



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**ERIALDO DE OLIVEIRA FEITOSA**

**BALANÇO EMERGÉTICO DE DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO**  
**AGRÍCOLA NA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL**

**FORTALEZA**

**2018**

ERIALDO DE OLIVEIRA FEITOSA

BALANÇO EMERGÉTICO DE DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO  
AGRÍCOLA NA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Ceará, como requisito para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Agrícola.

Área de concentração: Engenharia Sistemas Agrícolas.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Bezerra Lopes

ERIALDO DE OLIVEIRA FEITOSA

BALANÇO EMERGÉTICO DE DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO  
AGRÍCOLA NA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Ceará, como requisito para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Agrícola.

Área de concentração: Engenharia Sistemas Agrícolas.

Aprovado em:

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Fernando Bezerra Lopes (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará – UFC

---

Prof. Dr. Francisco Marcus Lima Bezerra (Examinador)  
Universidade Federal do Ceará - UFC

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Helba Araújo de Queiroz Palácio (Examinadora)  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - Campus Iguatu

---

Prof. Dr. Sílvio Carlos Ribeiro Vieira Lima (Examinador)  
Agência de Desenvolvimento do Estado do Ceará - ADECE

---

Prof. Dr. Cley Anderson Silva de Freitas (Examinador)  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - Campus Crato

*Aos meus pais, Leandro de Oliveira  
Feitosa e Joana Simão da Silva Feitosa.  
Aos meus irmãos Hernandes, Eraldo,  
Janaina, Edinho, Everaldo, Patrícia,  
Simone, Evaldo, Jéssica e Edson, por  
serem os maiores responsáveis pelo  
êxito alcançado, por estar sempre  
presente em minha vida.*

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por me proporcionar mais uma realização na minha vida, me concedendo coragem e graça para tudo eu vencer com discernimento e sabedoria.

A Universidade Federal do Ceará, em particular ao Departamento de Engenharia Agrícola pela oportunidade oferecida à realização do curso de Doutorado em Engenharia Agrícola.

Ao Professor Dr. Fernando Lopes, pelo apoio, amizade, orientação e dedicação a mim oferecido durante essa caminhada.

Aos meus pais, Leandro de Oliveira Feitosa e Joana Simão da Silva Feitosa, pelo apoio, confiança e dedicação.

Aos meus irmãos: Hernandes, Eraldo, Janaina, Edinho, Everaldo, Patrícia, Simone, Evaldo, Jessica e Edson pelo apoio, carinho, incentivo e compreensão.

Aos professores, Francisco Marcus Lima Bezerra, Helba Araújo de Queiroz Palácio, Sílvio Carlos Ribeiro Vieira Lima e Cley Anderson Silva de Freitas pelas contribuições no trabalho.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - Campus Tianguá, em nome do Prof. Dr. Cley Anderson Silva de Freitas e do Prof. Dr. Clemilton Ferreira da Silva pelo suporte no desenvolvimento do trabalho.

A Companhia de Água e Esgoto do Ceará - CAGECE, em nome de Cristiano Dantas Araújo e Ronner Gondim pelo apoio e espaço cedido para a condução do experimento.

Aos colegas do grupo MASSA pelo apoio e amizade na realização deste trabalho.

A coordenação do programa de pós-graduação em Engenharia Agrícola em nome do Prof. Dr. Carlos Alexandre Gomes Costa e do secretário Manoel Jacó, pela amizade e presteza de seus serviços prestados.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola, Maurício e Ana, pela amizade.

Aos amigos de curso do Departamento de Engenharia Agrícola pela amizade e convivência.

A todos que direto ou indiretamente contribuíram para a realização desse trabalho.

# BALANÇO EMERGÉTICO DE DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA NA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL

## RESUMO GERAL

Os recursos água e energia são fatores fundamentais no desenvolvimento dos sistemas agrícolas de produção. O uso eficiente desses recursos é crucial para alcançar o equilíbrio ecológico e a sustentabilidade do sistema produtivo. Os atuais sistemas de produção têm intensificado o uso de fertilizantes, pesticidas, combustíveis e mecanização, que contribui no aumento do fluxo de energia, acelerando o processo de degradação. Assim sendo, objetivou-se avaliar o balanço emergético de diferentes sistemas de produção irrigados em função de diversas fontes de água, energia e adubação em comparação a diferentes modelos de produção em sequeiro. O estudo dos modelos de produção irrigada foi conduzido na área experimental da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Tianguá - CE e no Perímetro Irrigado Curupati em Jaguaribara – CE. Já os modelos alternativos de produção propostos para a agricultura de sequeiro tiveram as pesquisas realizadas na Fazenda Normal da EMATERCE em Quixeramobim - CE. A análise emergética constitui-se basicamente de três etapas: construção do diagrama sistêmico, elaboração da tabela de avaliação de energia e o cálculo dos indicadores emergéticos. O sistema de produção em sequeiro apresentou valor emergético de  $1,06E+16$  seJ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, sendo menor que no sistema irrigado  $1,69E+17$  seJ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Verificou-se que os sistemas de produção com água residuária e energia solar fotovoltaica (S2A0, S2A1 e S2A2) apresentaram melhores taxas de rendimento emergético em relação aos sistemas convencionais irrigados (S1A0, S1A1, e S1A2) e em comparação aos cultivos em sequeiro (T-PC, T-ESS, T-CSS e T-CCO). Os sistemas agrícolas convencionais irrigados e os sistemas de cultivo em sequeiro mostraram-se altamente dependentes de recursos da economia, (materiais e serviços). Os sistemas de produção em sequeiro apresentaram melhor balanço de energia em relação aos cultivos irrigados. A entrada de recursos da economia nos sistemas agrícolas aumenta a carga ambiental e diminui a renovabilidade. Os sistemas renováveis de produção apresentaram melhor desempenho em todos os componentes de produção do feijão-caupi e a utilização de esgotos tratados nos cultivos irrigados pode substituir satisfatoriamente a adubação mineral da cultura.

**Palavras-chaves:** Modelos de produção. Agricultura irrigada. Agricultura de sequeiro. Sustentabilidade. Energia. Reúso de água. Energia solar.

# EMERGY BALANCE OF DIFFERENT AGRICULTURAL PRODUCTION SYSTEMS IN THE NORTHEAST REGION OF BRAZIL

## GENERAL ABSTRACT

The resources water and energy are factors fundamental in the development of agricultural production systems. The use efficient of these resources is crucial to achieving the ecological balance and sustainability of the productive system. Current production systems have intensified the use of fertilizers, pesticides, fuels and mechanization, which contributes to increased energy flow, accelerating the degradation process. The aim of this study was to evaluate the emergy balance of different irrigated production systems in function of different sources of water, energy and fertilizing compared to different production models in the rainfed. The study of irrigated production models was conducted in the experimental area of the Sewage Treatment Station (ETE) in Tianguá - CE and the Curupati Irrigated Perimeter in Jaguaribara - CE. The alternative production models proposed for rainfed agriculture the research was carried out at the Normal Farm EMATERCE in Quixeramobim - CE. The emergy analysis consists basically of three steps: construction of the systemic diagram, elaboration of the table of evaluation of emergy and the calculation of the emergy indicators. The rainfed production system showed an emergy value of  $1.06E+16$  seJ ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>, being lower than in the irrigated system  $1.69E+17$  seJ ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>. It was verified that the systems of production with wastewater and photovoltaic solar energy (S2A0, S2A1 and S2A2) presented better rates of emergy yield in relation to the conventional irrigated systems (S1A0, S1A1, and S1A2) and in comparison to the crops in the rainfed (T-PC, T-ESS, T-CSS and T-CCO). The conventional irrigated agricultural systems and the rainfed production system shown highly dependent on economic resources (materials and services). The rainfed production systems presented better emergy balance in relation to irrigated crops. The input of resources from the economy into agricultural systems increases the environmental impact and reduces renewability. The renewable production systems showed better performance in all components of cowpea production and the use of treated sewage in irrigated crops can satisfactorily replace the mineral fertilizing of the crop.

**Keywords:** Production models. Irrigated agriculture. Rainfed agriculture. Sustainability. Emergy. Water reuse. Solar energy.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> - Área irrigada total do Brasil e participação das regiões geográficas.....	23
<b>Figura 2</b> - Área irrigada no Brasil em cada unidade da federação (2006 e 2015).....	24
<b>Figura 3</b> - Incremento anual de área irrigada mecanizada por grupos de sistemas de 2000 a 2016.....	24
<b>Figura 4</b> - Produção de energia elétrica e consumo final na agricultura e pecuária.....	29
<b>Figura 5</b> - Evolução da potência instalada de microgeração e minigeração solar distribuída no Brasil.....	31
<b>Figura 6</b> - Potência instalada e número de sistemas fotovoltaicos de micro e minigeração distribuída por classe de consumo .....	32
<b>Figura 7</b> - Célula solar, módulo, painel e gerador fotovoltaico.....	34
<b>Figura 8</b> - Diagrama sistêmico da avaliação de energia.....	47
<b>Figura 9</b> - Localização da região semiárida do Brasil e dos sistemas de produção agrícola irrigado e de sequeiro.....	58
<b>Figura 10</b> - Localização da área experimental dos sistemas de produção irrigados em Tianguá - CE, Brasil .....	60
<b>Figura 11</b> - Localização da área experimental dos modelos de produção de sequeiro, Quixeramobim - CE, Brasil .....	60
<b>Figura 12</b> - Croqui da área experimental e a disposição dos tratamentos .....	78
<b>Figura 13</b> - Estação de Tratamento de Esgoto de Tianguá (ETE São Gonçalo) e a área experimental .....	81
<b>Figura 14</b> - Histogramas do número de vagens por planta, número de grãos por vagem, comprimento médio da vagem, peso de 100 grãos e produtividade do feijão-caupi nos diferentes sistemas de produção .....	94
<b>Figura 15</b> - Comportamento do número de vagens por planta, número de grãos por vagem, comprimento médio da vagem, peso de 100 grãos e produtividade do feijão-caupi nos diferentes sistemas de produção em Tianguá – CE....	103
<b>Figura 16</b> - Análise de resíduos do número de vagens por planta, número de grãos por vagem, comprimento médio da vagem, peso de 100 grãos e produtividade do feijão-caupi nos diferentes sistemas de produção.....	106
<b>Figura 17</b> - Teste de média dos dados de produtividade água dos diferentes tratamentos .....	108
<b>Figura 18</b> - Produtividade da água na cultura do feijoeiro irrigado sob diferentes sistemas de produção no município de Tianguá - CE.....	108

<b>Figura 19</b> - Análise de resíduos dos dados de eficiência de uso da água nos diferentes tratamentos.....	109
<b>Figura 20</b> - Produtividade da água no feijão-caupi cultivado sob diferentes sistemas de produção no município de Tianguá, CE .....	110
<b>Figura 21</b> - Diagrama sistêmico dos modelos de produção irrigada e de sequeiro na região semiárida do Brasil .....	137
<b>Figura 22</b> - Disposição dos modelos de produção em sequeiro na área experimental	156
<b>Figura 23</b> - Diagramas dos fluxos de energia provenientes da natureza e da economia nos diferentes sistemas produção irrigados no município de Tianguá - CE .....	164
<b>Figura 24</b> - Diagramas dos fluxos de energia provenientes da natureza e da economia nos diferentes sistemas produção em sequeiro no município de Quixeramobim – CE .....	166
<b>Figura 25</b> - Principais recursos renováveis e não renováveis da natureza e da economia de entrada nos sistemas de produção irrigados em Tianguá - CE .....	184
<b>Figura 26</b> - Principais recursos renováveis e não renováveis da natureza e da economia de entrada nos sistemas de produção de sequeiro em Quixeramobim - CE .....	185
<b>Figura 27</b> - Transformidade solar e indicador de renovabilidade dos diferentes sistemas de produção irrigados e em sequeiro .....	189
<b>Figura 28</b> - Diagrama ternário de energia da relação entre os recursos renováveis da natureza (R), não renováveis (N) e da economia (F) nos diferentes sistemas de produção irrigados e em sequeiro .....	190
<b>Figura 29</b> - Diagrama ternário da relação energética dos recursos renováveis e não renováveis da natureza ( $I = R + N$ ), insumos ( $M = MS + MN$ ) e serviços ( $S = SR + SN$ ) nos diferentes sistemas de cultivo irrigado e em sequeiro.....	191
<b>Figura 30</b> - Diagrama ternário da energia total (Y) em relação aos recursos não renováveis da economia (MN) e (SN) que expressa à taxa de rendimento energético (EYR) nos modelos de produção .....	192
<b>Figura 31</b> - Diagrama ternário dos recursos não renováveis da economia (MN + SN) em relação aos recursos renováveis e não renováveis da natureza ( $I = R + N$ ) e renováveis da economia (MR + SR) que expressa índice de investimento energético (EIR) produção.....	194

- Figura 32** - Diagrama ternário da relação de todos os recursos não renováveis pelos recursos renováveis que expressa o impacto ambiental (ELR) dos modelos de produção..... 195
- Figura 33** - Diagrama ternário do índice de sustentabilidade (ESI) dos modelos de produção irrigados e em sequeiro na região nordeste do Brasil..... 197

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Produção estimada das principais culturas desenvolvidas pela agricultura de sequeiro no Ceará, desde 2010 a 2016.....	27
<b>Tabela 2</b> - Capacidade instalada de geração elétrica por fonte no Brasil (MW) .....	29
<b>Tabela 3</b> - Diretrizes da OMS para irrigação com esgotos domésticos tratados .....	42
<b>Tabela 4</b> - Caracterização de efluentes para utilização na irrigação agrícola.....	43
<b>Tabela 5</b> - Estudos realizados com o uso de água residuária na agricultura .....	45
<b>Tabela 6</b> - Simbologia utilizada na elaboração do diagrama sistêmico.....	48
<b>Tabela 7</b> - Modelo de avaliação do fluxo de energia.....	49
<b>Tabela 8</b> - Estudos com a metodologia emergética no Brasil e no Mundo .....	52
<b>Tabela 9</b> - Comparativo de área, produção e produtividade do Feijão-caupi na região Nordeste do Brasil .....	54
<b>Tabela 10</b> - Características climáticas das regiões dos sistemas de produção irrigada e de sequeiro .....	59
<b>Tabela 11</b> - Características elétricas do painel solar fotovoltaico modelo YL095P.....	79
<b>Tabela 12</b> - Desempenho hidráulico do conjunto motobomba Anauger modelo P100.	79
<b>Tabela 13</b> - Coeficientes de cultivo para a cultura do feijão-caupi .....	80
<b>Tabela 14</b> - Recomendação de adubação mineral e orgânica para os diferentes tratamentos.....	82
<b>Tabela 15</b> - Análise físico-química e microbiológica da água residuária utilizado durante o experimento com feijão-caupi irrigado em Tianguá, CE.....	83
<b>Tabela 16</b> - Atributos físico-químicos e microbiológicos da água de abastecimento utilizados no estudo com feijão-caupi irrigado em Tianguá, CE.....	84
<b>Tabela 17</b> - Atributos físico-químicos do solo da área experimental no início e ao final do estudo em Tianguá, CE.....	85
<b>Tabela 18</b> - Atributos físico-químico do composto orgânico utilizado no experimento em Tianguá, CE .....	85
<b>Tabela 19</b> - Volume de água aplicado e parâmetros elétricos dos sistemas de produção renovável e convencional e variáveis climáticas em Tianguá, CE.....	86
<b>Tabela 20</b> - Estatística descritiva do número de vagens por planta, número de grão por vagens, comprimento médio da vagem, peso de 100 grãos e produtividade	91
<b>Tabela 21</b> - Análise de variância do componente de produção número de vagens por planta no estudo com feijão-caupi em Tianguá - CE.....	95

<b>Tabela 22</b> - Teste de médias do componente de produção número de vagens por planta no estudo com feijão-caupi em Tianguá - CE .....	95
<b>Tabela 23</b> - Análise de variância do componente de produção número de grãos por vagens no estudo com feijão-caupi em Tianguá - CE .....	96
<b>Tabela 24</b> - Teste de médias do componente de produção número de grãos por vagens no estudo com feijão-caupi em Tianguá - CE .....	97
<b>Tabela 25</b> - Análise de variância do componente de produção comprimento médio da vagem no estudo com feijão-caupi em Tianguá - CE.....	98
<b>Tabela 26</b> - Teste de médias do componente de produção comprimento médio da vagem no estudo com feijão-caupi em Tianguá - CE.....	99
<b>Tabela 27</b> - Análise de variância do componente de produção P100 grãos no estudo com feijão-caupi em Tianguá - CE.....	99
<b>Tabela 28</b> - Teste de médias do componente de produção P100 grãos no estudo com feijão-caupi em Tianguá - CE.....	100
<b>Tabela 29</b> - Análise de variância da componente produtividade no estudo com feijão-caupi em Tianguá - CE .....	101
<b>Tabela 30</b> - Teste de médias da variável produtividade no estudo com feijão-caupi em Tianguá - CE.....	102
<b>Tabela 31</b> - Estatística descritiva dos dados de produtividade da água no estudo do feijoeiro irrigado no município de Tianguá - CE.....	107
<b>Tabela 32</b> - Análise de variância da produtividade da água no cultivo do feijão-caupi irrigado no município de Tianguá - CE .....	107
<b>Tabela 33</b> - Custo de produção de 1,0 ha de feijão-caupi irrigado com água abastecimento e sem adubação (S1A0) no município de Tianguá, CE .....	112
<b>Tabela 34</b> - Custo de produção de 1,0 ha de feijão-caupi irrigado com água abastecimento e com adubação mineral (S1A1) no município de Tianguá, CE .....	113
<b>Tabela 35</b> - Custo de produção de 1,0 ha de feijão-caupi irrigado com água abastecimento e com adubação orgânica (S1A2) no município de Tianguá, CE .....	114
<b>Tabela 36</b> - Custo de produção de 1,0 ha de feijão-caupi irrigado com efluente doméstico tratado e sem adubação (S2A0) no município de Tianguá, CE .....	115
<b>Tabela 37</b> - Custo de produção de 1,0 ha de feijão-caupi irrigado com efluente doméstico tratado e com adubação mineral (S2A1) no município de Tianguá, CE .....	116

