ha⁻¹ a⁻¹) do que as áreas sem a inclusão de adubação mineral (EROI de 3,85 e produtividade de 27,37 tMS ha⁻¹ a⁻¹). Embora o sistema C sem irrigação e com adubação mineral ter tido uma produtividade um pouco menor (26,14 tMS ha⁻¹ a⁻¹) do que o sistema B sem adubação mineral (27,37 tMS ha⁻¹ a⁻¹), teve um EROI relevantemente superior a este. Enquanto que, o sistema que se mostrou com a eficiência energética maior foi o sistema C com irrigação e com adubação mineral, tendo EROI de 6,14, além de ter obtido a maior produtividade (37,03 tMS ha⁻¹ a⁻¹).

Isso pode ser entendido que sem a irrigação ou aplicação dos nutrientes minerais sem ser próximo ao período chuvoso pode impossibilitar a absorção dos nutrientes minerais pela planta. Assim, a combinação da adubação mineral com irrigação, bem como o uso de mecanização intensiva para o preparo do solo e em alguns casos também nos tratos culturais, mostrou-se ter rendimento energético favorável, produtivo e relevante no cultivo da palma forrageira, embora que ainda dependa muito da mão de obra para o plantio e colheita.

O Sistema A, embora utilize pouca ou nenhuma mecanização agrícola e sem inclusão de adubação mineral e ter tido a menor produtividade (14,57 tMS ha⁻¹ a⁻¹), mostrou-se ter eficiência energética relevante, superior inclusive ao sistema B e até o sistema C de sequeiro e sem adubação mineral (tabela 4). Muitos produtores de palma

do semiárido brasileiro detém pouco nível tecnológico no cultivo agrícola e é de grande relevância ver que, com pouco investimento, mostra-se que a palma tem um rendimento energético bastante favorável.

Mesmo o EROI dos sistemas A e B terem sido, no geral, mais baixos que C, mostrou-se semelhante aos da mostarda e da colza (variavam entre 1,24 a 4,92) na Polônia (JANKOWSKI et al., 2016). Entretanto, foram inferiores aos do sorgo sacarino no México que variaram de 13,21 a 18,68 (LÓPEZ-SANDIN et al., 2019), por causa da menor necessidade de mão de obra e da viabilidade da mecanização.

Tabela 5 - Comparação entre os valores médios da produtividade e energia retornada sobre o investimento (EROI) dos sistemas de manejo de baixo nível tecnológico (A), médio nível tecnológico (B) com e sem adubação mineral e alto nível tecnológico (C) com ou sem adubação mineral e com ou sem irrigação, de palma forrageira do Semiárido brasileiro

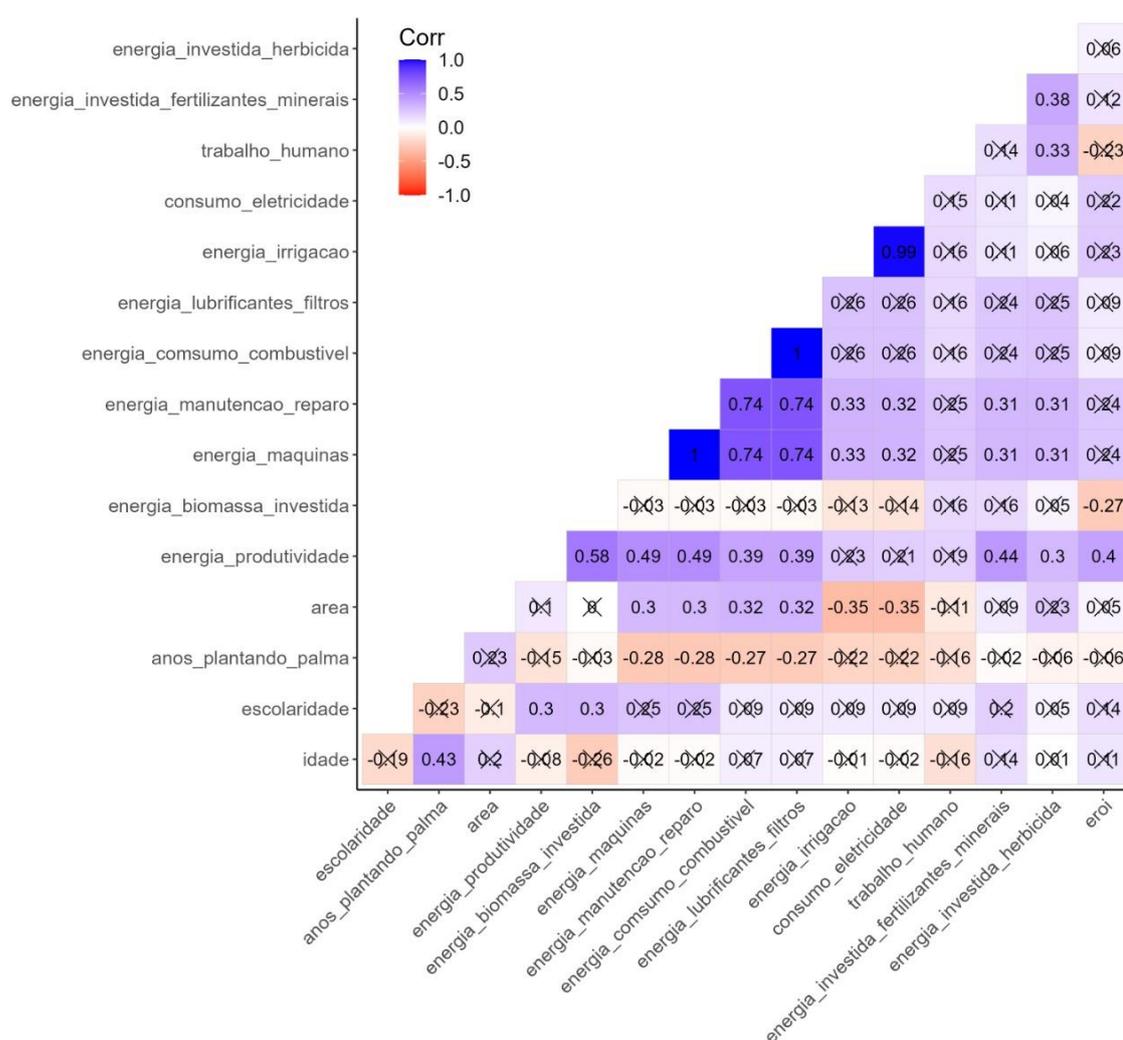
Sistema de manejo de palma forrageira	Subdivisão	Média da Produtividade (tMS ha⁻¹ a⁻¹)	Média do EROI
A	Sem adubação mineral	14,57	4,42
	Com adubação mineral	18,78	3,21
B	Sem adubação mineral	27,37	3,85
	Sem irrigação e sem adubação mineral	36,22	4,05
C	Sem irrigação e com adubação mineral	26,14	5,62
	Com irrigação e sem adubação mineral	28,33	4,57
	Com irrigação e com adubação mineral	37,03	6,14

Fonte: A Autora, 2022.