<b>Tabela 38</b> - Custo de produção de 1,0 ha de feijão-caupi irrigado com efluente doméstico tratado e com adubação orgânica (S2A2) no município de Tianguá, CE .....	117
<b>Tabela 39</b> - Fluxo de caixa dos sistemas de produção convencionais sem adubação (S1A0) com adubação mineral (S1A1) e com orgânica (S1A2) .....	119
<b>Tabela 40</b> - Fluxo de caixa dos sistemas de produção renováveis sem adubação (S2A0) com adubação mineral (S2A1) e com orgânica (S2A2) .....	120
<b>Tabela 41</b> - Relação benefício/custo (B/C), valor presente líquido (VPL) e taxa interna de retorno (TIR) para cada um dos sistemas de produção do feijão-caupi no município de Tianguá, CE, com o aumento em 10% e diminuição em 10% na produção.....	121
<b>Tabela 42</b> - Indicadores emergéticos para avaliação econômica, ambiental e social dos sistemas de produção irrigada e de sequeiro.....	136
<b>Tabela 43</b> - Análise de energia do sistema de produção com mamão irrigado no Perímetro Irrigado Curupati, Jaguaribara - CE.....	139
<b>Tabela 44</b> - Análise de energia do sistema de produção de sorgo em sequeiro no assentamento lagoa grande, Tabuleiro do Norte - CE .....	141
<b>Tabela 45</b> - Indicadores emergéticos dos sistemas de produção irrigado e sequeiro na região semiárida do Brasil .....	143
<b>Tabela 46</b> - Avaliação emergética do feijão irrigado em sistema de produção convencional sem adubação (S1A0) no município de Tianguá - CE .....	167
<b>Tabela 47</b> - Avaliação emergética do feijão irrigado em sistema de produção convencional com adubação mineral (S1A1) no município de Tianguá - CE .....	169
<b>Tabela 48</b> - Avaliação emergética do feijão irrigado em sistema de produção convencional com adubação orgânica (S1A2) no município de Tianguá - CE .....	171
<b>Tabela 49</b> - Avaliação emergética do feijão irrigado no sistema de produção renovável sem adubação (S2A0) no município de Tianguá - CE .....	172
<b>Tabela 50</b> - Avaliação emergética do feijão irrigado no sistema de produção renovável com adubação mineral (S2A1) no município de Tianguá - CE.....	174
<b>Tabela 51</b> - Avaliação emergética do sistema de produção renovável com adubação orgânica (S2A2) no feijão irrigado em Tianguá - CE.....	176
<b>Tabela 52</b> - Avaliação emergética do sistema de produção de feijão em sequeiro sem preparo do solo (T-PC) no município de Quixeramobim - CE .....	177

<b>Tabela 53</b> - Avaliação emergética do sistema de produção de feijão em sequeiro utilizando escarificador no preparo do solo (T-ESS) em Quixeramobim - CE .....	179
<b>Tabela 54</b> - Avaliação emergética do sistema de produção de feijão em sequeiro utilizando subsolador e sulcador no preparo do solo (T - CSS) em Quixeramobim - CE.....	180
<b>Tabela 55</b> - Avaliação emergética do sistema de produção de feijão em sequeiro utilizando subsolador e sulcador no preparo do solo e adição adubação orgânica (T-CCO) no município de Quixeramobim - CE .....	182
<b>Tabela 56</b> - Indicadores emergéticos dos sistemas de produção convencionais e renováveis irrigados e dos modelos de produção em sequeiro na região Nordeste do Brasil .....	186

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	18
<b>2 HIPÓTESE E OBJETIVOS</b> .....	20
<b>2.1 Hipóteses</b> .....	20
<b>2.2 Objetivos</b> .....	20
2.2.1 Geral .....	20
2.2.2 Específicos.....	20
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	21
<b>3.1 Agricultura irrigada</b> .....	21
3.1.1 Panorama da irrigação no Mundo.....	21
3.1.2 Panorama da irrigação no Brasil.....	22
<b>3.2 Agricultura de sequeiro</b> .....	25
<b>3.3 Energia na agricultura</b> .....	27
<b>3.4 Energia solar fotovoltaica</b> .....	30
3.4.1 Sistema solar fotovoltaico .....	33
3.4.2. Sistemas de Bombeamento Fotovoltaico de Irrigação (SFVI) .....	36
<b>3.5 Reúso de água na agricultura</b> .....	37
3.5.1 Tipos de reúso de água .....	39
3.5.2 Principais normas técnicas brasileiras e internacionais.....	39
3.5.3 Qualidade da água residuária para irrigação e culturas irrigadas .....	41
3.5.4 Aplicações do reúso de água na agricultura .....	44
<b>3.6 Análise emergética</b> .....	45
3.6.1 Diagrama de fluxos de energia (Primeira Etapa) .....	47
3.6.2 Tabela de avaliação de energia (Segunda Etapa) .....	49
3.6.3 Cálculo dos indicadores emergéticos (Terceira Etapa) .....	50
3.6.4 Aplicação da análise emergética.....	51
<b>3.7 Feijão - caupi</b> .....	52
3.7.1 Importância socioeconômica .....	52
3.7.2 Produção .....	53
3.7.3 Exigências edafoclimáticas.....	55
<b>3.8 Análise econômica</b> .....	55
<b>4 ÁREAS DE ESTUDO</b> .....	58
<b>4.1 Localização e caracterização geral das áreas experimentais</b> .....	58

<b>REFERÊNCIAS</b> .....	62
<b>CAPÍTULO 01: Componentes de Produção, Produtividade da Água e Análise Econômica do Feijão-Caupi de Diferentes Sistemas Produção</b> .....	73
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	74
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	77
<b>2.1 Localização da área experimental</b> .....	77
<b>2.2 Delineamento experimental e composição dos tratamentos</b> .....	77
<b>2.3 Sistema e manejo da irrigação</b> .....	78
2.4.1 Adubação, semeadura e desbaste .....	82
2.5.1 Água residuária e de abastecimento .....	83
2.5.2 Solo e composto orgânico .....	84
2.5.3 Balanço hídrico e energético .....	85
2.5.4 Componentes de produção .....	87
<b>2.6 Análise econômica</b> .....	87
<b>2.7 Análise estatística</b> .....	89
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	90
<b>3.1 Componentes de produção</b> .....	90
<b>3.2 Produtividade da água</b> .....	106
<b>3.3 Análise econômica</b> .....	111
<b>4. CONCLUSÕES</b> .....	123
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	124
<b>CAPÍTULO 02: Análise Emergética de Cultivos Agrícolas Irrigado e de Sequeiro no Semiárido</b> .....	130
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	132
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	134
<b>2.1 Localização dos sistemas de produção irrigado e de sequeiro</b> .....	134
<b>2.2 Descrição dos sistemas de produção irrigado e de sequeiro</b> .....	134
<b>2.3 Análise emergética</b> .....	135
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	137
<b>4. CONCLUSÕES</b> .....	145
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	146
<b>CAPÍTULO 03: Sustentabilidade Econômica, Ambiental e Social de Diferentes Sistemas Alternativos de Produção</b> .....	149
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	151
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	153

<b>2.1 Localização das áreas de estudo dos sistemas de produção.....</b>	<b>153</b>
<b>2.2 Descrição dos sistemas de produção irrigados.....</b>	<b>153</b>
2.2.1 Tratamentos e delineamento experimental.....	153
2.2.2 Instalação e condução da cultura.....	154
<b>2.3 Descrição dos modelos produção em sequeiro.....</b>	<b>156</b>
2.3.1 Plantio, precipitação pluviométrica e colheita.....	157
<b>2.4 Balanço energético.....</b>	<b>157</b>
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>163</b>
<b>3.1 Diagrama do fluxo de energia.....</b>	<b>163</b>
<b>3.2 Emergia.....</b>	<b>167</b>
<b>3.3 Indicadores energéticos.....</b>	<b>185</b>
<b>4. CONCLUSÕES.....</b>	<b>198</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>199</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>200</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>201</b>

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

A água e a energia são os elementos fundamentais que influenciam as condições de vida da população no meio rural, principalmente no sistema produtivo das unidades agrícolas no semiárido. A redução na oferta desses recursos tem limitado a produção das culturas, assim como o desenvolvimento econômico e social, uma vez que a agricultura irrigada é responsável pela grande parte da produção de alimentos no Brasil e no Mundo.

A crise hídrica, juntamente com a crise energética tem afetado a produção agrícola, principalmente nos perímetros irrigados da região Nordeste do Brasil. Com a diminuição da oferta hídrica verificou-se queda na produção e produtividade das culturas em função da redução das áreas de plantio e do menor uso dos sistemas de irrigação, respectivamente.

Além da diminuição da oferta hídrica, a crescente participação da energia elétrica nos custos de produção apresenta-se como outro fator limitante, pois o preço do kWh (eletricidade) proveniente das usinas térmicas é mais oneroso em relação às hidrelétricas tornando-se um grande gargalo para os produtores o custo da energia elétrica na receita total da produção.

O desenvolvimento econômico, o crescimento populacional e o aumento da urbanização tendem a aumentar a demanda mundial por água, energia e alimentos intensificando os conflitos entre os setores hídrico e energético e gerando impactos sobre o meio ambiente (MARIANI et al., 2016).

De acordo com a Agência Internacional de Energia Renovável - IRENA (2015), a demanda mundial por água, energia e alimentos irão crescer 50, 80 e 60%, respectivamente, entre 2000 e 2050. Ainda segundo a agência, as conexões entre água, energia e alimento se intensificam com o aumento da demanda por recursos causada pelo crescimento populacional e pelas mudanças dos padrões de consumo. Ao mesmo tempo, tendências mundiais, como as mudanças climáticas e o uso intensivo do solo, restringem a habilidade dos sistemas existentes de atender à crescente demanda de maneira sustentável. Essa dinâmica gera riscos substanciais para o desenvolvimento sustentável e para a segurança dos recursos hídrico e energético.

Tendo em vista o quadro de escassez hídrica em inúmeras regiões e a problemática como um todo, a busca por implementar sistemas alternativos de produção baseados nos princípios da sustentabilidade econômica, social e ambiental torna-se necessário, principalmente na região semiárida do Brasil. Santos et al. (2009) destacam

que entre as diferentes alternativas utilizadas para solucionar ou minimizar a falta do recurso hídrico está o uso de águas residuárias. Já Dike et al. (2012) ressaltam que a energia solar fotovoltaica pode ajudar a diversificar o suprimento de energia, bem como aumentar a segurança energética.

Segundo Palácio et al. (2012) determinar a sustentabilidade econômica, ambiental e social dos sistemas de produção agrícola não é uma tarefa fácil, uma vez que a maioria das metodologias para avaliação desses sistemas baseia-se nos fluxos de entrada e saída levando em consideração apenas o fator econômico. Assim sendo, visando apresentar uma metodologia que avalia-se os sistemas de forma integrada, Odum (1996) desenvolveu a metodologia emergética, na qual é definida como a energia potencial gasta, direta e/ou indiretamente na produção de um produto ou serviço.

Dessa forma, diferentes indicadores capazes de caracterizar os sistemas de produção são propostos pela metodologia emergética, permitindo que diferentes modelos de produção instalados em diferentes locais possam ser comparados de modo a avaliar o desempenho econômico, ambiental e social.

## **2 HIPÓTESE E OBJETIVOS**

### **2.1 Hipóteses**

A agricultura de sequeiro apresenta melhor balanço energético em relação à agricultura irrigada.

Os sistemas de produção irrigados utilizando água residuária e energia solar fotovoltaica apresenta melhor desempenho econômico, ambiental e social em relação aos sistemas de produção convencionais irrigados e em sequeiro.

A interação de energias renováveis e água residuária afeta os componentes de produção e o rendimento econômico da cultura.

### **2.2 Objetivos**

#### **2.2.1 Geral**

Avaliar o desempenho ambiental, econômica e social de diferentes sistemas de produção irrigados em função de diversas fontes de água, energia e adubação em comparação a diferentes modelos de produção em sequeiro em razão de diversas formas de preparo do solo usando a análise energética.

#### **2.2.2 Específicos**

- Análise dos componentes de produção do feijão-caupi irrigado;
- Comparar o balanço hídrico e energético do sistema de bombeamento solar fotovoltaico e do sistema convencional de acionamento;
- Avaliar a produtividade das culturas;
- Analisar as características físico-química e microbiológica da água de reúso;
- Analisar as características físico-químicas do solo;
- Verificar a economia de fertilizantes utilizando água residuária;
- Realizar a análise econômica dos diferentes sistemas de produção.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Agricultura irrigada

A agricultura irrigada constitui uma importante estratégia para otimização da produção mundial de alimentos, estabelecendo desenvolvimento no campo, com geração de empregos e renda. Atualmente, mais da metade da população mundial depende de alimentos produzidos em áreas irrigadas (MANTOVANI, et al. 2009). Segundo a Agência das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação – FAO, (2012) destaca que nos próximos 25 anos, 80% dos alimentos necessários à população humana serão providos pelos cultivos irrigados.

No Nordeste brasileiro a agricultura irrigada destaca-se com um expressivo crescimento de mercado, acarretando produções e rendimentos mais elevados ao setor (LOPES et al., 2011). A irrigação resulta, em geral, em um maior uso da água, todavia investimentos neste setor resultam também em aumento substancial da produtividade e do valor da produção, diminuindo a pressão pela incorporação de novas áreas agrícolas (ANA, 2014).

A agricultura irrigada apresenta um histórico de desenvolvimento crescente e persistente nas últimas décadas e que intensificou-se nos últimos 15 anos, estando muitas vezes na contramão de períodos instáveis e negativos da economia brasileira e mundial. O exemplo desta crescente e alternativa produção de alimentos está as estratégias traçadas para a expansão da agricultura irrigada, em especial a fruticultura no semiárido nordestino. Estas alternativas têm constituído meios de produção, contribuindo para o desenvolvimento econômico e social do Nordeste (ANA, 2017).

##### 3.1.1 Panorama da irrigação no Mundo

De acordo com a FAO (2017), a área irrigada no mundo está entorno de 310 milhões de hectares, sendo que 69% situam-se na Ásia, 17% na América, 8% na Europa, 4% na África e 2% na Oceania. A Índia é o país com a maior área irrigada do mundo 66 milhões de hectare (Mha), seguida pela China e Estados Unidos (62 e 27 Mha, respectivamente).

Segundo a FAO (2017), o uso de água para irrigação é proveniente de águas superficiais (61%) e de águas subterrâneas (38%). Em termos globais, as áreas irrigadas correspondem menos de 20% da área total cultivada no planeta, no entanto produzem

mais de 40% dos alimentos, fibras e culturas bioenergéticas. O potencial de expansão da agricultura irrigada em nível mundial é estimado pela FAO em cerca de 200 Mha.

### 3.1.2 Panorama da irrigação no Brasil

O Brasil está entre os dez países com a maior área irrigada do mundo. Os líderes mundiais são a China e a Índia, com cerca de 70 Mha cada, seguidos dos EUA (26,7 Mha), Paquistão (20 Mha) e Irã (8,7 Mha). O Brasil aparece no grupo de países que possui área entre 4 e 7 Mha, que inclui Tailândia, México, Indonésia, Turquia, Itália e Espanha (FAO, 2017).

A irrigação no Brasil é considerada pequena frente à área agrícola total, a extensão territorial e o conjunto de fatores físico-climáticos favoráveis, inclusive a boa disponibilidade hídrica. Por outro lado, as séries históricas demonstram que os incrementos anuais de área irrigada no Brasil têm sido fortes e persistentes nas últimas décadas, intensificando-se nos últimos anos, indicando que o potencial tem sido cada vez mais aproveitado (ANA, 2017).

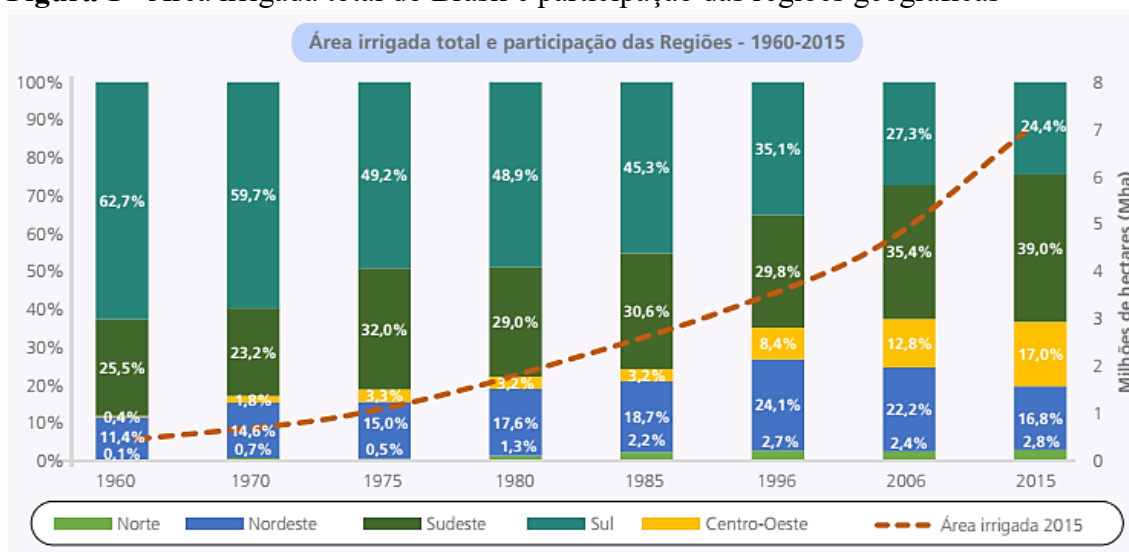
Segundo o estudo da Agência Nacional de Águas – ANA (2017), entre 1960 e 2015 a área irrigada no Brasil aumentou expressivamente de 462 mil hectares para 6,95 Mha e pode expandir mais 45% até 2030, atingindo 10 Mha. A média de crescimento estimado corresponde a pouco mais de 200 mil hectares ao ano, enquanto o potencial efetivo de expansão da agricultura irrigada no Brasil é de 11,2 Mha. O potencial de expansão apontado acentua a necessidade de um esforço crescente de planejamento e gestão a fim de evitar ou minimizar conflitos pelo uso da água, em especial nas bacias hidrográficas que já possuem indicadores críticos quantitativos.

A área total irrigada no Brasil e a distribuição por regiões são mostradas na Figura 1. A região Norte apresenta baixo desenvolvimento da agricultura irrigada, com incrementos pouco expressivos. Tocantins é a exceção, uma vez que ocorreram investimentos expressivos em perímetros públicos e áreas privadas nos últimos 30 anos, ultrapassando a marca de 120 mil ha irrigados, no qual aumentou a participação da região para 2,8%.