Na análise de variância não paramétrica, fazendo uma correlação múltipla entre os fluxos energéticos de entrada e saída, o EROI, a área de produção, o tempo de plantio, a escolaridade e idade dos produtores entrevistados (Gráfico 3), pudemos verificar que a maior correlação de pares significativa (0.74) se deram entre a manutenção e reparo com o consumo de combustível e com o consumo de lubrificantes e filtros e também entre a energia investida em maquinários tanto com o consumo de combustível como de lubrificantes e filtros. A energia de produtividade mostrou uma correlação significativa de 0.58 com a energia investida da biomassa dos cladódios plantados. E a menor correlação se deu entre o tamanho da área de

plântio com a irrigação e com o consumo de eletricidade (-0.35). Observou-se também que o EROI mostrou pouca correlação com elementos testados de forma isolada, mas que pode ser melhorado quando se analisa a interação de diversos fatores. Sem contar que a otimização dos insumos de energia implica na melhor produtividade energética.

Gráfico 3 - Gráfico de correlação entre a energia retornada sobre o investimento (EROI), os fluxos de entrada e saída de energia, a área plantada, o tempo de plântio, escolaridade e idade dos produtores de palma forrageira no Semiárido brasileiro



Fonte: A Autora, 2022.

Quando se analisa a correlação entre o EROI dos diferentes sistemas de manejo (Gráfico 4.a), verifica-se que não houve diferença estatisticamente significativa entre os sistemas A e C, e nem entre A e B. No entanto, entre os sistemas

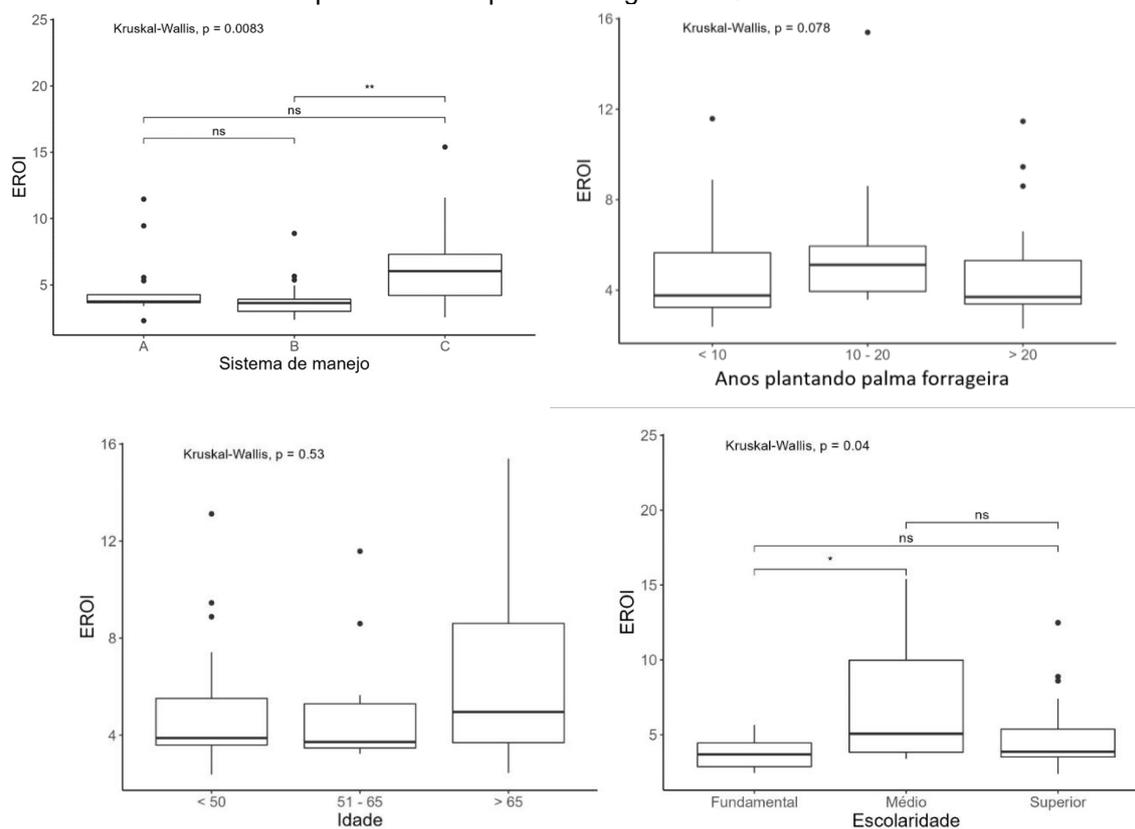
B e C possui diferença estatisticamente significativa a 1%. Contudo, o sistema C mostrou-se ter o maior EROI, com valores de maior variabilidade. E de fato, como vimos na tabela 5, o EROI do sistema C mostrou-se 65,8% maior que o sistema B.

Verificou-se também que o tempo de experiência e a idade do produtor no cultivo de palma nos dados obtidos não influenciaram de forma significativa nos resultados do EROI (Gráficos 10.b e 10.c). No entanto, destaca-se que os produtores com idade acima de 65 anos mostraram ter uma variabilidade maior em relação ao EROI.

Entretanto, houve diferença significativa entre o EROI e a escolaridade dos produtores de 5% (Gráfico 10.d). Observa-se também no gráfico que a maior variabilidade de EROI foi obtida pelos produtores que possuíam nível médio de escolaridade e constatou-se nas entrevistas que 50% deles utilizaram o sistema de manejo C e possuem a maior média de EROI, comparado aos demais sistemas, sendo que a maioria tem experiência com o cultivo mais de 10 anos. O que se pode concordar com Leite et al (2014) quando afirmaram em estudo que a escolaridade dos produtores é um dos fatores que influenciam na produção de palma forrageira.