O Nordeste, por sua vez, apresentou um acelerado processo de incorporação de áreas irrigadas a partir da década de 1980, resultado de investimentos em perímetros públicos e em outras infraestruturas hídricas que impulsionaram o setor privado. Em 2006, a região ultrapassou 1 Mha irrigados. Na última década, com exceção da Bahia, nota-se a relativa estabilidade ou retração de áreas, consequência da redução dos

investimentos para ampliação da infraestrutura hídrica e da própria crise hídrica nos últimos anos.

**Figura 1** - Área irrigada total do Brasil e participação das regiões geográficas



Fontes: Censos Agropecuários (IBGE, 1960-2006) e ANA (2017).

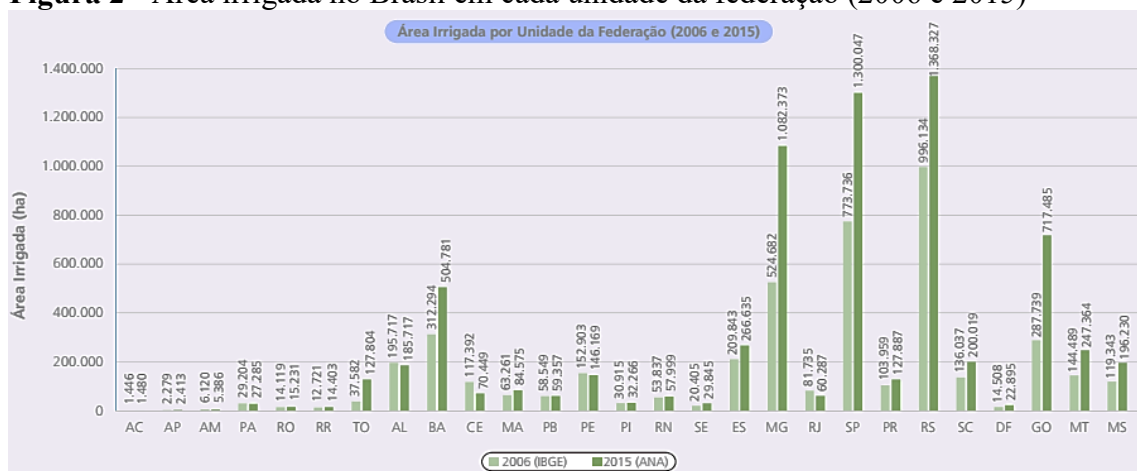
O Centro-Oeste, que experimentou um acelerado processo de expansão agrícola a partir da década de 1970, passou a incorporar áreas irrigadas mais expressivas a partir de 1990. Foi a região de maior expansão nos últimos 20 anos, quadruplicando a área para 1,2 Mha. Goiás responde pela maior parte desse crescimento, em grande parte pela expansão de pivôs centrais para produção de grãos e de canhões aspersores para aplicação na cana-de-açúcar. Desta forma, observa-se forte aumento recente da participação da região no total nacional.

O Sudeste vem apresentando incrementos sucessivos e expressivos desde a década de 1970, contando com a maior diversificação de métodos e tipos de irrigação dentre as regiões brasileiras. São Paulo e Minas Gerais concentram 34% da área irrigada do País e 87,9% da área da região, impulsionando o Sudeste a responder atualmente pela maior área irrigada com 39% do total (Figura 1).

Por fim, o Sul tradicional polo de produção irrigada, também vem apresentando ganhos expressivos em área nas últimas décadas. Entretanto, com o desenvolvimento de outras regiões em taxas mais elevadas, a participação relativa da região vem decrescendo, atingindo 24,4% em 2015 (Figura 1). Permanece, contudo, como segunda maior região e conta com o Estado de maior área do País, o Rio Grande do Sul (responsável por 80,6% da área do Sul e 19,5% da área nacional).

A Figura 2 apresenta um comparativo das áreas irrigadas, por unidade da federação em 2006 (IBGE, 2006) e 2015 (ANA, 2017). Os levantamentos totalizam 4,55 e 6,95 milhões de hectares (Mha), acréscimo de 53%.

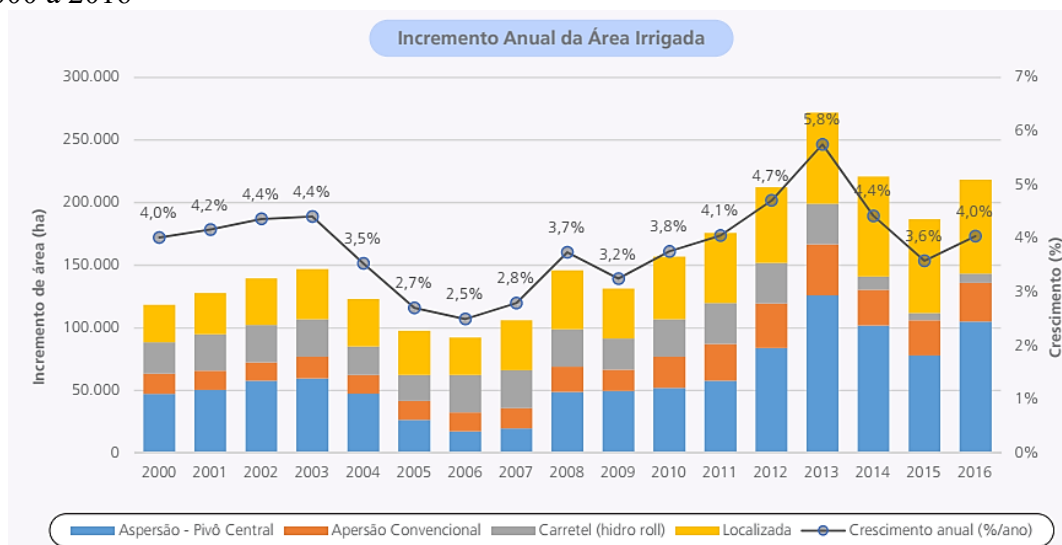
**Figura 2** - Área irrigada no Brasil em cada unidade da federação (2006 e 2015)



Fonte: ANA, (2017)

No que se refere aos métodos de irrigação, estes são agrupados de acordo com a forma de aplicação da água, destacando-se quatro métodos principais: superfície, aspersão, localizada e subterrânea. Na Figura 3 observa-se a taxa de crescimento e os incrementos anuais de área irrigada mecanizada (2000-2016), ou seja, sem o método superficial (inundação, sulcos etc.) que nesse período permaneceu relativamente estável no total nacional. Verificou-se que os grupos mais eficientes no uso da água, irrigação localizada (gotejamento e microaspersão) e aspersão por pivô central representaram cerca de 70% do incremento de área irrigada no País entre 2000 e 2016 (ABIMAQ, 2017).

**Figura 3** - Incremento anual de área irrigada mecanizada por grupos de sistemas de 2000 a 2016



Fonte: CSEI/Abimaq (2017).

Com relação às culturas, o arroz irrigado por inundação ocupa 22% da área total e é responsável por 37,8% do consumo de água. A cana-de-açúcar irrigada por pivô central ocupa 29,5% da área e consome 10,9% do total, enquanto as demais culturas irrigadas por aspersão (pivô central) ocupam 19,9% e consomem 20,5%. Já as demais culturas irrigadas por outros sistemas ocupam 28,6% da área e consomem 30,8% do recurso hídrico utilizado na irrigação (ANA, 2017).

### **3.2 Agricultura de sequeiro**

A agricultura de sequeiro é um sistema de produção agrícola que depende absolutamente da pluviosidade, ou seja, conta apenas com a água da chuva para que a cultura complete seu ciclo. Esse tipo de agricultura é praticado em regiões úmidas e também em regiões onde a precipitação anual é baixa, bastante característica na região Nordeste do Brasil (LIRA, 2016).

A agricultura de sequeiro assume uma importância crítica, devido ao crescimento e suas implicações na segurança alimentar de um número significativo de pessoas que vivem na região semiárida do Nordeste brasileiro. Nasuti, Eiró e Lindoso (2013), ao realizarem pesquisas em regiões semiáridas do Nordeste brasileiro constataram que entorno de 60% dos agricultores adotam o sistema de sequeiro.

Segundo a FAO, o sistema de produção em sequeiro é responsável por aproximadamente 80% das áreas cultiváveis no mundo e 60% das áreas cultivadas com alimentos (FAO, 2011). Na Índia aproximadamente 56% da área total cultivada no país são em regime de sequeiro, no qual contribuem com 40% da produção alimentar do país (VENKATESWARLU e PRASAD, 2012).

A variabilidade das precipitações pluviométricas (distribuição espaço-temporal) é a principal responsável pela insuficiência hídrica em cultivos da agricultura de sequeiro. A inadequação dos sistemas produtivos a esta variável tem contribuído para o elevado risco da atividade agrícola, gerando fortes impactos econômicos, sociais e ambientais (ANJOS et al., 2007).

Para Batisani e Yarnal, (2010), a compreensão da variabilidade e a distribuição espaço-temporal das chuvas tornam-se fundamentais no processo de organização espacial de território e na formulação de políticas públicas para o setor agrícola, principalmente no tocante à agricultura de sequeiro.

A variabilidade espacial e temporal da precipitação, típica das regiões semiáridas, e a recorrência das secas afetam drasticamente as populações que dependem

da agricultura de sequeiro. Assim, o padrão de distribuição de precipitação durante a estação chuvosa e a ocorrência de veranicos afeta diretamente a perda das colheitas (SAKAMOTO et al., 2015).

Martins (2016) no estudo de modelos de produtividade agrícola aplicados à agricultura de sequeiro verificou que os cultivos agrícolas sob regime de sequeiro são os mais susceptíveis aos colapsos de produção e, ainda 60% do suprimento de alimentos é proveniente da agricultura de sequeiro e destacou que a segurança alimentar da população pode enfrentar sérios riscos caso a produção de alimentos não seja eficientemente assegurada contra os efeitos das variabilidades climáticas.

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento – Conab (2018), a agricultura de sequeiro corresponde a uma área em torno de 55 milhões de hectares. Na Região Nordeste, a expectativa é de incremento da área plantada com arroz de sequeiro de 9,9%.

No Amazonas, para o arroz de sequeiro, a área plantada está em torno de 2,5 mil hectares, com uma produção estimada em torno de 5,6 mil toneladas e produtividade média de 2.258 kg ha<sup>-1</sup>, No Pará, o arroz teve um decréscimo em sua área total de 7,8 %. Esse recuo se deve à diminuição da área de arroz de sequeiro, de 63,7 mil hectares para 56,7 mil hectares. Na Bahia o cultivo de arroz ocupa uma área de 7,8 mil hectares. A produtividade média 1.200 kg ha<sup>-1</sup>, com a estimativa de produção em torno de 9,4 mil toneladas. (CONAB, 2018).

No Ceará, o acompanhamento da safra de sequeiro é realizado pela Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Ceará (Ematerce), que monitora mensalmente (de janeiro a julho) as áreas plantadas e as safras produzidas em 182 municípios do Estado (CORTEZ et al., 2017).

As principais culturas desenvolvidas na agricultura de sequeiro no Ceará e a produção estimada no início de cada de cada ano, de 2010 a 2016 são apresentadas na Tabela 1. Milho e feijão são as principais culturas e respondem, em média, por 96% da safra de grãos de sequeiro. O milho é o principal grão e responde por cerca de 75% da produção, seguido do feijão, com cerca de 20%. As demais culturas - algodão herbáceo, amendoim, arroz, girassol, mamona e sorgo - respondem pelos 5% restantes. A partir de 2013, o girassol não foi mais contabilizado nas análises. Entre 2010 e 2016, a mandioca respondeu, em média, por cerca de 37% da produção de sequeiro. Em 2012, sua participação na produção de sequeiro era estimada em mais de 46%, caindo para cerca 32%, em 2016 (CORTEZ et al., 2017).

**Tabela 1** - Produção estimada das principais culturas desenvolvidas pela agricultura de sequeiro no Ceará, desde 2010 a 2016

Culturas	Produção estimada (mil t)						
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Algodão	3,72	4,22	2,64	2,12	0,83	0,47	0,52
Amendoim	1,16	1,17	1,15	0,91	0,59	0,59	0,49
Arroz	43,77	45,05	32,10	25,09	16,56	9,63	7,09
Feijão	282,56	267,67	212,98	230,61	207,23	193,55	190,00
Girassol	0,83	1,20	0,04	-	-	-	-
Mamona	24,63	29,83	17,17	12,44	7,85	7,79	5,40
Milho	1.048,15	1.036,04	777,31	842,55	754,91	674,30	683,14
Sorgo	3,57	3,12	2,56	2,88	2,75	2,75	3,14
Mandioca	736,42	886,75	905,35	612,95	600,41	509,60	415,69
Total	2.144,82	2.275,04	1.951,28	1.729,55	1.591,13	1.398,68	1.305,46

Fonte: Ematerce e Cortez et al., 2017.

Segundo a Ematerce (2015), houve redução de 5,64% nas áreas ocupadas com grãos e de 10,58% na área para a cultura da mandioca, gerando uma redução média de 5,90% no total das áreas de sequeiro. Milho e feijão tiveram maior participação no total de grãos, 53,56% e 44,16%, respectivamente, seguidos pela mamona com 1,39%. A área destinada à mandioca representou 5,03% do total das áreas em sequeiro. Com relação à produção, em 2015, os dados mostraram uma redução média de -45,72% no total da safra, quando comparada à obtida em 2014. Considerando apenas a produção total de grãos, observou-se uma redução de -55,59%, enquanto a cultura da mandioca teve produção inferior em -36,53%, quando comparada aquela obtida em 2014.

### 3.3 Energia na agricultura

A atividade agrícola é centrada em processos de transformação de energia utilizada para acionamento de motobombas na irrigação, máquinas, processamento e conservação dos produtos agrícolas, entre outras formas de exploração do recurso energético na produção agrícola (TANJI e YARON, 1994).

Atualmente 80% da matriz elétrica brasileira é composta por fontes renováveis, sendo a hidroeletricidade responsável por 64% da potência instalada. O parque hidrelétrico existente é composto por 219 usinas hidrelétricas (UHEs) em operação, totalizando 101 GW de potência instalada. A maior parte das UHEs está

situada no Sudeste e no Sul do Brasil nas bacias do Paraná e Atlântico Sudeste (ANEEL, 2017). Já as pequenas centrais hidrelétricas (PCHs), a capacidade instalada no país é de 4.943 MW, distribuída em 437 usinas. Além disso, há outras 589 usinas com potência inferior a 3 MW, que somam mais 491 MW de potência ao sistema.

As usinas termelétricas são largamente empregadas e apresentam características técnicas desejáveis, como flexibilidade operacional e independência de variações climáticas, o que traz ganhos de confiabilidade ao sistema. Entretanto, apresenta diversos impactos ambientais como a emissão de gases do efeito estufa e poluentes atmosféricos, especialmente SO<sub>2</sub> e NO<sub>2</sub>. Segundo a ANEEL, (2017) a capacidade instalada no país é de 13.440 MW para gás natural (69 usinas), 3.353 MW para carvão mineral (13 usinas) e 1.990 MW para nuclear (2 usinas).

Já as termelétricas a biomassa apresenta vantagens para o sistema elétrico, tanto em termos socioambientais quanto em termos técnico-operacionais. Uma das vantagens do uso da biomassa é o fato de ser uma energia renovável e que contribui para a mitigação das mudanças climáticas. Atualmente, a maior parte da bioeletricidade gerada no Brasil provém da queima do bagaço de cana nas usinas de açúcar e etanol. Há 525 empreendimentos termelétricos à biomassa em operação, somando uma potência instalada de cerca de 14 GW (ANEEL, 2017).

A energia eólica apresenta grande potencial de aproveitamento para geração elétrica, especialmente nos litorais Nordeste e Sul do Brasil. Em 2016, a potência instalada para geração eólica no país expandiu 33% alcançando 10.124 MW. Atualmente o Brasil dispõe de 419 parques eólicos, totalizando 10.268 MW em terra (onshore), distribuídos em 70 municípios localizados, principalmente no Nordeste e no Sul do país (ANEEL, 2017; ABEEÓLICA, 2016).

De acordo com o relatório da Empresa de Pesquisa Energética – EPE, (2017), a potência instalada para geração de eletricidade no Brasil vem aumentando nos últimos anos, principalmente provenientes de fontes renováveis (Tabela 2). As termelétricas a base de carvão mineral e gás natural mantiveram-se constantes nos últimos 5 anos, enquanto a energia eólica, solar e biogás têm aumentado constantemente sua participação na matriz elétrica brasileira.

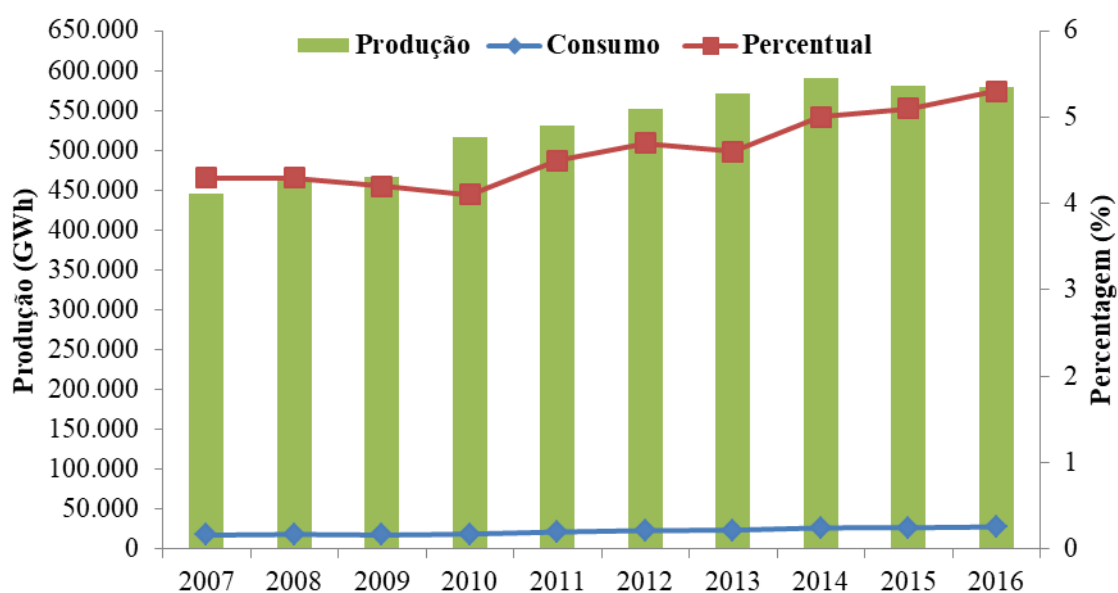
**Tabela 2** - Capacidade instalada de geração elétrica por fonte no Brasil (MW)

Fontes	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
UHE	74.937	74.901	75.484	77.090	78.347	79.956	81.132	84.095	86.366	91.499
PCH	1.820	2.490	2.953	3.428	3.896	4.101	4.620	4.790	4.886	4.941
Eólica	247	398	602	927	1.426	1.894	2.202	4.888	7.633	10.124
Solar	-	-	-	1	1	2	5	15	21	24
Biomassa	3.023	3.687	4.096	6.183	7.213	8.095	9.435	9.881	10.573	10.979
Biogás	20	32	45	68	71	79	80	70	84	119
Carvão mineral	1.415	1.473	1.530	1.944	1.944	2.304	3.389	3.389	3.389	3.389
Gás natural	10.194	10.353	9.755	11.255	11.525	11.439	12.300	12.550	12.428	12.965
UTN	2.007	2.007	2.007	2.007	2.007	2.007	1.990	1.990	1.990	1.990

Fonte: EPE, (2017).