No entanto, foi verificado que os produtores que possuíam mais de 65 anos, 33,3% cultivam palma entre 10 a 20 anos e possuíam nível médio de escolaridade. Desses, 66,7% aplicam o sistema C na cultura de palma, em que se pode verificar que a experiência e o conhecimento com o cultivo e os períodos de seca, juntamente com a idade do produtor poderiam ter influenciado na busca de alternativas de produção de melhor rendimento energético. Dessa forma, pode-se entender que o conhecimento adquirido e executado no manejo da cultura e sua eficiência energética não mostrou uma relação direta e isolada com o tempo de experiência e a idade dos produtores, podendo o conjunto desses fatores influenciarem no resultado final.

Gráfico 4 - Análise de variância pelo teste de Kruskal-Wallis entre a energia retornada sobre o investimento (EROI) e a) os sistemas de manejo de baixo nível tecnológico (A), médio nível tecnológico (B) e alto nível tecnológico (C), b) e do tempo de plantio, c) a idade e d) a escolaridade dos produtores de palma forrageira do Semiárido brasileiro



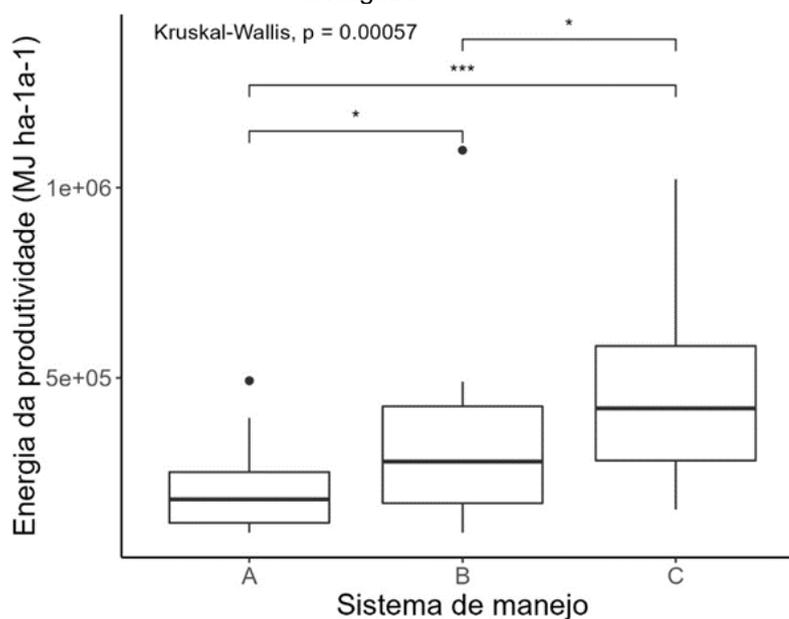
Fonte: O Autor, 2022.

Nota: *, **, *** e **** indicam que existe diferença significativa nos valores de EROI entre os sistemas de manejo ao nível de significância de 5%, 1%, 0.1% e 0.01%, respectivamente. E "ns" denota não significativo.

Contudo, quando se analisa a diferença entre os valores da energia de produtividade da colheita dos diferentes sistemas de manejo (Gráfico 5), verifica que houve diferença significativa entre o sistema A e B e entre B e C ($P < 0,05$), porém entre A e C houve uma maior significância ($P < 0,01$). Como observou-se na tabela 3, em que A e B correspondem a 43,0% e 68,7%, respectivamente, em relação a C. Observa-se também que embora B e C tenham tido variabilidade semelhante, o sistema C mostrou-se valores mais elevados de produtividade. Pode-se verificar que a produtividade é mais relevante, conforme o aumento do nível tecnológico, incorporando a mecanização agrícola, a fertilização adequada e até a irrigação complementar nos períodos de maior estiagem, principalmente em regiões de baixa altitude e de temperaturas elevadas. Ao se dispor de um sistema de irrigação, mesmo em quantidades limitadas de água e que o suprimento hídrico por meio da irrigação

não atinja os requerimentos da cultura, essa mínima quantidade de água pode promover resultados produtivos positivos na planta, comparado a cultivos de sequeiro (LIRA et al., 2017).

Gráfico 5 - Gráfico de análise de variância pelo teste de Kruskal-Wallis da energia de produtividade de colheita dos sistemas de cultivo de baixo (A), médio (B) e alto nível tecnológico (C) de palma forrageira



Fonte: A Autora, 2022.

Contudo, os resultados já mostram que as palmas forrageiras possuem viabilidade energética, que pode ser utilizada tanto para aumentar a produção de forragem animal como para diversos fins, inclusive na produção de biocombustíveis. Entretanto, segundo Mason et al. (2015), ao incluir uma possibilidade alternativa para uso bioenergético das palmas forrageiras, pode provocar um aumento no valor alimentar da biomassa enquanto se utiliza a terra para produção de energia. Mas, como as palmas forrageiras também tem sua funcionalidade de prevenir a degradação ecológica de ambientes sensíveis, bem como recuperar áreas degradadas (SOUZA et al., 2019), podem ser cultivadas para fins energéticos em áreas que já sofrem este efeito de degradação, mitigando assim o impacto e contribuindo com o desenvolvimento energético da localidade, sem comprometer as áreas já destinadas a produção de alimento (QUIROZ et al., 2021). Estudos na Sicília - Itália verificaram que o cultivo de palma (*Opuntia ficus-indica* L.) em áreas não cultivadas para outras finalidades, mostrou que 14% da superfície analisada (798.000 ha de 4.439.000 ha)

havia potencial de produção de biogás equivalente a substituir 14% da necessidade de gás advindas de fontes fósseis, a partir da co-digestão com esterco animal e chorume (COMPARETTI et al., 2017). Assim, pode-se verificar o potencial promissor que a palma pode favorecer nas áreas não cultivadas, principalmente nas regiões semiáridas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A produção de palma forrageira, tanto pelo sistema de baixo (A), como de médio (B) e de alto (C) nível tecnológico, mostrou viabilidade energética favorável, podendo ser viável para cultivo em larga escala para fins energéticos, mesmo em áreas de menor investimento tecnológico e de insumos.