Segundo o balanço energético nacional a produção de energia elétrica provenientes das diversas fontes renováveis e não renováveis foi aproximadamente 580.000 GWh em 2016, enquanto o consumo total de energia elétrica na agricultura e pecuária foi entorno de 28.000 GWh representando apenas 5,3% do total produzido (Figura 4).

Para Qoiader e Steinbrecht (2010), a eletrificação rural tem sido um instrumento efetivo para o desenvolvimento sustentável de áreas rurais de países em desenvolvimento, especialmente em regiões áridas, onde o suprimento de energia assegura a existência de culturas dependentes da irrigação.

**Figura 4** - Produção de energia elétrica e consumo final na agricultura e pecuária

Fonte: EPE, (2017)

O processo de irrigação na agricultura moderna mundial ainda é baseado na exploração de combustíveis fósseis. Entretanto, após a crise de combustíveis de 1973 e o aumento de preços, o mundo percebeu sua dependência por combustíveis fósseis e tornou-se inevitável a análise energética envolvida na agricultura, uso residencial e comercial (ACKERMANN, 2005).

O novo paradigma sobre sustentabilidade e meio ambiente contribuiu para disseminar uma visão crítica sobre a utilização da energia proveniente dos combustíveis fósseis. Assim sendo, devido a esse novo posicionamento mundial, a utilização de fontes renováveis de energia despontou neste cenário como uma opção e caminho a ser seguido (MELO e POPPE, 2010).

Diversos incentivos vêm sendo dado á promoção das fontes renováveis de geração de energia elétrica para sustentar as práticas agrícolas a nível mundial e nacional, além do mais, atenção especial é dada para a diversificação da matriz energética, principalmente nos países em que a base de geração de eletricidade é hídrica tendo que demandar a água para a geração de energia, consumo humano e irrigação (EPE, 2013).

### **3.4 Energia solar fotovoltaica**

A energia solar é considerada a fonte primária na geração de todas as outras formas de energia. Os dois principais processos de aproveitamento são para geração de eletricidade (energia solar fotovoltaica) e calor (energia solar térmica). O processo fotovoltaico consiste no aproveitamento da energia solar para conversão direta em energia elétrica por meio de células fotovoltaicas e o processo térmico consiste no aproveitamento da luz solar por concentração (CSP – Concentrating Solar Power) que produz calor para uso direto ou geração de eletricidade (ANONYM, 2003).

A energia solar fotovoltaica consiste em uma tecnologia baseada na conversão da irradiância solar em energia aproveitável. Segundo o Centro de Referência em Energias Solar e Eólica Sérgio Brito - CRESESB (2014), o termo “Radiação Solar” é um termo generalista para designação da energia radiante emitida pelo Sol. Quando nos referimos a “Fluxo de Energia”, ou seja, Watt, o termo correto é “Irradiância Solar”. E quando tratamos de “Fluxo de Energia por Unidade de Área”,  $W m^{-2}$ , o termo correto é “Irradiação Solar”.

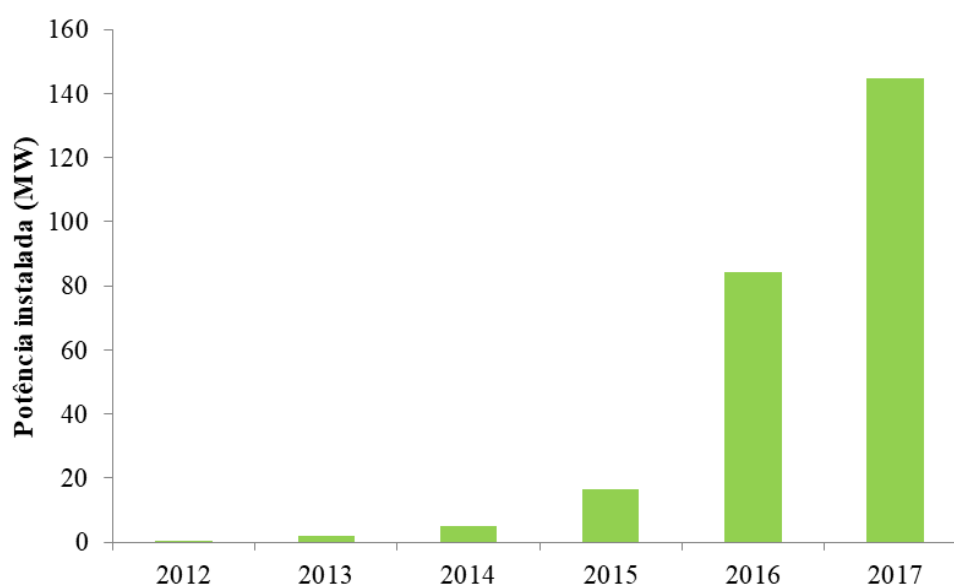
A participação da energia solar na matriz elétrica mundial continua na sua trajetória de expansão acelerada. Em 2016 a potência instalada foi 301 GW, sendo 294

GW de sistemas fotovoltaicos e 7 GW de sistemas térmicos. Dentre os cinco maiores países em geração solar, a China apresenta a maior potência instalada (78 GW), seguida do Japão (42 GW), Alemanha (41 GW), Estados Unidos (40 GW) e Itália (19 GW). O Brasil encontra-se entre os 15 maiores países geradores de energia solar considerando a potência já contratada de 2,6 GW (MME, 2017). Segundo a Agência Internacional de Energia - IEA (2017), a energia solar poderá responder por cerca de 11% da oferta mundial de energia elétrica em 2050, algo próximo de 5.000 TWh.

De acordo com a EPE, (2018) no final de 2017, o Brasil contava com 438,3 MW de potência instalada de geração solar, correspondentes a 15,7 mil instalações. O Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE estima que a capacidade instalada de geração solar chegará a 13 GW em 2026, sendo 9,6 GW de geração centralizada e 3,4 GW de geração distribuída. Já os estudos do Plano Nacional de Energia – PNE elaborado pela EPE estimam que em 2050 a potência instalada de micro e minigeração distribuída chegará a 78 GW, o que poderá representar 9% da oferta total de energia elétrica no Brasil.

Na Figura 5 observa-se a evolução da potência instalada de geração solar distribuída, micro e minigeração, sendo que mais de 70% de incremento ocorreu em 2017. As oportunidades de crescimento da energia solar fotovoltaica também ocorrerão com o processo de hibridização entre fontes distintas, como por exemplo, usinas fotovoltaicas instaladas em parques eólicos (EPE, 2017).

**Figura 5** - Evolução da potência instalada de microgeração e minigeração solar distribuída no Brasil



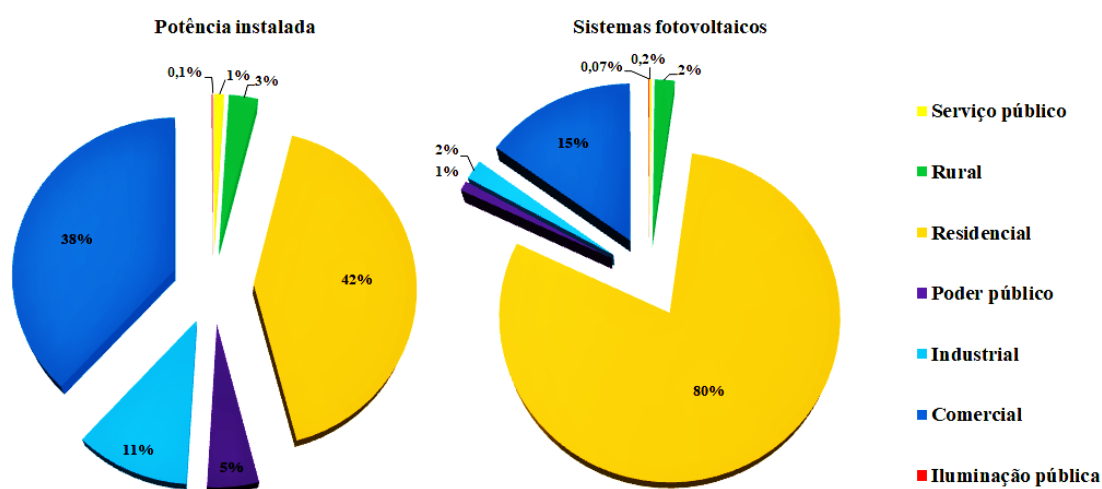
Fonte: ANEEL, ABSOLAR, (2017)

Atualmente, 70% da expansão contratada encontra-se na região Nordeste, enquanto a região Sudeste registrou uma participação de 29,4%. Além disso, o Centro-Oeste representa 0,4% e o Norte 0,2%. Os estados que mais se destacaram, considerando todas as usinas contratadas foram Bahia (34%), Minas Gerais (18%), São Paulo (11%) e Piauí (10%).

A microgeração e mineração distribuída referem-se à geração de energia elétrica próxima ao local de consumo ou no próprio estabelecimento consumidor (MME, 2017). Em 2012, a ANEEL aprovou duas Resoluções Normativas, a nº 482 e a nº 517, que estabelecem as condições gerais para micro e minigeração de energia elétrica, além do sistema de compensação de energia elétrica (*net metering*), atualmente em uso em diversos países. A Resolução Normativa ANEEL nº 687/15, complementar à 482/12, no qual estabelece que abaixo de 75 kW é microgeração e acima de 75 kW e até 5 MW é minigeração e vale para qualquer fonte renovável de geração que se enquadram nestas modalidades os imóveis individuais, condomínios, cooperativas e consórcios.

Considerando os sistemas fotovoltaicos de micro e minigeração distribuída, na Figura 6 observa-se que o setor residencial detém a maior participação em potência instalada (42%) representando 80% das instalações solares no Brasil em 2017. Em segundo lugar o setor comercial com 38% da potência instalada correspondendo a 15% dos sistemas fotovoltaicos instalados. Já a indústria representa 11% da potência e apenas 2% dos sistemas instalados, enquanto o meio rural retrata 3% da capacidade instalada e entorno de 2% dos sistemas solares fotovoltaicos.

**Figura 6** - Potência instalada e número de sistemas fotovoltaicos de micro e minigeração distribuída por classe de consumo



Fonte: ANEEL e ABSOLAR, (2017).

O Brasil apresenta características naturais favoráveis ao desenvolvimento da energia solar fotovoltaica, os valores de irradiação incidente em qualquer região do país são superiores aos da maioria dos países da União Europeia (MELO e GRIMONI, 2012). A irradiação média anual brasileira varia entre 1.200 a 2.400 kWh m<sup>-2</sup> ano<sup>-1</sup>, bem acima da média da Europa. A região Nordeste apresenta os maiores valores de irradiação solar global, com a maior média e a menor variabilidade anual entre todas as regiões geográficas. Os valores máximos de irradiação solar no país são observados na região central da Bahia 6,5 kWh m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> (TIBA et al. 2000)

Para Moussi et al. (2003), a energia solar fotovoltaica tem sido a mais ampla e promissora fonte de energia utilizada atualmente, considerando a necessidade de restauração do meio ambiente. Chang, (2010) destaca que essa tecnologia de geração tem avançado rapidamente nos últimos anos, principalmente pelo desenvolvimento das indústrias de tecnologia, por isso, tem mostrado um potencial de redução de custo e perspectiva na melhoria da eficiência de conversão.

Segundo Glasnovic e Margeta (2007), a irrigação é o consumidor mais apropriado da energia fotovoltaica, pois os sistemas de irrigação frequentemente são instalados em locais distantes da rede elétrica e sua demanda por energia depende do requerimento de água pela planta que são compatíveis com a disponibilidade de energia. Assim a maior demanda de água pelas plantas ocorre justamente com altas radiações solares, o que não é limitante na geração de energia solar.

#### 3.4.1 Sistema solar fotovoltaico

Fisicamente, um sistema solar fotovoltaico consiste de um gerador fotovoltaico para geração de energia, dispositivos eletrônicos para controle e regulagem do sistema (controlador de carga, inversor de tensão e ocasionalmente baterias) e os equipamentos auxiliares como fiação, disjuntores entre outros (VARELLA et al., 2009).

Segundo Brasilio e Guedes (2012), o controlador de carga tem a função de regular a tensão de recarga das baterias e tensão de alimentação dos dispositivos ligados à instalação fotovoltaica. O inversor é um dispositivo que converte a eletricidade de corrente contínua (12 V) para corrente alternada (110/220 V) e as baterias funcionam como armazenadores de energia produzida pelo módulo fotovoltaico, no qual as baterias seladas são as mais recomendadas.

Uma das aplicações mais comuns dos sistemas fotovoltaicos nos países em desenvolvimento é o bombeamento de água, o qual tem potencial para se tornar uma

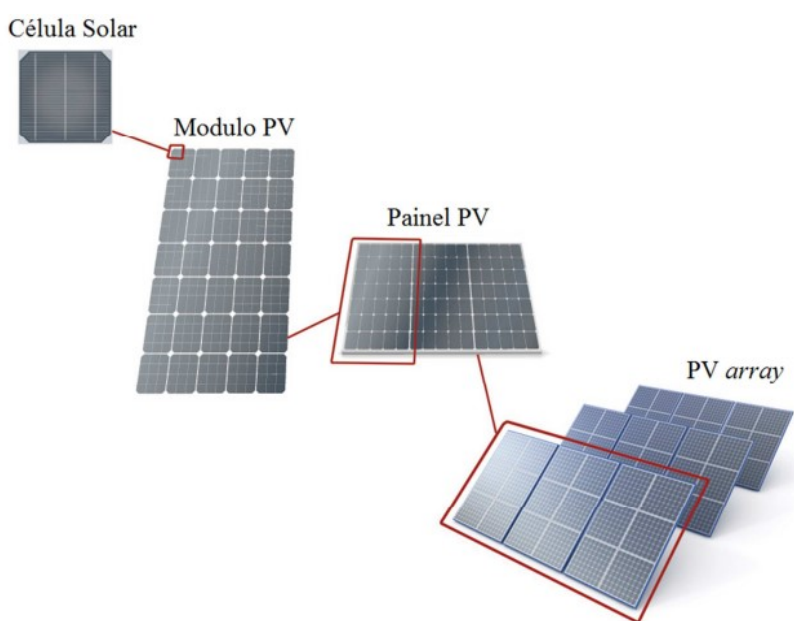
grande força no desenvolvimento social e econômico (KORDZADEH, 2010). Para Chilundo et al. (2014), a água bombeada por estes sistemas na maior parte das vezes destina-se ao uso em sistemas de irrigação, bebedouro de animais, uso doméstico, sistemas de reúso de água da chuva e áreas de proteção animal.

O sistema fotovoltaico apresenta vantagens sobre outras tecnologias, devido à independência da fonte de combustível, baixa necessidade de manutenção de seus equipamentos, relativa facilidade de instalação e deslocamento, longa vida do gerador, operação autônoma, perfeita adequação das épocas de maior recurso energético e maior demanda de água, além da questão ambiental (CHILUNDO et al., 2014).

#### 3.4.1.1 Painel, módulo e célula fotovoltaica

Conforme a NBR 10.899, a célula fotovoltaica é elemento responsável pela conversão direta da energia solar em energia elétrica. O módulo fotovoltaico é o conjunto de células solares fotovoltaicas interligadas e o painel fotovoltaico é o conjunto de módulos fotovoltaicos eletricamente conectados e montados sobre uma estrutura de suporte. Já o PV *array* ou usina fotovoltaica é o conjunto de vários painéis solares que funcionam como uma única unidade de produção de eletricidade (SMETS et. al., 2016). Na Figura 7 são ilustradas as definições mencionadas anteriormente.

**Figura 7** - Célula solar, módulo, painel e gerador fotovoltaico



Fonte: Medeiros, (2017).

As células fotovoltaicas são feitas de material semicondutor, o mais usado para a produção das células é o silício (Si). Três formas de silício são largamente usadas no mercado: o monocristalino que tem maior rendimento e elevado custo, o policristalino que tem rendimento e custo intermediários e o silício amorfo que tem baixo rendimento e baixo custo (CRESESB, 2014).

Em 2013 o principal produtor mundial de silício utilizado na fabricação de células fotovoltaicas foi a China seguida por Estados Unidos, Brasil, França e Noruega (USGS, 2014). Segundo Green et al. (2014), o Si monocristalino e o policristalino lideram o mercado desde 2000 com 81% da produção mundial e em 2011 atingiram 87,9% deste mercado. A eficiência máxima para essas células é de aproximadamente 18% com vida útil de 25 a 30 anos (CHAAR et. al., 2011).

O desempenho dos módulos é fundamentalmente afetado pela irradiância solar e pela temperatura das células, além de outros fatores como a área do módulo, o ângulo de incidência solar, perdas nas ligações elétricas e incompatibilidade das características elétricas (PINHO e GALDINO, 2014).

#### *3.4.1.2 Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos*

Para o correto dimensionamento é necessário o conhecimento da irradiação solar disponível no local de instalação. Quanto maior a irradiação incidente maior será a quantidade de energia elétrica gerada pelos painéis fotovoltaicos. Os principais instrumentos de medições são o piranômetro e o pireliômetro (LABOURET e VILLOZ, 2010).

O uso de programas de simulação como o *PV\*Sol* e o *PVS* permite resolver problemas de dimensionamento e otimização de sistemas fotovoltaicos. Para o caso específico de sistema fotovoltaico de bombeamento de água foi desenvolvido na Universidade de Bundeswehr, Munique-Alemanha um instrumento de desenho e simulação, o *DASTPVPS* (FEDRIZZI, 2003). No caso de sistemas autônomos, Hahn (1998) aconselha o uso do método aritmético simples baseado na relação entre o gerador fotovoltaico, acumulador de energia e as cargas.

Pinho e Galdino (2014) ressaltam que para o dimensionamento de um sistema fotovoltaico de bombeamento de água inúmeros parâmetros devem ser levados em consideração como a demanda hídrica, consumo de energia, características do recurso hídrico, regime de bombeamento e a natureza estocástica da irradiação solar entre outros.

### 3.4.2. Sistemas de Bombeamento Fotovoltaico de Irrigação (SFVI)

O sistema de bombeamento fotovoltaico de irrigação é diretamente interligado a unidade de consumo, sendo os três componentes principais: um conjunto fotovoltaico, um motor de corrente contínua ou alternada e uma bomba d'água. O painel fotovoltaico faz a conversão da energia solar em corrente elétrica que alimenta o motor, que por sua vez é acoplado à bomba d'água (KOLLING et al., 2004).

Segundo Hamidat e Benyoucef (2007), geralmente um sistema de bombeamento fotovoltaico funciona sem baterias, uma vez que o armazenamento da água em reservatório elevado (energia potencial) é a solução mais comumente adotada nas aplicações de bombeamento.

De acordo com Alvarenga (2014), o painel solar gera energia em corrente contínua (CC), sendo que para acionar uma motobomba de corrente alternada (CA) é preciso instalar adicionalmente um inversor de frequência variável, pois o conjunto motobomba irá trabalhar com maior ou menor rotação dependendo da quantidade de radiação solar disponível, diferentemente do que ocorre com uma motobomba ligada ao sistema elétrico convencional que tem uma rotação praticamente constante. Entretanto, já existem sistemas de bombeamento dedicados à tecnologia fotovoltaica.

Segundo Fedrizzi, (1997) os principais tipos de bombas utilizadas nos sistemas fotovoltaicos são as volumétricas e as centrífugas nas seguintes configurações: conjunto motobomba submersa, bomba submersa e motor em superfície, conjunto motobomba flutuante e conjunto motobomba em superfície.

O bombeamento fotovoltaico desenvolveu-se de forma comercial apenas no final da década 70. Em 1990 haviam sido instalados em todo o mundo aproximadamente 10.000 mil sistemas. Nas últimas décadas, no entanto, esse número tem aumentado consideravelmente. O último estudo de previsão da expansão realizado pela União Européia mostra cifras da ordem de 150.000 mil sistemas de bombeamento fotovoltaicos instalados (LEITE, 2016).

Na Argentina, ONGs em parceria com ONGs alemãs, entre 2002 e 2004, instalaram seis SFVI para irrigação em campos de cultivos para a produção de batata, cenoura, milho e outros grãos com capacidades até 65 Wp para irrigação de pequenas áreas. No México em um grande programa de aplicação de energias renováveis foram instalados 206 SFVI, cada um com potência média de 500 Wp, totalizando uma potência instalada de 101 kWp, após dez anos de operação constatou-se 80% de confiabilidade nos sistemas e um tempo de retorno de investimento de 5 a 6 anos em

média. E na Espanha o governo incentivou, mediante subsídios financeiros, a aquisição de SFVI para irrigação em Oliveiras (VALER MORALES, 2011).

No Brasil existem poucos registros de implantações de projetos de irrigação acionados com energia solar fotovoltaica. Alguns projetos isolados foram instalados principalmente na região Nordeste, por meio de institutos de pesquisa, ONGs e com o apoio governamental.

De acordo com Fedrizzi (2003), no Brasil em 2003 existiam cerca de 3.260 sistemas implantados e uma potência total de 1,7 MWp. No estado da Bahia, entre 2006 e 2008, o Projeto “Adapta Sertão” instalou 7 sistemas de irrigação no município de Pintadas para irrigação de hortaliças por gotejamento. Também foi instalado em Capim Grosso-BA 9 SFVI, com uma potência instalada de 880 Wp resultado da parceria entre a *National Renewable Energy Laboratory* - NREL, o Centro de Pesquisas em Energia Elétrica (CEPEL) e a Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia. Já em Minas Gerais, a Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG instalou 17 SFVI em regiões isoladas (LEITE, 2016).

Dos sistemas instalados em território brasileiro destaca-se o projeto “Águas do Sol” que promoveu irrigação no interior de Pernambuco com instalações de até 150 Wp e vazões máximas de  $8 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ , como também projetos realizados no Rio Grande do Norte com potência instalada de 960 Wp com vazões de até  $43 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$  (COSTA, 2006).

A ANEEL (2002) ressalta que muitos projetos de bombeamento de água em áreas rurais isoladas nas regiões Norte e Nordeste do Brasil são considerados importantes para a população local e o seu uso pode ser dividido em três categorias: abastecimento doméstico, piscicultura e para sistemas de irrigação.

### **3.5 Reúso de água na agricultura**

O uso de fontes alternativas ou águas de qualidade inferior (salinas ou residuárias) tem despertado o interesse da sociedade frente ao acelerado crescimento populacional e o aumento da demanda hídrica nos diversos setores de consumo. Dessa forma, a utilização de fontes alternativas de água, principalmente na agricultura irrigada depende de estratégias de manejo que, em longo prazo, assegurem a sustentabilidade socioeconômica e ambiental dos sistemas agrícolas (NEVES, 2012).

De acordo com a Resolução CNRH nº 54/2005, águas residuárias são os esgotos, a água descartada, os efluentes líquidos de edificações, indústrias,

agroindústrias e agropecuária, tratados ou não. Dessa forma, as águas residuárias são todas as águas descartadas que resultam da utilização por diversos processos e seu grau de impureza pode ser muito variado. Já o reúso de água é definido como a utilização de água residuária e neste processo pode haver ou não um tratamento da água, dependendo da finalidade para a qual vai ser reutilizada.

O aproveitamento de águas residuárias na agricultura, além de racionalizar o uso da água, pode reduzir o nível requerido de purificação do efluente e com isso reduzir os custos com fertilizantes, uma vez que os esgotos tratados constituem adubos naturais, o que pode aumentar a produção agrícola (MMA, 2005).

Zared Filho et al. (2003) ressaltam que a demanda crescente por água tem feito o reúso planejado da água um tema atual e de grande importância, em que deve-se considerar o reúso da água como parte de uma atividade mais abrangente que é o uso racional ou eficiente da água, que compreende também o controle de perdas e desperdícios e a minimização da produção de efluentes e do consumo de água.

Segundo Who (2006), as principais forças que têm impulsionado o aumento do uso de águas residuárias são: o aumento da escassez hídrica e degradação de recursos hídricos, o crescimento populacional e consequente aumento da demanda por alimentos, o reconhecimento crescente do valor das águas residuárias e dos nutrientes que contêm, além dos objetivos de desenvolvimento do milênio, principalmente aqueles que visam à garantia da sustentabilidade ambiental.

O reúso de água na agricultura pode complementar ou suprir por completo a demanda hídrica das culturas irrigadas. Essa alternativa potencializar o uso dos recursos hídricos em áreas distantes de mananciais e principalmente em regiões semiáridas, em que a escassez de água é um dos principais problemas (SOUZA, 2004).

Segundo Lima et al. (2012), o crescimento populacional aumentará a demanda por mais água tanto para consumo humano como na agricultura. Desse modo, o reúso no setor agrícola torna-se um importante recurso para implementação de políticas e estratégias de gestão dos recursos hídricos.

Nobre et al. (2010) destacam que o uso de efluentes tratados na produção agrícola visa promover a sustentabilidade da agricultura irrigada, economia de águas superficiais não poluídas, mantendo a qualidade ambiental e servindo como fonte nutritiva as plantas.

### 3.5.1 Tipos de reúso de água

De acordo com a Resolução CNRH nº 54/2005, os tipos de reúso são definidos conforme a sua utilização podendo ser divididos em três tipos: reúso indireto não planejado ocorre quando a água utilizada em alguma atividade é descarregada no meio ambiente e novamente utilizada a jusante, em sua forma diluída, de maneira não intencional e não controlada. O reúso indireto planejado da água é quando os efluentes, depois de tratados são descarregados de forma planejada nos corpos de águas superficiais ou subterrâneas para serem utilizadas a jusante de maneira controlada. E o reúso direto é o uso planejado da água residuária, conduzida ao local de utilização, sem lançamento ou diluição prévia em corpos hídricos ou subterrâneos (ANA, 2016).

O reúso de água é classificado em duas grandes categorias: potável direto e indireto e não potável. O reúso potável direto é quando o efluente recuperado, por meio de tratamento avançado é diretamente reutilizado no sistema de água potável. O reúso potável indireto é o caso em que o efluente, após o tratamento é disposto na coleção de águas superficiais ou subterrâneas para diluição, purificação natural e subsequente captação, tratamento e finalmente utilizado como água potável. E o reúso de água não potável é quando o efluente tratado ou não é reutilizado na agricultura, indústria, além de ser aplicável para a dessedentação de animais (WESTERHOFF, 1984),

### 3.5.2 Principais normas técnicas brasileiras e internacionais

Segundo Cunha et al. (2011) no processo de reúso de água há uma inter-relação com a proteção à saúde pública e ao meio ambiente, além do gerenciamento de recursos hídricos. Para a prática do reúso é necessário conhecer as bases legais e assim definir a forma correta de utilização de águas residuárias. Dessa forma, o reúso é considerado um instrumento para liberação dos recursos hídricos de melhor qualidade para fins mais nobres, utilizando-se efluentes e protegendo a saúde pública e o meio ambiente.

Na formulação de marcos regulatórios para o reúso de água, os problemas devem ser considerados em várias instâncias: a saúde pública, ambiental, econômica, social e cultural. Estas questões devem ser bem estudadas, pois delas depende a aceitação ou rejeição pública do reúso de água (WHO, 2006; HESPANHOL, 1997).

Com o advento da Lei nº 9.433/97, um novo enfoque passou a ser dado à questão hídrica. A legislação sobre recursos hídricos trata de aspectos como a

racionalização do uso da água e estabelece princípios e instrumentos para sua utilização. No entanto, houve pouca preocupação legislativa quanto à fixação de princípios e critérios para a reutilização de água no Brasil (BERNARDI, 2003).

Assim sendo, no Brasil existem poucas normas e padrões técnicos específicos para regulamentar e direcionar em nível nacional o reúso de águas residuárias, provavelmente devido à falta de tradição quanto à aplicação desta prática. No entanto, em 1997, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2013) lançou a NBR 13.969, que trata de providências e cuidados, assim como fornece instruções, a respeito do esgoto de origem doméstica.

Recentemente, a superintendência estadual do meio ambiente - SEMACE, no uso de suas atribuições legais e considerando a necessidade de estabelecer os padrões de lançamento nos corpos receptores, a saúde e o bem-estar humano, a escassez das reservas de água do Estado do Ceará, a necessidade de prevenir a contaminação do subsolo e das águas subterrâneas e considerando as prerrogativas das Resoluções nº54 de 2009, nº 121 de 2010 sobre práticas de reúso e a Lei Estadual nº16.033 de 20 de junho de 2016, publicou a resolução COEMA nº02 de 02 de fevereiro de 2017.

A resolução COEMA nº 02 de 2017 dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos receptores e em rede coletora de esgoto, em atendimento aos princípios e respectivos objetivos da Política Nacional de Meio Ambiente, além de estabelecer diretrizes, critérios e parâmetros específicos para o reúso não potável de água de acordo com as modalidades regulamentadas nesta resolução.

Outras normas técnicas em nível estadual também estabelecem diretrizes para a correta reutilização de efluentes, a exemplo da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), que publicou a norma CETESB P04. 002, em 2010 com o objetivo de estabelecer os critérios e procedimentos para armazenamento, transporte e aplicação em solo agrícola de efluentes líquidos e lodos fluidos gerados pela atividade de processamento de frutas cítricas no Estado de São Paulo, de forma a minimizar o risco de poluição do solo e das águas superficiais e subterrâneas (CETESB, 2010).

Com relação a normas técnicas internacionais, órgãos importantes como a Organização Mundial da Saúde - OMS, a FAO e a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos - USEPA publicaram diversos guias contendo diretrizes para o reúso de águas residuárias com fins agrícolas e florestais.

A FAO publicou um importante documento, intitulado “Wastewater treatment and use in agriculture”, com diretrizes sobre o reúso de água. Além disso, a

USEPA também publicou normas sugerindo classes de reúso: urbano, agrícola, ambiental e recreacional, recarga de aquíferos e aumento do suprimento de água potável.

### 3.5.3 Qualidade da água residuária para irrigação e culturas irrigadas

A qualidade da água reutilizada é importante tanto para a saúde dos trabalhadores em contato com essa água, quanto para a aplicação em que será utilizada, uma vez que, o uso de águas residuárias podem causar problemas ambientais e riscos à saúde pública se não passarem por tratamentos adequados (ANA, 2016).

Duarte et al. (2008) destacam que a irrigação com efluentes sem tratamento ou sem conhecimento de sua qualidade pode ser nociva ao meio ambiente, a saúde humana, ao solo, aos aquíferos e as culturas irrigadas. Kummer et al. (2012) destacam que a qualidade da água utilizada no reúso agrícola é de grande importância, tanto em relação à vida útil do sistema quanto na uniformidade da distribuição da água pelo sistema de irrigação.

A OMS publicou algumas recomendações em relação ao uso das águas residuárias para fins agrícolas, destacando a importância da qualidade biológica dos efluentes utilizados na irrigação, com a finalidade de diminuir as probabilidades de propagação de patógenos, evitando diferentes doenças (WHO, 2006).

A partir de estudos epidemiológicos realizados por especialistas, a OMS publicou em 1989 o “Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture” e em 2006, o “Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater”. Com base nos critérios epidemiológicos e do conhecimento da eficiência dos processos de tratamento de esgotos, a OMS adotou as diretrizes que são apresentadas na Tabela 3.

**Tabela 3** - Diretrizes da OMS para irrigação com esgotos domésticos tratados

Categoria	Tipo de irrigação e cultura	Grupos de risco	Nematoides intestinais (ovos L <sup>-1</sup> )	Coliformes fecais (org. 100 ml <sup>-1</sup> )	Processo de tratamento
A	Culturas a serem consumidas cruas, campos de esportes, parques e jardins.	Agricultores, consumidores, público em geral	$\leq 1$	$\leq 10^3$	Lagoas de estabilização em série, ou tratamento equivalente em termos de remoção de patógenos.
B	Culturas processadas industrialmente, cereais, forragens, pastagens, grãos.	Agricultores	$\leq 1$	$\leq 10^5$	Lagoas de estabilização com 8 – 10 dias de tempo de detenção ou remoção equivalente para helmintos e coliformes fecais.
C	Irrigação localizada de plantas da categoria B na ausência de riscos para os agricultores e público em geral.	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável	Pré-tratamento de acordo com o método de irrigação, no mínimo sedimentação primária.

Fonte: Adaptado de Who, (1989).

As lagoas de estabilização são bem aceitas quando se trata da remoção de agentes microbiológicos, dentre outros parâmetros, sendo considerada uma das principais formas de tratamento de águas residuárias para fins agrícolas, sendo reconhecida pela OMS como uma das melhores formas de tratamento para reúso de água com a finalidade de irrigação de culturas (ANA, 2016).

A escolha correta do método de irrigação e das culturas pode minimizar os riscos de saúde dos trabalhadores e dos consumidores, mostrando os fatores que influenciam a escolha do processo de irrigação e as medidas preventivas para a utilização das águas residuárias na agricultura (HESPANHOL, 2002).

Além dos parâmetros biológicos, os parâmetros químicos também devem ser considerados quando se trata de utilização de água residuária para irrigação. Diversos parâmetros químicos são de extrema importância para a agricultura, tendo papel fundamental na produtividade, qualidade das culturas, manutenção da capacidade

produtiva do solo e proteção do meio ambiente e da saúde dos consumidores finais, (HESPANHOL, 2003).

Para Andrade e Brito (2010), a qualidade da água é definida a partir de critérios de salinidade, sodicidade, toxicidade, entre outros. Desse modo, alguns parâmetros devem ser observados nas águas utilizadas para irrigação, sendo esses os que afetam, principalmente, a conservação do solo, o rendimento e a qualidade das culturas. A Tabela 4 mostra resumidamente a caracterização dos efluentes levando em consideração o seu aproveitamento na agricultura.

**Tabela 4** - Caracterização de efluentes para utilização na irrigação agrícola

Parâmetro	Unidade	Esgoto Bruto	Efluente primário	Efluente secundário (filtro biológico)	Efluente de lagoa de estabilização
CE	ds m <sup>-1</sup>	-	1,3	1,4	1,5
Alcalinidade	mg L <sup>-1</sup>	100 - 170	421	301,5	372
pH	-	7,0	6,8	6,6	8,2
SST	mg L <sup>-1</sup>	200 - 400	90	32	36,2
SDT	mg L <sup>-1</sup>	500 - 700	660	646	1140
DBO	mg L <sup>-1</sup>	250 - 300	195	82	44,2
DQO	mg L <sup>-1</sup>	500 - 700	400	212	92,6
N-total	mg L <sup>-1</sup>	35 - 70	47,4	34,9	30,2
P-total	mg L <sup>-1</sup>	5 - 25	10,9	14	14,6
K	mg L <sup>-1</sup>	-	31,4	32,7	36,8
Na	mg L <sup>-1</sup>	-	119,6	128,9	142,5
Ca	mg L <sup>-1</sup>	-	54,6	55,6	74
Mg	mg L <sup>-1</sup>	-	34,5	34,9	32,2
Cl	mg L <sup>-1</sup>	20 - 50	155	155	166,9
B	mg L <sup>-1</sup>	-	1,1	1,2	1,5

Fonte: Adaptado de Bastos, (1999).

Cavalcante et al. (2012) destacam que para o uso de esgotos tratados na irrigação, faz-se necessária a elaboração e a avaliação de alguns parâmetros para a adequação da água à sua finalidade, ressaltando a importância da caracterização dos efluentes usados de acordo com suas características químicas.