Entre os sistemas analisados, o de alto nível tecnológico foi o mais eficiente, com energia retornada sobre o investimento (EROI) média de 5,29, potencializada se só considerar as áreas com irrigação e fertilização mineral (EROI de 6,14) e minimizada nas áreas sem irrigação e sem adubação mineral (EROI de 4,05), inclusive ficando inferior ao sistema A (EROI de 4,42). O investimento no sistema B resultou no menor retorno energético com média de 3,60, reduzindo mais ainda nas áreas que incluíram adubação mineral (EROI de 3,21). Verificou-se também que a maior variabilidade do EROI se deu nos cultivos de produtores acima de 65 anos, com nível médio de escolaridade e sistema de cultivo de alta intensidade tecnológica, enquanto que a produtividade também se mostrou a maior variabilidade para este sistema.

Dessa forma, pode-se entender que o investimento mínimo de tecnologias e insumos, como o sistema A, mostrou rendimento energético favorável, mas se quiser maximizar esse rendimento energético, o investimento em tecnologia de mecanização mais avançada, inclusão de adubação mineral e irrigação suplementar, como foi o caso do sistema C, mostrou-se ser o mais viável.

Diante disso, pode-se verificar que as palmas forrageiras podem ser uma solução bioenergética favorável para a região semiárida.

REFERÊNCIAS

- ABEL, Christin *et al.* The human–environment nexus and vegetation– rainfall sensitivity in tropical drylands. **Nature Sustainability**, [S.l.], 2020, p. 10. DOI: 10.1038/s41893-020-00597-z. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41893-020-00597-z>. Acesso em: 01 Dez. 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ISO 14040**: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ISO 14044**: Gestão ambiental — Avaliação do ciclo de vida — Requisitos e orientações. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- ACAROGLU, Mustafa; AKSOY, Semi A. The cultivation and energy balance of *Miscanthus Á giganteus* production in Turkey. **Biomass & Energy**, [S.l.], v. 29, 2005, p. 42–48. DOI: 10.1016/j.biombioe.2005.01.002. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0961953405000152?via%3Di> hub. Acesso em: 11 Nov. 2020.
- ALBUQUERQUE, Severino Gonzaga. **Cultivo da palma forrageira no sertão do São Francisco**. Petrolina: Embrapa Semi-árido, 2000. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPATSA/8763/1/COT91.pdf>. Acesso em: 14 Set. 2020.
- ALBUQUERQUE, Severino Gonzaga; SANTOS, Djalma Cordeiro dos. Palma-forrageira. *In*: KILL, Lúcia Helena Piedade; MENEZES, Eduardo Assis (org.). **Espécies vegetais exóticas com potencialidades para o semi-árido brasileiro**. 1. ed. Petrolina: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. p. 91–127.
- ALBUQUERQUE, Fábio Aquino *et al.* Análise Energética Do Cultivo Do Algodão Orgânico Consorciado Com Culturas Alimentares. *In*: 2010, Campina Grande. **Anais do IV Congresso Brasileiro de Mamona e I Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2010. p. 341–347. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/18351/1/ECP-16.pdf>. Acesso em: 4 ago. 2021.
- ARAÚJO, Jucilene Silva *et al.* **Palma Forrageira: plantio e manejo**. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, 2019. *E-book*. Disponível em: [https://portal.insa.gov.br/images/acervo-livros/Cultivo palma final gráfica.pdf](https://portal.insa.gov.br/images/acervo-livros/Cultivo%20palma%20final%20gráfica.pdf). Acesso em: 07 Dez. 2020.
- BEZERRA, Silvio André de Freitas *et al.* Demanda hídrica bruta da palma forrageira em cenários futuros de mudanças climáticas no Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.l.], v. 08, p. 1628–1643, 2015. DOI: 10.26848/rbgf.v8.6.p1628-1643. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/233666>. Acesso em: 17 Set. 2020.
- BRASIL. **Lei 11.097, de 13 de janeiro de 2005**. Dispõe sobre a introdução do

biodiesel na matriz energética brasileira; altera as Leis ns. 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.847, de 26 de outubro de 1999 e 10.636, de 30 de dezembro de 2002; e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, 2005.

BRASIL. **Lei 13.263, de 23 de março de 2016**. Altera a Lei nº 13.033, de 24 de setembro de 2014, para dispor sobre os percentuais de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado no território nacional. Brasília: Presidência da República, 2016.

BRASIL. **Lei 13.576 de 27 de dezembro de 2017**. Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, 2017.

BRASIL. **Biomassa para energia no Nordeste: atualidade e perspectivas**. Brasília: MMA, 2018.

BRITO, Luiza Teixeira de Lima; MOURA, Magna Soelma Beserra de; GAMA, Gislene Feitosa Brito. **Potencialidades da água de chuva no semi-árido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semi-árido, 2007.

BUDZYNSKI, Wojciech Stefan; JANKOWSKI, Krzysztof Józef; JAROCKI, Marcin. An analysis of the energy efficiency of winter rapeseed biomass under different farming technologies. A case study of a large-scale farm in Poland. **Energy**, [S.l.], v. 90, 2015, p. 1272–1279. DOI: 10.1016/j.energy.2015.06.087. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544215008439?via%3Dihub>. Acesso em: 26 Fev. 2021.

CAMPOS, Alessandro Torres; CAMPOS, Aloísio Torres de. Balanços energéticos agropecuários: uma importante ferramenta como indicativo de sustentabilidade de agroecossistemas. **Ciência Rural**, [S.l.], v. 34, n. 6, p. 1977–1985, 2004. DOI: 10.1590/s0103-84782004000600050. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/5z48CzrVnRS4XFT6jr6XpHg/?lang=pt>. Acesso em: 27 Mai. 2020.

CHANG, Danni; LEE, C. K. M.; CHEN, Chun Hsien. Review of life cycle assessment towards sustainable product development. **Journal of Cleaner Production**, [S.l.], v. 83, 2014, p. 48–60. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.07.050. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652614007690?via%3Dihub>. Acesso em: 30 Ago. 2020.

CHECHETTO, Rodolfo Glauber; SIQUEIRA, Rubens; GAMERO, Carlos Antonio. Energy balance for biodiesel production by the castor bean crop (*Ricinus communis* L.). **Revista Ciencia Agronomica**, [S.l.], v. 41, n. 4, 2010, p. 546–553. DOI: 10.1590/s1806-66902010000400006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rca/a/sHGdzb9MVJw5H6xQbrZ53gR/?lang=pt>. Acesso em: 25/05/2020.

CHIACCHIO, Francisco Paulo Brandão; MESQUITA, Augusto Sávio; SANTOS, Jucimara Rodrigues dos. Palma forrageira: uma oportunidade econômica ainda desperdiçada para o Semi-árido baiano. **Bahia Agrícola**, [S.l.], v. 7, n. 3, 2006, p. 39–

49. Disponível em: <http://www.almanaquedocampo.com.br/imagens/files/Forrageira.pdf>. Acesso em: 10 Mar. 2021.

COELHO, Rildo S. B. Doenças da palma. *In*: MENEZES, Rômulo S. C.; SIMÕES, Diogo A.; SAMPAIO, Everardo V. S. B. (org.). **A palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2005. p. 57–63.

COMPARETTI, Antonio *et al.* Potential production of biogas from prickly pear (*Opuntia ficus-indica* L.) in sicilian uncultivated areas. **Chemical Engineering Transactions**, [S.l.], v. 58, n. June, 2017, p. 559–564. DOI: 10.3303/CET1758094. Disponível em: <https://www.aidic.it/cet/17/58/094.pdf>. Acesso em: 23 Jan. 2022.

CORTÁZAR, V. G., VARNERO, M.T. Produção de Energia. *In*: BARBERA, Guisepp; INGLESE, Paolo (Eds.). **Agroecologia, cultivos e usos da palma forrageira**. Paraíba: SEBRAE/PB, 2001. p.187-210.

CUNHA, Márcio Vieira da; FERRAZ, André Pereira Freire. Colheita. *In*: IPA (org.). **PALMA FORRAGEIRA: Cultivo e Usos**. 2. ed. Recife: CREA-PE, 2017. p. 51–52.

CUSHMAN, John C. *et al.* Development and use of bioenergy feedstocks for semi-arid and arid lands. **Journal of Experimental Botany**, [S.l.], v. 66, n. 14, 2015, p. 4177–4193. DOI: 10.1093/jxb/erv087. Disponível em: <https://academic.oup.com/jxb/article/66/14/4177/2893371>. Acesso em: 15 Jul. 2020.

DONKE, Ana Cristina Guimarães. **Avaliação de desempenho ambiental e energético da produção de etanol de cana, milho e sorgo em uma unidade integrada, segundo a abordagem do ciclo de vida**. 2016. 246 f. Dissertação. (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

DUBEUX JR, José Carlos Batista; SANTOS, Mércia Virgínia Ferreira dos. Exigências nutricionais da palma forrageira. *In*: MENEZES, Rômulo Simões Cezar; SIMÕES, Diogo Ardaillon; SAMPAIO, Everardo V. S. B. (org.). **A palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso**. 1. ed. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2005. p. 258.

EPE. Balanço Energético Nacional 2019 Relatório Síntese / Ano Base 2018. **Balanço Energético Nacional**, [S.l.], 2019, p. 67. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-377/topico-470/Relat%C3%B3rio%20S%C3%ADntese%20BEN%202019%20Ano%20Base%202018.pdf>. Acesso em: 15 Dez. 2020.

FARIAS, Iderval; SANTOS, Djalma Cordeiro dos; DUBEUX JR, José Carlos Batista. Estabelecimento e manejo da palma forrageira. *In*: MENEZES, Rômulo S. C.; SIMÕES, Diogo A.; SAMPAIO, Everardo V. S. B. (org.). **A palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2005. p. 81–103.

FERRAZ, Renner Luciano de Souza. **Palma forrageira fertirrigada no Semiárido brasileiro: estimativa meta-analítica da produtividade, estado nutricional e composição bromatológica**. 2018. 111 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2018.

FROTA, Marcílio Nilton Lopes da et al. **Palma Forrageira na Alimentação Animal**. 1ª edição ed. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2015.

GALINDO, Izabel C. L.; SAMPAIO, Everardo V. S. B.; MENEZES, Rômulo S. C. Uso da palma na conservação dos solos. *In*: MENEZES, Rômulo S. C.; SIMÕES, Diogo A.; SAMPAIO, Everardo V. S. B. (org.). **A palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2005. p. 163–176.

HALL, Charles A. S. Energy return on investment: A unifying principle for biology, economics, and sustainability. **Lecture Notes in Energy**, [S.l.], v. 36, 2017, p. 309–320. DOI: 10.1007/978-3-319-47821-0. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/978-1-4419-9398-4>. Acesso em: 03 Jul. 2020.

HATIRLI, Selim Adem; OZKAN, Burhan; FERT, Cemal. An econometric analysis of energy input – output in Turkish agriculture. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 9, 2005, p. 608–623. DOI: 10.1016/j.rser.2004.07.001 Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032104000826?via%3Di> hub. Acesso em: 11 Nov. 2020.

IBGE. **Censo Agropecuário**. 2017. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6615>. Acesso em: 15 set. 2020.

IBGE. **Semiárido Brasileiro**. 2018. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15974-semiarido-brasileiro.html?=&t=sobre>. Acesso em: 9 jul. 2020.

IRENA. **Insights on Renewables**. 2019. Disponível em: <https://www.irena.org/>. Acesso em: 09 Jul.2020.

JANKOWSKI, K. J., BUDZYNSKI, W. S., KIJEWSKI, Ł. An analysis of energy efficiency in the production of oilseed crops of the family Brassicaceae in Poland. **Energy**. 2015, p. 1-8. DOI: 10.1016/j.energy.2015.01.012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544215000195>. Acesso em: 02 Set. 2021.

JANKOWSKI, Krzysztof Józef *et al.* Energy efficiency of crops grown for biogas production in a large-scale farm in Poland. **Energy**, v. 109, 2016, p. 277–286. DOI: 10.1016/j.energy.2016.04.087. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S036054421630500X?via%3Di> hub. Acesso em: 02 Set.2021.

KITANI, Osamu *et al.* Energy and biomass engineering. *In*: **CIGR Handbook of**

Agricultural Engineering. MI, USA: American Society of Agricultural Engineers: St Joseph, 1999. v. V. p. 17.