Ayres et al. (1992) destacam que o grau de contaminação das culturas irrigadas com água de reúso tratada é inversamente relacionado ao grau de tratamento dado a água de reúso. Desta forma, o tratamento dado à água que será utilizada para irrigação deve ser realizado em níveis que não comprometam a saúde pública.

O sucesso do reúso de água na agricultura depende de estratégias para otimização da produção agrícola e a qualidade dos produtos agrícolas irrigados, tendo

como norteadores a qualidade da água, a manutenção das propriedades do solo e a proteção da saúde pública e do meio ambiente (ANA, 2016).

A utilização de águas residuárias em sistemas de irrigação pode reduzir os custos de fertilização das culturas, assim como o nível requerido de purificação do efluente, o qual reduz os custos de seu tratamento, uma vez que as águas residuárias possuem diversos nutrientes e o solo e as culturas comportam-se como biofiltros naturais (BRANDÃO et al., 2002).

#### 3.5.4 Aplicações do reúso de água na agricultura

Historicamente, o reúso de água tem sido largamente utilizado, de forma segura e controlada, em diversos países como Estados Unidos, Japão, Austrália, Israel e Tunísia, nas mais diversas aplicações, inclusive para aumentar o suprimento de água potável, como é o caso da Namíbia (ASANO, 2002).

Apesar de reúso planejado ser amplamente difundido e utilizado mundialmente, no Brasil, mesmo com escassez dos recursos hídricos em algumas regiões, essa prática não tem sido utilizada intensivamente. Existem poucos registros do reúso planejado de efluentes tratados em diversas atividades, principalmente na agricultura. Alguns entraves legislativos e técnicos têm limitado sua expansão não apenas no Brasil, mas também em outros países, entre eles podem ser citados, a falta de tratamento de esgoto e dejetos e o risco de uso de produtos não tratados para o ambiente e para a saúde pública (ANA, 2016).

Entretanto, nos últimos anos vem ocorrendo um aumento da utilização de águas residuárias para irrigação de culturas agrícolas, tanto em países em desenvolvimento quanto em países desenvolvidos (WHO, 2006).

Segundo Lima et al. (2012), o reúso de água para fins agrícolas, realizado de maneira rigorosa pode ser uma solução eficaz na sustentabilidade dos recursos hídricos. Porém é necessária uma ação conjunta entre o poder público e entidades privadas para que novas alternativas de preservação hídrica sejam viabilizadas, pois é notória entre pesquisadores a eficiência desta atividade na produção de diferentes culturas.

Diversas pesquisas têm constatado que a produção agrícola é maior quando alguma forma de água residuária é utilizada. Na Tabela 5 são apresentados vários estudos realizados com relação à aplicação do reúso de água na agricultura para irrigação de diversas culturas.

**Tabela 5** - Estudos realizados com o uso de água residuária na agricultura

<b>Autores</b>	<b>Descrição</b>
Misra et al. (2010)	Reúso potencial da água da lavanderia para irrigação do tomate, Austrália.
Barroso e Wolff (2011)	Reúso de esgoto sanitário na irrigação de culturas agrícolas, Espírito Santo, Brasil.
Kummer et al. (2012)	Qualidade da água residuária para irrigação do trigo.
Dantas et al. (2014).	Viabilidade do uso de água residuária tratada na irrigação da cultura do rabanete ( <i>Raphanus sativus</i> L.).
Alrajhi et al. (2015)	Avaliação das propriedades químicas do solo irrigadas com águas residuais sob irrigação suplementar para produção de tomate, Austrália.
Pereira et al. (2016)	Composto orgânico e água residuária sobre o crescimento inicial de plantas oleaginosas, Campina Grande-PB, Brasil.
Christou et al. (2016)	Efeito de águas residuais aplicadas com técnicas de irrigação na produtividade das plantas de morango e as características de segurança, qualidade e capacidade antioxidante de frutos, Nicosia.
Shakir et al. (2016)	Riscos ambientais e de saúde associados com reúso de águas residuais para irrigação, Bagdá, Iraque.
Cavalcante et al. (2017)	Estudo das características restritivas dos efluentes das estações de tratamento de esgoto de Petrolina-PE para uso na agricultura irrigada.
Freitas et al. (2018)	Uso do esgoto doméstico tratado como fonte hídrica e nutricional para a cultura do feijoeiro em Tiaguá – CE.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para Hespanhol, (2003) a aplicação de efluentes tratados no solo é uma forma efetiva de controle da poluição e uma alternativa viável para aumentar a disponibilidade hídrica em regiões áridas e semiáridas. Portanto, os maiores benefícios do reúso de água estão associados aos aspectos econômico, ambiental e social.

### 3.6 Análise emergética

A emergia consiste na quantidade de energia utilizada direta ou indiretamente para gerar um produto, recurso ou serviço. Portanto é uma medida universal do trabalho da natureza e da sociedade em uma base comum, expressa em joules de energia solar equivalente (seJ ou emjoule) para distingui-la do joule (ODUM, 1996).

A análise emergética possibilita medir todas as contribuições (energia, massa, moeda) em termos equivalentes (emergia). Para tal, faz uso da teoria de sistemas, termodinâmica, biologia e de novos princípios do funcionamento de sistemas abertos que estão sendo propostos por diversos pesquisadores (ORTEGA, 2002).

De acordo com Agostinho et al. (2010), a metodologia emergética proposta por Odum permite contabilizar os fluxos de recursos da natureza, assim como os materiais e serviços em uma mesma base de medida, em que possibilita comparar a dinâmica destes fluxos dentro da unidade estudada, entre a unidade e sua região e entre modelos de agricultura.

Campbell e Garmestani (2012) destacam que a metodologia emergética é uma ferramenta de modelação, que resolve o problema de normalização das propriedades de um sistema. Para isto, as transformidades são usadas para normalizar fatores, variáveis e outros atributos do sistema para uma medida de emergia solar. Além disso, a ferramenta dá uma visão holística do sistema combinando ecologia e economia.

A transformidade é definida como a razão da emergia por unidade de energia potencial (exergia) e é expressa em termos de emjoule por joule ( $\text{seJ J}^{-1}$ ) também, pode ser expressa em termos de emergia específica, definida como a emergia por massa ( $\text{seJ g}^{-1}$ ) ou ainda em termos de emergia por unidade monetária ( $\text{seJ US}\$^{-1}$ ) (ODUM, 1996).

Machado Filho et al. (2001) ressaltam que os sistemas de produção precisam ser energeticamente sustentáveis, uma vez que os sistemas agrícolas são abertos, a quantidade de energia que entra no sistema deve ser preferencialmente igual ou menor a que sai. Dessa maneira, a soma da energia disponível usada direta ou indiretamente para criar um serviço ou produto, pode ser calculada pela emergia (ODUM e BARRET, 2008).

Os procedimentos para aplicação da metodologia emergética podem ser divididos em três etapas principais. A primeira etapa consiste na elaboração do diagrama de fluxos de energia para determinar os principais elementos do sistema. Já a segunda etapa consiste na organização dos dados em uma tabela de avaliação de emergia e na terceira etapa, calculam-se e interpretam-se os indicadores emergéticos (ODUM, 1996).

### 3.6.1 Diagrama de fluxos de energia (Primeira Etapa)

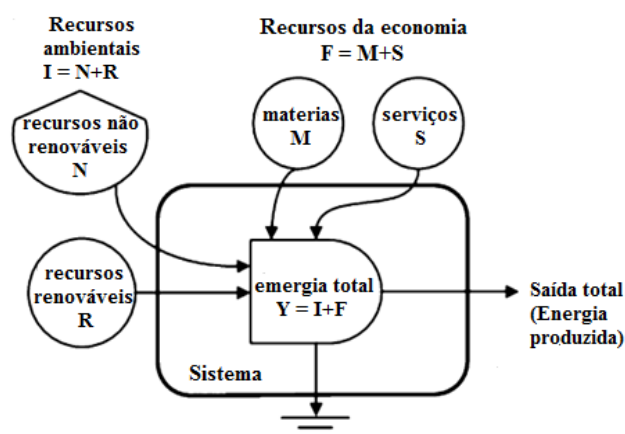
Para a realização do diagrama de fluxos de energia há necessidade de se ter uma visão sistêmica, bem como observar todas as atividades como sistemas integrados ou interligados. Essa concepção sistêmica permite conhecer o modo de funcionamento do sistema de produção e a interação dele com a natureza e também modelar e simular novos sistemas (AGOSTINHO et al., 2008).

Esse diagrama é utilizado como base na elaboração da tabela de análise de energia, pois, segundo Souza (2006) permite um melhor entendimento e visualização do sistema como um todo, sendo que os diagramas de fluxo de energia mostram os elementos mais importantes do sistema, em que os fluxos de energia de menor intensidade, mais dispersos ficam a esquerda do diagrama, enquanto à medida que se caminha para direita no diagrama os fluxos de energia são mais concentrados e mais complexos.

Assim sendo, de acordo com Cavalett et al. (2006), o primeiro passo para a elaboração do diagrama sistêmico é identificar seus componentes principais, ou seja, as entradas e as saídas. Esta parte é realizada na etapa de levantamento de dados a partir de trabalho realizado a campo. Também, no diagrama é necessário colocar os limites do sistema para identificar todos os importantes fluxos de entrada e saída que cruzam as fronteiras do sistema escolhido e que cada um desses fluxos se converte em uma linha que vai desde a fonte até os componentes que a utilizam.

Na Figura 8 é apresentado um diagrama sistêmico para análise de energia, em que usa uma linguagem simbólica para representar os fluxos e as interações de energia.



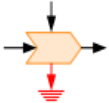
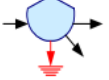
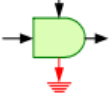
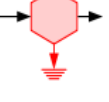
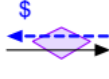
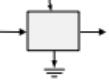
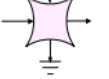
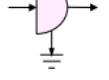
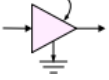

**Figura 8** - Diagrama sistêmico da avaliação de energia



Fonte: Odum, (1996).

Para a elaboração gráfica desta etapa, Odum (1983) desenvolveu uma linguagem simbólica gráfica, empregando símbolos da eletrônica e de sistemas de circuitos analógicos para identificar as funções e interações nos diagramas (Tabela 6).

**Tabela 6** - Simbologia utilizada na elaboração do diagrama sistêmico

Símbolos	Significado
	Fonte: fonte de energia externa.
	Fluxo de Energia: fluxo proporcional ao volume do estoque ou a qualidade da fonte que o produz.
	Interação: intersecção de dois fluxos para produzir uma saída em proporção a uma função de ambos ou controle de ação de um fluxo sobre outro.
	Depósito: reserva energética dentro do sistema, que guarda uma quantidade de energia de acordo com o balanço de entrada e saída.
	Produtor: unidade que coleta e transforma energia de baixa qualidade (baixa intensidade) em energia com qualidade superior.
	Consumidor: unidade que transforma a qualidade da energia armazena e retroalimenta energia à etapa anterior (sistema autocatalítico) para melhorar o fluxo de energia que recebe.
	Transação: uma unidade que indica a venda de bens ou serviços (linha contínua) em troca de um pagamento em dinheiro (linha tracejada).
	Caixa: símbolo utilizado para definir os limites de um sistema ou um subsistema dentro de um sistema maior.
	Chave: símbolo que indica uma ação de conexão-desconexão.
	Receptor de energia autolimitante: unidade que tem uma saída autolimitada pela presença limitada de um material de alta qualidade.
	Amplificador: uma unidade que fornece um fluxo de saída (O) na proporção do fluxo de entrada (I) transformado por um fator constante com quanto a fonte de energia (S) seja suficiente.
	Sumidouro de energia: dispersão de energia potencial empregada no sistema. A energia potencial é utilizada para produzir trabalho e o custo dessa transformação é a degradação da energia, a qual deixa o sistema como energia de baixa intensidade (2ª Lei da Termodinâmica).

As cores quando usadas devem seguir os padrões sugeridos por Odum: amarelo: luz solar e calor, verde: produtores, azul: água, nutrientes e outros recursos, vermelho: consumidores.

Os diagramas sistêmicos são essenciais na metodologia emergética e sua simbologia precisa ser estudada e internalizada para compreender seu significado e seu funcionamento (COMAR, 1998).

### 3.6.2 Tabela de avaliação de energia (Segunda Etapa)

Na segunda etapa as linhas de fluxo de entrada no diagrama são convertidas em uma linha de cálculo na tabela de avaliação de energia (Tabela 7). A tabela é composta por seis colunas e cada linha na tabela é um “caminho” de entrada no diagrama agregado do sistema avaliado. Dessa forma, os “caminhos” são avaliados como fluxos em unidades por ano (ODUM, 1996).

**Tabela 7** - Modelo de avaliação do fluxo de energia

Nota (1)	Contribuições (2)	Valor (3)	Unidades (4)	Transformidade (5)	Fluxo de energia (6)
R - Recursos da natureza renováveis					
N - Recursos da natureza não-renováveis					
M - Materiais da economia					
S - Serviços da economia					

Fonte: Odum, (1996)

De acordo com Odum (1996), a coluna (1) consiste em uma nota para referenciar os detalhes dos cálculos de cada um dos fluxos de energia, enquanto que a coluna (2) fornece o nome dos insumos do sistema. Já a coluna (3) contém o valor numérico da quantidade de cada fluxo, enquanto a coluna (4) contém as unidades dos valores da coluna (3). A coluna (5) contém o valor da transformidade ou energia por unidade ( $\text{seJ kg}^{-1}$ ,  $\text{seJ J}^{-1}$  ou  $\text{seJ US\$}^{-1}$ ) para cada fluxo da coluna (3) e por fim a coluna (6) consiste no fluxo de energia total, que é calculado multiplicando-se a coluna (3) pela coluna (5).

No que se refere à sequência de inserção dos fluxos, segundo Agostinho et al. (2008), os primeiros fluxos colocados são os relacionados à contribuição da natureza (I), ou seja, os recursos naturais renováveis (R) e os não-renováveis (N). Posteriormente são colocados os recursos da economia (F), que são divididos em materiais (M) e

serviços (S) renováveis e não renováveis. E por fim, tem-se o total de energia utilizado pelo sistema (Y), que é a soma de I mais F.

### 3.6.3 Cálculo dos indicadores emergéticos (Terceira Etapa)

A terceira etapa consiste no cálculo dos indicadores emergéticos com base na tabela de avaliação dos fluxos de energia. Os principais indicadores emergéticos são: energia total (Y), transformadas solar (Tr), taxa de rendimento emergética (EYR), renovabilidade (R%), taxa de investimento emergético (EIR), carga ambiental (ELR), índice de sustentabilidade emergética (ESI) e taxa de intercâmbio (EER), (ODUM, 1996; ORTEGA et al., 2002; BROWN e ULGIATI, 2004).

A transformidade solar (Tr) é a energia total (Y) dividida pela energia produzida (E). Avalia a eficiência do sistema, bem com o menor valor indica maior eficiência de transformação da energia, enquanto a maior transformidade indica que o sistema ocupa uma posição superior na hierarquia da energia na biosfera. A transformidade do sistema indica, também, o valor real do produto (ODUM, 1996).

A taxa de rendimento emergético (EYR) indica a habilidade do sistema em explorar os recursos locais e disponibilizá-los na forma de produtos, em resposta aos investimentos externos. Quando EYR é igual a um ( $EYR=1$ ), indica que a energia dos recursos locais é exatamente igual à quantidade de energia que é provida da economia, portanto, o sistema não tem nenhum potencial de contribuição para o crescimento econômico. A contribuição é pequena quando:  $1 < EYR < 2$ , moderada:  $2 < EYR < 5$  e alta:  $EYR > 5$ . Os sistemas com  $EYR > 5$  têm potencial de contribuição significativo para o crescimento socioeconômico (ORTEGA, et al., 2002).

A renovabilidade emergética (R%) é a porcentagem de energia renovável. Sistemas com alta renovabilidade prevalecem, no longo prazo. (ODUM, 1996). Já a taxa de investimento emergético (EIR) avalia o uso eficiente da energia dos investimentos em recursos da economia. O menor valor de EIR indica menor gasto de energia não renovável, principalmente, condição que diminui o custo de produção e propicia melhor desempenho no mercado. Pode ser interpretado como um índice de competitividade, pois a EIR menor, competitividade maior (ORTEGA et al., 2002).

A razão de carga ambiental (ELR) indica o estresse que o sistema exerce sobre o ambiente. Teoricamente,  $ELR = 0$  indica ecossistemas naturais maduros. Quanto maior a ELR, devido ao uso de recursos não renováveis, maior é a distância entre os sistemas de produção e os ecossistemas locais,  $ELR < 2$  indica baixa carga

ambiental,  $2 < ELR < 3$  moderadamente baixo,  $3 < ELR < 10$  moderado e  $ELR > 10$  alto (BROWN e ULGIATI 2004).

O índice de sustentabilidade emergético (ESI) avalia a contribuição do sistema para a economia por unidade de carga ambiental. O  $ESI < 1$  indica sistema não sustentável, o  $ESI > 1$  contribui para o crescimento econômico, sem grave perturbação ambiental, porém valores intermediários ( $1 < ESI < 5$ ) caracterizam sustentabilidade no médio prazo. E o  $ESI > 5$  indica sustentabilidade no longo prazo (ORTEGA et al., 2002).

A taxa de intercâmbio emergético (EER) é a razão da energia do produto pela energia do dinheiro. Quando  $EER = 1$ , o produtor e o consumidor obtêm a mesma quantidade de energia, indicando que nenhum parceiro comercial tem vantagem relativa sobre o outro. Quando  $EER < 1$ , o produtor tem vantagem sobre o consumidor e  $EER > 1$ , o produtor perde energia, empobrece, ou seja, a razão emergética é em benefício do consumidor (ODUM, 1996).

Agostinho et al. (2010) destaca que os indicadores emergéticos avaliam a sustentabilidade do sistema, verificando qual a dependência de insumos da economia, serviços, recursos naturais renováveis e não renováveis. Por meio dos índices, pode-se analisar se o desenvolvimento do sistema está relacionado à utilização excessiva de recursos não renováveis ou se está baseada na utilização racional de recursos da natureza, o que garante maior sustentabilidade.

#### 3.6.4 Aplicação da análise emergética

No Brasil a agricultura tem-se desenvolvido baseada fortemente na utilização intensiva de máquinas agrícolas, com consequente uso de combustíveis fósseis e utilização intensa de fertilizantes nos agroecossistemas. No entanto, apenas nas regiões Sul e Sudeste e recentemente, pode-se encontrar iniciativas de maior porte que buscam uma agricultura mais autosustentável, do ponto de vista da utilização da energia (CAMPOS e CAMPOS, 2004).