KULOYO, Olukayode O.; JAMES, C.; GARCI, Prado. Opuntia ficus-indica cladodes as feedstock for ethanol production by *Kluyveromyces marxianus* and *Saccharomyces cerevisiae*. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, [S.l.], v. 30, 2014, p. 3173–3183. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11274-014-1745-6>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11274-014-1745-6>. Acesso em: 28 Out. 2020.

LAMBERT, Jessica G. *et al.* Energy, EROI and quality of life. **Energy Policy**, [S.l.], v. 64, 2014, p. 153–167. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.07.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421513006447?via%3Dihub>. Acesso em: 01 Out. 2020.

LECKSIWILAI, Naruetep; GHEEWALA, Shabbir H. Life cycle assessment of biofuels in Thailand: Implications of environmental trade-offs for policy decisions. **Sustainable Production and Consumption**, [S.l.], v. 22, 2020, p. 177–185. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.03.004>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352550919304890?via%3Dihub>. Acesso em: 14 Mai. 2022.

LEITE, Maurício Luiz de Mello Vieira *et al.* Caracterização da produção de palma forrageira no cariri paraibano. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 27, n. 2, 2014, p. 192–200. Disponível em: https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/2830/pdf_128. Acesso em: 30 Abr. 2021.

LIJÓ, Lucía *et al.* Assuring the sustainable production of biogas from anaerobic monodigestion. **Journal of Cleaner Production**, [S.l.], v. 72, 2014, p. 23–34. DOI: [10.1016/j.jclepro.2014.03.022](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.03.022). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652614002431?via%3Dihub>. Acesso em: 01 Jun. 2020.

LIMA-JÚNIOR, Claudemiro de *et al.* Potencial de aproveitamento energético de fontes de biomassa no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.l.], v. 7, n. 2, 2014, p. 207–221. Disponível em: <http://www.revista.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/viewArticle/689>. Acesso em: 07 Ago. 2020.

LIMA, Guilherme Ferreira da Costa *et al.* **Palma forrageira Irrigada e adensada: uma Reserva Forrageira Estratégica para o Semiárido Potiguar**. Parnamirim: EMPARN, 2015.

LIRA, Mário de Andrade. **Palma forrageira: cultivo e usos**. Recife: CREA-PE, v. 7, 2017.

LÓPEZ-SANDIN, Iosvany *et al.* Evaluation of the use of energy in the production of

sweet sorghum (*sorghum bicolor* (L.) Moench) under different production systems. **Energies**, [S.I.], v. 12, n. 9, 2019, p. 1–13. DOI: 10.3390/en12091713. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/9/1713>. Acesso em: 08 Mai. 2020.

MANN, H.B.; WHITNEY, D.R. On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. **Ann. Math. Stat**, [S.I.], v. 18,n 1, 1947, p. 50–60. DOI: 10.1214/aoms/1177730491. Acesso em: <https://projecteuclid.org/journals/annals-of-mathematical-statistics/volume-18/issue-1/On-a-Test-of-Whether-one-of-Two-Random-Variables/10.1214/aoms/1177730491.full>. Acesso em: 08 Ago. 2021.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MARIANO, Gabriel Cassemiro *et al.* Energy balance to production process of biodiesel non-catalytic using supercritical ethanol and soybean seed. **Brazilian Journal of Development**, [S.I.], v. 4, n. 6, 2015, p. 81–92. DOI: 10.34117/bjdv6n4-035. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/8396/7246>. Acesso em: 20 Ago. 2020.

MARTINS, Florinda *et al.* Analysis of fossil fuel energy consumption and environmental impacts in european countries. **Energies**, [S.I.], v. 12, n. 6, 2019, p. 1–11. DOI: 10.3390/en12060964. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/6/964>. Acesso em: 14 Out. 2021.

MASON, P. Michael *et al.* The potential of CAM crops as a globally significant bioenergy resource: Moving from “fuel or food” to “fuel and more food”. **Energy and Environmental Science**, [S.I.], v. 8, n. 8, 2015, p. 2320–2329. DOI: 10.1039/c5ee00242g. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2015/EE/C5EE00242G>. Acesso em: 14 Jun. 2020.

MELLO, Alexandre Carneiro Leão de; CUNHA, Márcio Vieira da. Tratos Culturais. *In*: LIRA, Mário de Andrade (org.). **PALMA FORRAGEIRA: Cultivo e Usos**. Recife: CREA-PE, 2017. p. 49–50.

MELO, Dirceu de *et al.* Balanço energético do sistema de produção de soja e milho em uma propriedade agrícola do Oeste do Paraná. **Acta Scientiarum. Agronomy**, [S.I.], v. 29, n. 2, p. 173–178, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v29i2.233>

MEUL, Marijke *et al.* Energy use efficiency of specialised dairy , arable and pig farms in Flanders. **Agriculture Ecosystems & Environment**, [S.I.], v. 119, 2007, p. 135–144. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.07.002>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880906002714?via%3Dihub>. Acesso em: 11 Nov. 2020.

MURPHY, David J.; HALL, Charles A. S. Year in review — EROI or energy return on (energy) invested. *In*: 2010, New York. **Annals of the New York Academy of**

Sciences. New York: Academy of Sciences, 2010. p. 102–118. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.05282.x>. Disponível em: <https://nyaspubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1749-6632.2009.05282.x>. Acesso em: 01 Out. 2020.

MUYLLE, Hilde *et al.* Yield and energy balance of annual and perennial lignocellulosic crops for bio-refinery use: A 4-year field experiment in Belgium. **European Journal of Agronomy**, [S.l.], v. 63, p. 62–70, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2014.11.001>

NEUPANE, Dhurba *et al.* Five-year field trial of the biomass productivity and water input response of cactus pear (*Opuntia* spp.) as a bioenergy feedstock for arid lands. **GCB Bioenergy**, [S.l.], v. 13, n. 4, 2021, p. 719–741. DOI: 10.1111/gcbb.12805. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gcbb.12805>. Acesso em: 15 Jul. 2021.

ONU. **Portal da Organização das Nações Unidas Brasil**. 2016. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 01 fev. 2021.

PACETTI, Tommaso; LOMBARDI, Lidia; FEDERICI, Giorgio. Water-energy Nexus: A case of biogas production from energy crops evaluated by Water Footprint and Life Cycle Assessment (LCA) methods. **Journal of Cleaner Production**, [S.l.], v. 101, 2015, p. 278–291. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.03.084>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652615003248?via%3Di> hub. Acesso em: 01 Jun. 2020.

PACHECO, Edson Patto. **Seleção e custo operacional de máquinas agrícolas**. Acre: Embrapa, 2000. Disponível em: <http://catuaba.cpacfac.embrapa.br/pdf/doc58.pdf>. Acesso em: 07 Abr. 2021.

PANEQUE, Pedro; ERNANDES, Haroldo Carlos; OLIVEIRA, Antonio Donizette de. Comparación de cuatro sistemas de labranza/siembra em relación con su costo energético. **Revista Ciências Técnicas Agropecuárias**, [S.l.], v. 11, n. 2, 2002, p. 1–6. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/932/93211201.pdf>. Acesso em: 04 Nov. 2020.

PESSOA, Antônio Santiago. **Cultura da palma forrageira**. Recife: SUDENE, 1967.

PELLETIER, Nathan. Life Cycle Thinking, Measurement and Management for Food System Sustainability. **Environmental Science and Technology**, [S.l.], v. 49, n. 13, 2015, p. 7515–7519. DOI: 10.1021/acs.est.5b00441. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.5b00441>. Acesso em: 14 Abr. 2022.

PINOS-RODRÍGUEZ, J. M. *et al.* Effects of cladode age on biomass yield and nutritional value of intensively produced spineless cactus for ruminants. **South African Journal of Animal Sciences**, [S.l.], v. 40, n. 3, 2010, p. 245–250. DOI: <https://doi.org/10.4314/sajas.v40i3.14>. Disponível em: <https://www.ajol.info/index.php/sajas/article/view/61812>. Acesso em: 13 Ago.2021.

QUEIROGA, Vicente de Paula *et al.* **Palma Forrageira (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill): Tecnologias de plantio e utilização**. Campina Grande: AREPB, 2020.

QUIROZ, Madelaine *et al.* Cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) in areas with limited rainfall for the production of biogas and biofertilizer. **Journal of Cleaner Production**, [S.l.], v. 289, 2021, p. 125839. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.125839. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652621000597?via%3Di> hub. Acesso em: 23 Jan.2022.

R Core Team (2021). **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>> Acesso em: 15 jul. 2021.

RAMÍREZ-ARPIDE, Félix Rafael *et al.* Life cycle assessment of biogas production through anaerobic co-digestion of nopal cladodes and dairy cow manure. **Journal of Cleaner Production**, [S.l.], v. 172, 2018, p. 2313–2322. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.180>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652617328536?via%3Di> hub. Acesso em: 27 Mai. 2020.

RAMÍREZ-ARPIDE, Félix Rafael *et al.* Bioenergy production from nopal cladodes and dairy cow manure on a farm-scale level: Challenges for its economic feasibility in Mexico. **Renewable Energy**, [S.l.], v. 142, 2019, p. 383–392. DOI: 10.1016/j.renene.2019.04.093. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148119305774?via%3Di> hub. Acesso em: 22 Dez.2020.

RAMOS, João Paulo Farias *et al.* Caracterização Técnica Dos Sistemas De Produção De Palma Forrageira Em Soledade, PB. **Revista AGROTEC**, [S.l.], v. 35, n. 1, 2014, p. 23–30. DOI: 10.25066/agrotec.v35i1.10165. Disponível em: <http://periodicos.ufpb.br/ojs/index.php/at/index>. Acesso em: 20 Ago. 2020.

ROCHA, Agostinho *et al.* A new approach for real time train energy efficiency optimization. **Energies**, [S.l.], v. 11, n. 10, 2018, p. 1–21. DOI: <https://doi.org/10.3390/en11102660>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/11/10/2660>. Acesso em: 13 Ago. 2020.

ROCHA, Juliana Evangelista da Silva. **Palma forrageira no Nordeste do Brasil: Estado da Arte**. 1ª ed. Sobral: Embrapa Caprinos e Ovinos, 2012.

SÁENZ, Carmen *et al.* Opuntias as a natural resource. *In: Agro-industrial utilization of cactus pear*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2013. p. 1–5.

SAMPAIO, Everardo V. S. B. Fisiologia da palma. *In: MENEZES, Rômulo Simões Cezar; SIMÕES, Diogo Ardaillon; SAMPAIO, Everardo V. S. B. (org.). A palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso*. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2005. p. 258.

SANTOS, D. C. dos *et al.* **MANEJO E UTILIZAÇÃO DA PALMA FORRAGEIRA (*Opuntia e Nopalea*) EM PERNAMBUCO**. Recife: IPA, 2006.

SANTOS, Djalma Cordeiro dos *et al.* **A palma forrageira no Nordeste do Brasil**. Recife: Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE, 2019.

SANTOS, Taciana do Nascimento *et al.* Potential for biofuels from the biomass of prickly pear cladodes: Challenges for bioethanol and biogas production in dry areas. **Biomass and Bioenergy**, [S.I.], v. 85, 2016, p. 215–222. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.12.005>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S096195341530177X?via%3Di> hub. Acesso em: 27 Mai.2020.

SEBRAE. **Pensamento do ciclo de vida**: negócios conscientes a caminho da sustentabilidade. Cuiabá: Color, 2017.

SILVA, Alineaura Florentino; CEZIMBRA, Carina Moreira; MIRANDA, Daniel Barbosa. **Instruções técnicas da Embrapa Semi-Árido nº 57**. Petrolina: Embrapa Caprinos e Ovinos, 2004.

SIMÕES, Diogo A.; SANTOS, Djalma Cordeiro dos; DIAS, Flávio Marcos. Introdução da palma forrageira no Brasil. *In*: MENEZES, Rômulo S. C.; SIMÕES, Diogo A.; SAMPAIO, Everardo V. S. B. (org.). **A palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2005. p. 13–26.

SOUZA, A. C. Novos experimentos com “palmas forrageiras” (*Opuntia ficus-indica*, Mill e *Nopalea cochenillifera*, (L.) Salm Dyck) em Pernambuco, Brasil. *In*: 1965, São Paulo. **CONGRESSO INTERNACIONAL DE PASTAGENS**. São Paulo: Secretaria da Agricultura do Estado de Pernambuco, 1965. p. 1465–1469.