Diversos trabalhos com energia foram conduzidos procurando avaliar o desempenho econômico e ambiental em diferentes culturas e sistemas de cultivo no Brasil e no Mundo (Tabela 8).

**Tabela 8** - Estudos com a metodologia emergética no Brasil e no Mundo

<b>Autores</b>	<b>Descrição</b>
Agostinho et al. (2010)	O uso da avaliação emergética e o sistema de informação geográfica no diagnóstico de pequenas fazendas familiares no Brasil.
Ortega et al. (2010)	Análise emergética de sistemas de produção de olerícolas sob manejo orgânico.
Giannetti et al. (2011)	Avaliação de emergia em uma fazenda de café no Cerrado brasileiro.
Chen et al. (2011)	Avaliação de emergia como proposta para melhoria de um projeto de irrigação na China.
Ghaley e Porter, (2013)	Emergia de um sistema combinado de produção de alimentos em comparação com um sistema de produção de trigo convencional.
Fonseca et al. (2015)	Análise emergética de um sistema silvo-pastoril: um estudo de caso no sul de Portugal.
Totino, (2016)	Avaliação emergética como ferramenta de comparação entre dois sistemas de produção agrícola Argentino: chaco seco e pampa ondulado.
Veisi et al. (2017)	Desempenho emergético e sustentabilidade de três sistemas agrícolas: trigo de inverno, milho grão e milho forrageiro em Dezful na província de Khozestan, Irã.
Zhai et al. (2018)	A emergia do metabolismo no mesmo ecossistema (milho) sob diferentes condições ambientais.

### 3.7 Feijão - caupi

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) é originário da África, mais precisamente na Nigéria, adaptado tanto às terras altas como as baixas do Oeste da África, da Ásia, da América Latina e da América do Norte (CARDOSO et al., 2005; DADSON et al., 2005). É cultivado em vários países da América Central e do Sul, principalmente nas regiões semiáridas do Brasil. O feijão-caupi é conhecido como feijão macaça e feijão de corda no Nordeste, feijão da colônia e de praia no Norte, feijão miúdo no Sul, feijão catador e feijão surupuva na Bahia e no Rio de Janeiro. (FREIRE FILHO; LIMA; RIBEIRO, 2005).

#### 3.7.1 Importância socioeconômica

O feijão de corda apresenta fundamental importância socioeconômica nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, não apenas em função da ampla aceitação popular,

especialmente no meio rural, onde se constitui no componente básico da alimentação, mas também, pelo seu alto valor nutritivo (SOUSA, 2007).

O feijão é uma cultura de importância econômica, social, nutricional e funcional, sendo cultivado por pequenos e grandes produtores. O consumo nas várias regiões do país orienta a pesquisa, direcionando a produção e comercialização do produto. Além de sua importância econômica, o feijão se constitui em um dos alimentos básicos da população brasileira e é uma das alternativas de exploração agrícola em pequenas propriedades, de ocupação de mão de obra menos qualificada e um dos principais produtos fornecedores de proteína na dieta alimentar dos estratos sociais economicamente menos favorecidos (EMBRAPA, 2012).

O feijão-caupi é uma leguminosa anual de ciclos reprodutivos curtos, que constitui a base alimentar de milhões de pessoas em vários países. Embora seja largamente cultivada no mundo, sua importância é maior em países em desenvolvimento da América do Sul, África e Ásia. As proteínas de origem vegetal perfazem 83% do total de proteínas da dieta padrão, representando uma das maiores esperanças no combate à escassez de suprimentos alimentares (EMBRAPA, 2012).

O consumo médio de feijão no Brasil é de 20 kg ano<sup>-1</sup> por pessoa, ele abastece a mesa de 27,5 milhões de nordestinos e gera 2,4 milhões de empregos. Estes dados são extremamente importantes, pois refletem a participação da cultura no contexto de geração de emprego, de renda e da produção de alimentos no país e é a credencial para receber maior atenção por parte das políticas de abastecimento e por parte dos órgãos de apoio à pesquisa. (FREIRE FILHO; LIMA; RIBEIRO, 2005).

### 3.7.2 Produção

O feijão de corda é uma leguminosa amplamente cultivada nas regiões semiáridas da África, Estados Unidos e Brasil. Nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, a cultura apresenta enorme potencial devido à tradição no seu cultivo, comércio e consumo (ROCHA et al., 2009). Távora, Nogueira e Pinho (2001) ressaltam que é na região Nordeste que se concentram as maiores áreas de plantio.

A área plantada com feijão-caupi no mundo está em torno de 12,5 milhões de hectares, com 8 milhões (64%) na parte Oeste e Central da África. O restante da área está localizado na América do Sul, América Central e Ásia, com pequenas áreas espalhadas pelo sudoeste da Europa, sudoeste dos Estados Unidos e Oceania (WANDER, 2013). Aproximadamente 61% da produção mundial de feijão originam-se

de apenas seis países. Myanmar é o maior produtor mundial dessa leguminosa, seguido da Índia, Brasil, China, Estados Unidos e México (Conab, 2016).

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (Conab, 2018), a área de cultivo do feijão no Brasil referente à safra 2017/18 foi 3.235,7 mil hectares entorno de 1,7% maior em relação à safra 2016/17 que foi de 3.180,3 mil hectares. A produção na safra 2017/18 foi 3.369,5 mil t representando uma pequena variação em relação à safra de 2016/17, que foi de 3.399,5 mil t. E a produtividade considerando as duas safras foi 1041 kg ha<sup>-1</sup> e 1069 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

O feijão-caupi é o terceiro tipo mais cultivado no país. A produção nacional de feijão-caupi na safra 2017/18 foi 796,7 mil t, correspondente a uma área de 1.527,1 mil hectares, sendo maior que na safra 2016/17 que foi de 713,3 mil t, referente aos 1.409,3 mil hectares plantados. Já as produtividades foram 522 kg ha<sup>-1</sup> e 506 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Conab, 2018).

A produção, a área plantada e a produtividade do feijão-caupi nos diversos Estados da região Nordeste compreendendo a safra 2016/17 e 2017/18 segundo dados da Conab são apresentados na Tabela 8.

**Tabela 9** - Comparativo de área, produção e produtividade do Feijão-caupi na região Nordeste do Brasil

Região	Área (mil ha)		Produção (mil t)		Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )	
	2016/17	2017/18	2016/17	2017/18	2016/17	2017/18
Nordeste						
MA	87,3	90,9	56,6	57,5	646	632
PI	233,4	241,6	70,3	83,0	302	344
CE	404,2	392,5	117,2	106,8	290	272
RN	35,8	47,4	12,4	16,2	347	341
PB	63,2	82,2	16,5	19,2	261	234
PE	96,4	147,9	13,8	41,5	143	281
AL	10,3	10,3	6,2	5,4	605	522
BA	181,5	173,9	92,1	101,6	507	584

Fonte: Conab, (2018)

Recentemente, a cultura do feijão despertou o interesse de alguns produtores do Centro-Oeste, principalmente, no Estado do Mato Grosso, em razão do desenvolvimento de cultivares com características que favorecem o cultivo mecanizado, passando assim a ser cultivada em escala comercial, vislumbrando oportunidades de exportação (ROCHA et al., 2009). Na safra 2017/18 a produção foi 260,9 mil t em uma área de 236,4 mil hectares e produtividade entorno de 1100 kg ha<sup>-1</sup> (Conab, 2018).

### 3.7.3 Exigências edafoclimáticas

Dentre as condições climáticas destacam-se a precipitação e a temperatura do ar que, por intermédio do zoneamento de risco climático, possibilitam verificar a viabilidade e a época adequada para a implantação da cultura do feijão-caupi. Outros elementos do clima que exercem influência no crescimento e desenvolvimento dessa cultura são o fotoperíodo, o vento e a radiação solar. (ANDRADE JUNIOR; RODRIGUES; FRIZZONE, 2002).

A temperatura ótima durante o desenvolvimento da cultura é de 18 a 24°C, sendo 21°C a ideal. (VIEIRA; PAULA JUNIOR; BORÉM, 2006). De acordo com Freire Filho; Lima e Ribeiro (2005), o feijão de corda exige um mínimo de 300 mm de precipitação pluviométrica distribuídos regularmente durante o ciclo vegetativo da cultura para uma produção satisfatória, pois segundo Doorenbos e Kassam (1979), a necessidade de água para o feijoeiro com ciclo de 60 a 120 dias varia de 300 a 500 mm para obtenção de alta produtividade de grãos.

No que diz respeito aos solos, o feijão de corda pode ser cultivado em quase todos os tipos, especialmente nos latossolos amarelos, latossolos vermelho-amarelos, argissolos vermelho-amarelos e neossolos flúvicos. Em relação às características físicas e químicas do solo, como na maioria das culturas desenvolve-se melhor naqueles ricos em matéria orgânica, com pH próximo de 6,0, textura média, profundos, bem drenados e de média a alta fertilidade (EMBRAPA, 2003).

## 3.8 Análise econômica

A viabilidade econômica é uma ferramenta fundamental para a tomada de decisão dos investimentos em qualquer atividade econômica existente, uma vez que permite a análise da viabilização do projeto e a observação dos ajustes necessários ao sucesso do empreendimento agrícola.

Segundo Potter et al. (2000), a maioria dos trabalhos científicos não avalia a viabilidade econômica das tecnologias estudadas, havendo pouca informação sobre seus benefícios na lucratividade dos sistemas de produção. Para se avaliar um projeto é fundamental calcular corretamente o seu fluxo de benefícios e custos, sendo importante para a determinação dos indicadores econômicos.

Frizzone e Andrade Júnior (2005) ressaltam que para uma análise econômica é necessário fazer estimativas de todas as entradas e saídas, ou seja, todos os

custos envolvidos no investimento inicial, operação e manutenção, como também as receitas geradas durante um determinado período de tempo. Desse modo obtém-se o fluxo de caixa financeiro relativo à atividade, permitindo o cálculo dos indicadores econômicos obtidos com a atividade agrícola.

Alguns dos principais indicadores são: a relação benefício/custo (B/C), a taxa interna de retorno (TIR) e o período “*payback*” (SARTORI, 2007). A relação (B/C) é uma relação entre o valor presente das receitas a serem obtidas e o valor presente dos custos (inclusive os investimentos). O critério de decisão é que o investimento será considerado viável se a relação (B/C) for  $> 1$ . Assim, quanto maior a relação benefício/custo, mais viável tende a ser o investimento e, conseqüentemente, mais estável este investimento se apresenta para as oscilações da taxa de juros de mercado.

O *payback* define o número de anos necessários para que a empresa recupere o capital investido inicial no projeto, ou seja, é o tempo preciso para que os fluxos de caixas negativos (investimentos) sejam anulados pelos fluxos positivos (lucros) (GUIDUCCI et al., 2012). Quanto maior for o tempo de retorno do investimento, maior será a possibilidade de perda, portanto quanto menor for o período de *payback*, menor será a exposição do empreendimento aos riscos (WESTON e BRIGHAM, 2004).

Já a taxa de retorno é definida como a taxa de desconto que iguala o valor presente dos fluxos líquidos ao investimento inicial. Assim, em relação ao critério de decisão, poderá ser aceito o projeto, se a TIR for maior que os custos de capital, caso contrário, não (GUIDUCCI et al., 2012).

Os sistemas fotovoltaicos têm baixo custo de operação e manutenção e são mais adequados as regiões com falta de capital e operadores especializados. Além disso, o custo dos módulos fotovoltaicos tem decrescido substancialmente com o passar das décadas e particularmente nos anos mais recentes (QOIADER e STEINBRECHT, 2010). No final de 2012, o Departamento de Energia dos Estados Unidos reportou que o custo do gerador solar fotovoltaico diminuiu 74% de 1998 para 2011 (FELDMAN et al., 2012).

O decréscimo do custo da tecnologia solar fotovoltaica continuará fazendo dessa tecnologia a mais atrativa para eletrificação rural e projetos hídricos (CATON, 2014). À medida que o custo da tecnologia se reduz, o acionamento de bombas de água por meio de geração fotovoltaica torna-se mais viável, o que contribui para a disseminação dessa alternativa energética (FEDRIZZI e SAUER, 2003).

Hankins (2010) afirma que a tecnologia solar fotovoltaica para bombeamento de água tem sido adequada para aplicações de baixa vazão e menores pressões de serviço, que os sistemas a diesel, sendo estes mais utilizados para altas vazões e pressões, devido o custo efetivo. Ghoneim (2006) no estudo de desempenho de sistemas de bombeamento por geração fotovoltaica constatou que o custo do ciclo de vida do sistema FV é mais barato que os custos dos sistemas convencionais.

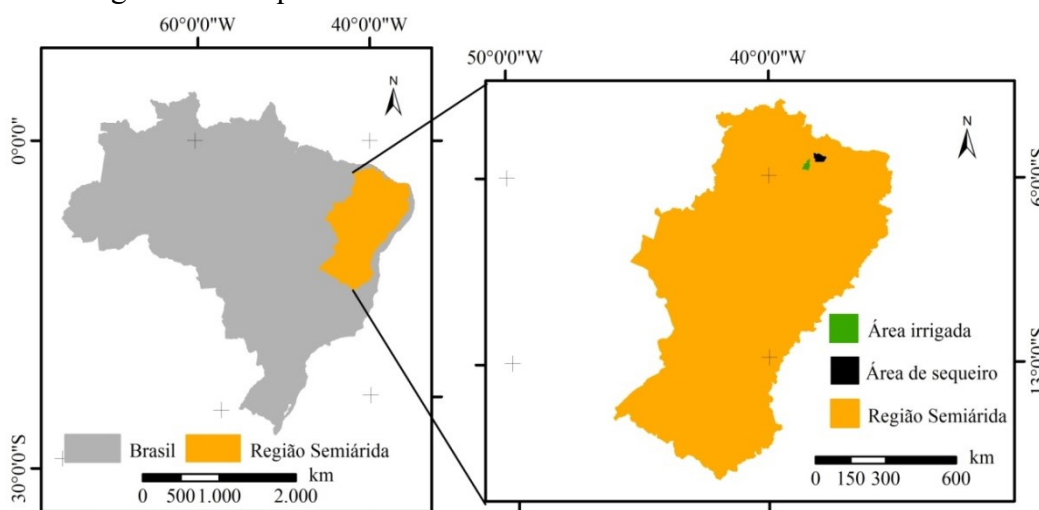
Qoiader e Steinbrecht (2010) compararam os custos de um sistema fotovoltaico e um sistema a diesel instalados em uma região árida, no qual verificaram que a tecnologia solar é uma opção econômica competitiva para suprir comunidades sem abastecimento público de eletricidade e que a geração de energia solar fotovoltaica é mais vantajosa quando comparada com a energia de geradores a diesel, devido principalmente a dois fatores: alta radiação solar e constante aumento dos preços dos combustíveis fósseis.

## 4 ÁREAS DE ESTUDO

### 4.1 Localização e caracterização geral das áreas experimentais

Inicialmente, foi realizada a análise de energia em dois sistemas de produção compreendendo a agricultura irrigada e de sequeiro na região semiárida do Nordeste. O sistema de produção agrícola irrigado esta inserido no Perímetro Irrigado Curupati, localizado na cidade de Jaguaribara, Ceará, Brasil. Já o sistema de produção em sequeiro esta situado no assentamento Lagoa Grande na Chapada do Apodi, distante 30 km do município de Tabuleiro do Norte, Ceará, Brasil. Ambos os sistemas de produção estão localizados na região semiárida do Brasil (Figura 9).

**Figura 9** - Localização da região semiárida do Brasil e dos sistemas de produção agrícola irrigado e de sequeiro



Fonte: Lopes, (2018).

O clima da região no perímetro irrigado segundo a classificação de Köppen é do tipo BSw'h', semiárido. A precipitação pluviométrica média anual 810 mm, sendo que 80% do total precipitado ocorrem durante os meses de janeiro a abril. Os solos predominantes são Neossolos, Luvisolos e Argissolos e a vegetação nativa constitui-se basicamente da floresta caducifolia espinhosa, caatinga arbustiva densa, caatinga arbustiva aberta e floresta mista dicotilo-palmácea (IPECE, 2015).

Na região do sistema de produção em sequeiro o clima é do tipo BSw'h' semiárido quente. A precipitação pluviométrica média anual 790 mm, com as concentrações máximas das chuvas ocorrendo nos meses de fevereiro a abril. O solo foi classificado como Cambissolo Vermelho Amarelo Eutrófico. A vegetação predominante

é representativa da floresta caducifólia espinhosa, caatinga arbustiva densa, caatinga arbustiva aberta e floresta mista dicotilo-palmácea (IPECE, 2015).

Outras características climáticas das regiões dos sistemas de produção irrigada e de sequeiro encontram-se na Tabela 10, compreendendo os valores médios de uma série histórica de 2000 a 2017.

**Tabela 10** - Características climáticas das regiões dos sistemas de produção irrigada e de sequeiro

<b>Parâmetros</b>	<b>Unidades</b>	<b>Irigado</b>	<b>Sequeiro</b>
Insolação média anual	h ano <sup>-1</sup>	2.935,7	3.068,5
Evapotranspiração média potencial	mm ano <sup>-1</sup>	1.810,3	1.798,8
Temperatura média máxima anual	°C	33,6	33,5
Temperatura média anual	°C	27,3	27,7
Temperatura média mínima anual	°C	22,9	23,3
Umidade relativa média anual	%	66,4	71,5
Velocidade média anual do vento	m s <sup>-1</sup>	3,7	3,6

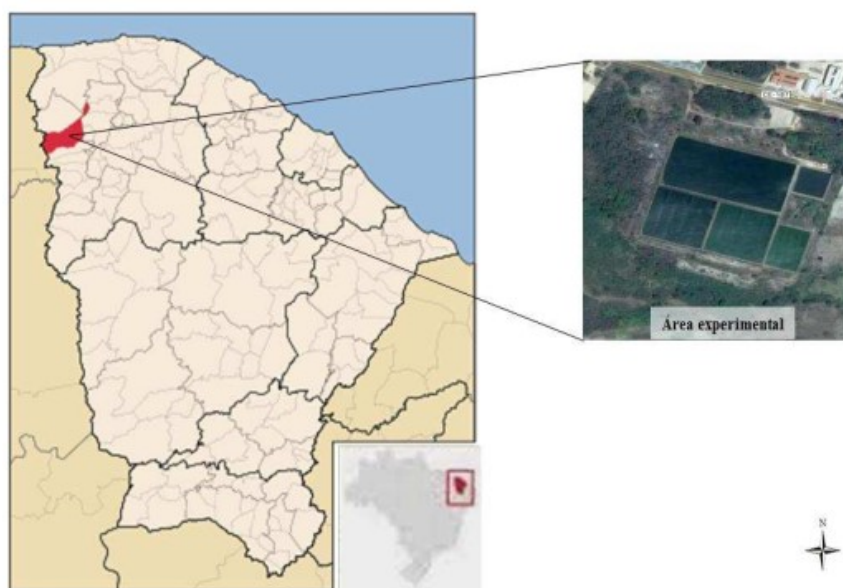
Fonte: INMET, (2017)

A partir do balanço de energia dos sistemas de produção compreendendo a agricultura irrigada e a agricultura de sequeiro foi proposto diferentes modelos de produção alternativos tanto para a agricultura irrigada quanto para agricultura de sequeiro.