AIRES SOUZA, José Thyago *et al.* Caracterização técnico-produtiva do sistema de cultivo de palma forrageira no Cariri Paraibano. **Revista de Agricultura Neotropical**, [S.I.], v. 6, n. 2, 2019, p. 64–71. DOI: 10.32404/rean.v6i2.1683. Disponível em: <https://periodicosonline.uems.br/index.php/agrineo/article/view/1683>. Acesso em: 24 Mai. 2021.

TABATABAEEFAR, A. *et al.* Comparison of energy of tillage systems in wheat production. **Energy**, [S.I.], v. 34, 2009, p. 41–45. DOI: 10.1016/j.energy.2008.09.023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544208002533?via%3Di> hub. Acesso em: 06 Nov. 2020.

TAVERA-CORTÉS, Maria Elena; ESCAMILLA-GARCÍA, Pablo Emilio; PÉREZ-SOTO, Francisco. Impacts on Productivity through Sustainable Fertilization of Nopal (*Opuntia ficus-Indica*) Crops Using Organic Compost. **Journal of Agricultural Science**, [S.I.], v. 10, n. 4, 2018, p. 297. DOI: 10.5539/jas.v10n4p297. Disponível em: <https://www.ccsenet.org/journal/index.php/jas/article/view/73029>. Acesso em: 14 Jul. 2020.

VIDAL, Maria de Fátima. Produção e uso de biocombustíveis no Brasil. **Caderno Setorial ETENE**, [S.l.], v. 4, n. 79, 2019, p. 1–13. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/documents/80223/5014256/78_Biocombustiveis.pdf/e0dc0c8c-e995-16ec-d63c-d477f80e0131. Acesso em: 23 Mar. 2021.

VILCHE, María S. *et al.* EL uso de la energía en los sistemas agropecuarios del distrito Zavalla (Santa Fe)*. **Revista Científica Agropecuaria**, [S.l.], v. 10, n. 1, p. 7–19, 2006. Disponível em: http://www2.fca.uner.edu.ar/rca/Volumenes Anteriores/Vol Ante 10/rca_10_1_pdf/rca_104_f.pdf. Acesso em: 11 Nov. 2020.

WILCOXON, F. Individual comparisons by ranking methods. *Biometrics Bulletin*, [S.l.], v. 1, n. 6, 1945, p. 80–83. DOI: 10.2307/3001968. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/3001968>. Acesso em: 20 Nov. 2021.

YANG, Lisha *et al.* Biomass characterization of *Agave* and *Opuntia* as potential biofuel feedstocks. **Biomass and Bioenergy**, [S.l.], v. 76, 2015, p. 43–53. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.03.004>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0961953415000847?via%3Dihub>. Acesso em: 28 Mai. 2020.

YILMAZ, Ibrahim; AKCAOZ, Handan; OZKAN, Burhan. An analysis of energy use and input costs for cotton production in Turkey. **Renewable Energy**, [S.l.], v. 30, n. 2, 2005, p. 145–155. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2004.06.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148104002393?via%3Dihub>. Acesso em: 11 Nov. 2020.

**APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO SEMIESTRUTURADO PARA O ESTUDO DO
BALANÇO ENERGÉTICO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO DA PALMA
FORRAGEIRA**

1. Qual seu município e estado? _____

2. Qual sua idade?
 - a. Entre 18 e 30 anos ()
 - b. Entre 31 e 50 anos ()
 - c. Entre 51 e 65 anos ()
 - d. Mais de 65 anos ()

3. Sexo:
 - a. Feminino ()
 - b. Masculino ()

4. Nível de escolaridade:
 - a. Analfabeto ()
 - b. Alfabetizado ()
 - c. Fundamental ()
 - d. Médio ()
 - e. Superior ()

5. Há quanto tempo você vem plantando palma?
 - a. Menos de 10 anos ()
 - b. Entre 10 e 20 anos ()
 - c. Mais de 20 anos ()

6. Qual o tamanho de sua área de plantação com palma? _____

7. Qual variedade de palma você planta?
 - a. Palma Gigante ()
 - b. Palma Redonda ()
 - c. Orelha de Elefante Mexicana ()
 - d. Miúda ou Doce ()
 - e. Baiana ou IPA Sertânia ou Mão de Moça ()
 - f. Outra () Qual? _____

8. No seu plantio de palma você faz? (Escolha quantas opções quiser)

- a. Aração ()
- b. Gradagem aradora ()
- c. Gradagem niveladora ()
- d. Subsolagem ()
- e. Capina ()
- f. Roço ()

9. Qual o tipo de trator e equipamentos (especificar modelo e ano) você utiliza em sua palma? _____

10. Esses maquinários utilizados (trator e implementos) são:

- a. Próprios ()
- b. Alugados ()
- c. Tração animal ()

11. Quantas horas são gastas com o uso de trator em cada atividade na área de palma? (exemplo: gradeamento gasto 3 horas; sulcamento gasto 1 hora)

12. Você compra palma para plantio?

- a. Sim (). Qual o último preço de compra (valor do milheiro)?

- b. Não ()

13. Com que distância você planta a palma?

- a. entre ruas - e(fileira dupla)
- b. entre raquetes:
- c. Entre ruas - e (para fileira dupla)

14. Quantos dias de trabalho você acha que são utilizados no plantio de 1 hectare de palma? _____

15. Quantas pessoas trabalham no plantio de sua área de palma?

16. Você aplica esterco na palma? Se sim, qual a quantidade?

- a. Meia pá por metro ()
- b. 1 pá por metro ()

44. Qual o transporte que você utiliza para coletar a palma (carroça, carro de boi, caminhonete F4000, caminhão, etc.) e quanto tempo gasta para colher e carregar a palma nesse transporte?

45. Quantos trabalhadores são necessários na colheita e carregamento da palma?

46. Você já vendeu sua palma?

a. Sim (). Quando? _____

b. Não ()

47. Qual o preço que você vendeu sua palma? _____

48. Quanta palma você dá ao gado, para cada animal? _____

APÊNDICE B - RESUMO GRÁFICO

1 - Entrevistas com 54 produtores de palma forrageira do semiárido brasileiro

2 - Balanço energético dos dados