Os sistemas alternativos de produção irrigados foram instalados na área experimental da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Tianguá - CE pertencente à Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará (CAGECE), situada no município de Tianguá - CE localizada geograficamente a 3° 44' S e 40° 59' W e altitude 740 m (Figura 10).

De acordo com a classificação de Köppen, o clima predominante é do tipo Aw - Clima tropical com estação seca. A temperatura média anual 26 °C e pluviometria média anual de 1.350 mm. O solo foi classificado em Neossolo Quartzarênico, franco-arenoso (EMBRAPA, 2013).

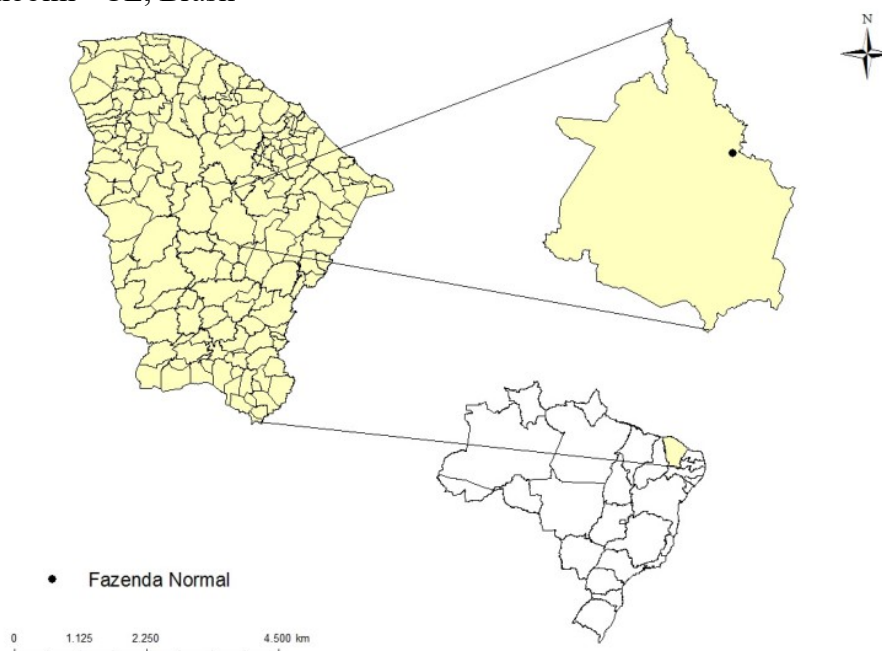
**Figura 10** - Localização da área experimental dos sistemas de produção irrigados em Tianguá - CE, Brasil



Fonte: Lima, 2015

Já os modelos alternativos de produção propostos para a agricultura de sequeiro, a pesquisa foi realizada na Fazenda Normal pertencente à Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Ceará (EMATERCER) no município de Quixeramobim, situado na zona fisiográfica do Sertão Central ( $5^{\circ} 12' S$ ,  $39^{\circ} 17' W$ ) e altitude de 250 m (Figura 11).

**Figura 11** - Localização da área experimental dos modelos de produção de sequeiro, Quixeramobim - CE, Brasil



Fonte: Fernandes, (2014)

O clima do município é do tipo semiárido quente e seco BSh'w', conforme classificação de Köppen. A estação das chuvas tem duração de três a quatro meses (fevereiro a maio) e a estação seca, com oito meses de duração (junho a janeiro), sendo os meses de outubro a dezembro os mais secos e quentes.

Os maiores valores das temperaturas médias máximas diárias são registrados entre setembro e dezembro com valores entre 32 a 38 °C, coincidindo com o final da estação seca. Os registros das temperaturas médias mínimas diárias ocorrem entre junho e agosto, sendo a mais baixa de 21,2 °C, em julho. A precipitação pluviométrica anual situa-se entre 500 a 750 mm. A evapotranspiração potencial é de 1.929 mm (FERNANDES, 2014).

A vegetação primitiva é oriunda de essência de floresta hiperxerófila e uma pequena parte da floresta caducifólia de várzea, cujas espécies mais representativas são: *Cróton* sp. (marmeleiro), *Pithecolobium diversifolium* Benth (Jurema branca), *Mimosa nigra* Hub. (Jurema preta), *Ziziphus joazeiro* (Juazeiro). O relevo da área, em sua grande extensão é de plano a suave ondulado ocorrendo de maneira espaçada maciços residuais de relevo fortemente ondulado a montanhoso. O solo foi classificado em argissolos vermelho eutrófico (FERNANDES, 2014).

## REFERÊNCIAS

- ALRAJHI, A.; BEECHAM, S.; BOLAN, N. S.; HASSANLI, A. Evaluation of soil chemical properties irrigated with recycled wastewater under partial root-zone drying irrigation for sustainable tomato production. **Agricultural Water Management** 161 p. 127–135. 2015.
- ABNT NBR 10899. **Energia solar fotovoltaica – Terminologia**. 2ª Edição. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2013.
- ANA - Agência Nacional de Águas. **Análise territorial para o desenvolvimento da agricultura irrigada no Brasil**. Brasília: ANA, 2014, 217p.
- ANA - Agência Nacional de Águas. **Levantamento da Agricultura Irrigada por Pivôs Centrais no Brasil - 2014**: relatório síntese / Agência Nacional de Águas. - Brasília: ANA, 2016. 33 p.: Il
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas da energia elétrica do Brasil: Capacidade de geração do Brasil**, Brasília, 2002. 153 p. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 21 set. 2016.
- ACKERMANN, T. **Wind Power Systems**. 2ª ed. John Wiley & Sons, LTD, Sweden. 2005.
- AGOSTINHO, F.; DINIZ, G.; SICHE, R.; ORTEGA, E. 2008. The use of emergy assessment and the geographical information system in the diagnosis of small family farms in Brazil. **Ecol. Modelling** 210(1-2): 37-57.
- AGOSTINHO, F.; AMBRÓSIO, L. A.; ORTEGA, E. Assessment of a large watershed in Brazil using emergy evaluation and geographical information system. **Ecol. Modelling** 221(8): 1209- 1220. 2010.
- ALVARENGA, C. **Bombeamento de água com energia fotovoltaica**. Manual Técnico, 2014, Solenerg Engenharia. Disponível em: [www.solenerg.com.br](http://www.solenerg.com.br). Acesso em: 12 Jan. 2017.
- ASANO, T. Water from (waste) water – the dependable water resource. **Water Science and Technology**. IWA Publishing. v. 45. n 8. p 23-33 2002.
- ANDRADE, C. L. T.; BRITO, R. A. L. **Irrigação**. Versão Eletrônica - 6ª edição. Embrapa Milho e Sorgo /2010.
- ANDRADE JUNIOR, A. S.; RODRIGUES, B. H. N.; FRIZZONE, J. A. Níveis de irrigação na cultura do feijão caupi. **Rev. Bras. Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.1, p. 17-20, jan./abr. 2002.
- ANONYM. K. **Photovoltaic systems technology**. Universität, Germany. 2003.
- ANJOS, J. B.; CAVALCANTI, N. B.; BRITO, L. T. L.; SILVA, M. S. L. Captação “in situ”: água de chuva para produção de alimentos. In: BRITO, L. T. L.; MOURA, M. S.

B.; GAMA, G. F. B. (ed.). Potencialidades da água de chuva no semiárido brasileiro. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2007. cap. 7, p.141-155

AYRES, R. M; WESTCOT, R.; LEE, D.; MARA, D. D.; SILVA, S. A. Contamination of lettuces with nematode eggs by spray irrigation with treated a untreated wastewater. **Water Science and Technology**. v.26, n.7-8, p.1615-1623. 1992.

BASTOS, R. K. X. **Fertirrigação com águas residuárias**. In: FOLEGATTI, M. V. Fertirrigação: Citrus, flores e hortaliças. Guaíba: Agropecuária, 1999. 279p

BARRELA, F. A.; ALMEIDA, C. M. V. B.; GIANNETTI, B. F. Ferramenta para tomada de decisão considerando a interação dos sistemas de produção e o meio ambiente. **Revista Produção**, v. 15, n. 1, p. 87-101, 2005.

BARROSO, L. B.; WOLFF, D. B. Reúso de esgoto sanitário na irrigação de culturas agrícolas. **Engenharia Ambiental** - Espírito Santo do Pinhal, v. 8, n. 3, p. 225-236, jul./set. 2011.

BATISANI, N; YARNAL, B. Rainfall variability and trends in Semi-Arid Botswana: Implications for climate change adaptation policy. **Applied Geography**, v. 30, n. 4, p. 483- 489, 2010.

BERNARDO, S.; SOARES, A.A; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. 8.ed. Viçosa: Editora UFV, 2008. 625p.

BONILLA, S. H.; GUARNETTI, R. L.; ALMEIDA, C. M. V. B.; GIANNETTI, B. F. Sustainability assessment of a giant bamboo plantation in Brazil: exploring the influence of labour, time and space. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, p. 83-91, 2010.

BRANDAO, L. P.; MOTA, S.; MAIA, L. F. Perspectivas do Uso de Efluentes de Lagoas de Estabilização em Irrigação. In: VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Vitória, ES. **Anais** do VI SIBESA. Rio de Janeiro, 2002.

BERNARDI, C. C. **Reúso de água para irrigação**. 2003. 63f. Monografia, SEA FGV/ECOBUSINESS SCHOOL Brasília.

BRASÍLIO, J. G. L.; GUEDES, G. P. Projeto e desenvolvimento de uma bancada de testes para baterias estacionárias conectadas em série. In: Congresso brasileiro de energia solar e conferência latino-americana da ISES, 4., 2012, São Paulo. **Anais**. São Paulo: USP; INCT- EEREA, 2012.

BROWN, M. T.; ULGIATI, S. Emergy analysis and environmental accounting. **Encyclopedia Energy** 2, 329–354. 2004

CAMPBELL, D. E. E.; GARMESTANI, A. S. An energy systems view of sustainability: Emergy evaluation of the San Luis basin, Colorado. **J. Environ. Mgmt.** 95(1): 72-97. 2012.

CAMPOS, A. T.; CAMPOS, A. T. Balanços energéticos agropecuários: uma importante ferramenta como indicativo de sustentabilidade de agroecossistemas. **Ciência Rural**, v. 34, n. 6, p. 1977-1985, 2004.

CAVALCANTE, K. L.; DEON, M. D.; SILVA, H. K. P. Estudo das características restritivas dos efluentes das estações de tratamento de esgoto de Petrolina - PE para uso na agricultura irrigada. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada** v.11, n.º.2, p. 1331 - 1338, 2017.

CAVALETT, O.; QUEIROZ, J. F.; ORTEGA, E. Emergy assessment of integrated production systems of grains, pig and fish in small farms in the South Brazil. **Ecol. Model.** v.193, p. 205-224. 2006.

CATON, P. Design of rural photovoltaic water systems and the potential of manual array tracking for a West-African village. **Solar Energy**, Freiburg, v. 103, p. 288-302, 2014.

CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. 2ª Edição. Rio de Janeiro/RJ. CRESESB. 2014.

COSTA, H. S. “ÁGUA DO SOL” – Uso da energia solar fotovoltaica na pequena irrigação de base familiar no semiárido brasileiro. **Avances em Energías Renovables y Medio Ambiente**. Buenos Aires. Argentina v.10. 2006.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Norma Técnica CETESB P4-002**. Efluentes e lodos fluidos de indústrias cítricas - Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola, 2010. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/servicos/normas/pdf/P4002.pdf>>. Acesso em: 22 mar. 2017.

CHANG, Y. P. Optimal the tilt angles photovoltaic modules in Taiwan. **Electrical Power and Energy Systems**, London, v. 32, p. 956-964, 2010.

CHAAR, L. E.; LAMONT, L.A.; ZEIN, N. E. Review of Photovoltaic Technologies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. Volume 15. p.2165–2175. 2011.

CHEN, D.; WEBBER, M.; CHEN, J.; LUO, Z. Emergy evaluation perspectives of an irrigation improvement project proposal in China. **Ecological Economics** 70 p. 2154–2162. 2011.

CHILUNDO, R. J.; CARVALHO, P. C. M.; MAHANJANE, U. S. Potencial da Tecnologia Fotovoltaica para Irrigação de Unidades Produção Familiar: Estudo de caso para Moçambique. **Anais**. V Congresso Brasileiro de Energia Solar. Recife. 2014.

CHRISTOU, A.; MARATHEFTIS, G.; ELIA, M.; HAPESHI, E.; MICHAEL, C. FATTA-KASSINOS, D. Effects of wastewater applied with discrete irrigation techniques on strawberry plants' productivity and the safety, quality characteristics and antioxidant capacity of fruits. **Agricultural Water Management** 173 p. 48–54. 2016.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**: ISSN 2318-6852 Acomp. Safra bras. grãos, v. 7 Safra 2017/18 –

Sétimo levantamento, Brasília, p. 1-139 abril 2018. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 10 mar. 2018.

COMAR, M. V. **Avaliação emergética de projetos agrícolas e agro-industriais: a busca do desenvolvimento sustentável**. 1998. 197 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas.

CORTEZ, H. S.; LIMA, G. P.; SAKAMOTO, M. S. A seca 2010-2016 e as medidas do Estado do Ceará para mitigar seus efeitos. **Parc. Estrat.** Brasília-DF v. 22 n. 44 p. 83-118 jan-jun 2017.

CUNHA, A. H. N.; OLIVEIRA, T. H.; FERREIRA, R. B.; MILHARDES, A. L. M.; SILVA, S. M. C. O reúso de água no Brasil: a importância da reutilização de água no país. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.7, n.13, 2011.

DADSON, R. B.; HASHEM, F. M.; JAVAID, I.; JOSHI, J.; ALLEN, A. L.; DEVINE, T. E. Effect of water stress on the yield of cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] genotypes in the Delmarva region of the United States. **Journal Agronomy & Crop Science**, v.191, p. 210-217, 2005.

DANTAS, I. L. A.; FACCIOLI, G. G.; MENDONÇA, L. C.; NUNES, T. P.; VIEGAS, P. R. A.; SANTANA, L. O. G. Viabilidade do uso de água residuária tratada na irrigação da cultura do rabanete (*Raphanus sativus* L.). **Rev. Ambient. Água** vol. 9 n. 1 Taubaté - Jan. / Mar. 2014.

DIKE, V. N.; CHINEKE, T. C.; NWOFOR, O. K.; OKORO, U. K. Optimal angles for harvesting solar electricity in some African cities. **Renewable Energy**, Brighton, v. 39, p. 433-439, 2012.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Roma: FAO, 1979. 306 p. (FAO. Irrigação e Drenagem, 33).

DUARTE, A. S.; AIROLDI, R. P. S.; FOLEGATTI, M. V.; BOTREL, T. A.; SOARES, T. M. Efeitos da aplicação de efluente tratado no solo: pH, matéria orgânica, fósforo e potássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 3, p. 302-310, 2008.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Anuário estatístico de energia elétrica 2013**. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, 2013. 251 p.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2017**: Ano base 2016 / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, 2017.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Cultivo do Feijão-caupi**. Embrapa Meio-Norte: Sistemas de produção, Teresina, 2003.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Pragas e doenças do Feijão**. Embrapa arroz e feijão, 2012. Disponível em: <<http://www.cnpaf.embrapa.br>>. Acesso em: 14 mar. 2017.

EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL DO CEARÁ – EMATERCE. **Relatório sobre a situação da safra agrícola de sequeiro e situação da quadra chuvosa**. 31 jul. 2015. 47 p. Disponível em:

<<http://www.ematerce.ce.gov.br/index.php/publicacoes/category/33-situacao-da-producao-2015>>.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Information System on Water and Agriculture - AQUASTAT**, 2012.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Global Map of Irrigation Areas (GMIA)**: interactive map. 2015. Disponível em: <<http://www.fao.org/nr/water/aquastat/quickWMS/irrimap.htm>>. Acesso em: 25 mar. 2017.

FEDRIZZI, M. C. **Fornecimento de água com sistemas de bombeamento fotovoltaico**. São Paulo, 1997. 162 p. Dissertação (Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia), Universidade de São Paulo.

FEDRIZZI, M. C. Bombeamento solar fotovoltaico, histórico, características e projetos. **Anais**. 4th Encontro de Energia no Meio Rural, Campinas (SP). 2003.

FEDRIZZI, M. C.; SAUER I. Pequenos sistemas de bombeamento fotovoltaico: análise da competitividade com outras opções. **Anais** do III Congresso Brasileiro de Planejamento Energético. 2002.

FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. A.; RIBEIRO, V. Q. **Feijão caupi: avanços tecnológicos**. Brasília: EMBRAPA, 2005. p 29–92.

FRIZZONE, J. A. et al. **Planejamento de irrigação**: análise de decisão de investimento. Brasília: Embrapa SPI, 2005.

FELDMAN, D.; BARBOSE, G.; MARGOLIS, R.; WISER, R.; DARGHOUTH, N.; GOODRICH, A. **Photovoltaic (PV) pricing trends**: historical, recent, and near-term projections. Washington: United State Department of Energy, 2012. 22 p. (Technical Report, DOE/GO-102012-3839).

GLASNOVIC, Z.; MARGETA, J. Optimization of irrigation with photovoltaic pumping system. **Water Resources Management**, Amsterdam, v. 21, p. 1277-1297, 2007.

GIANNETTI, B. F.; OGURA, Y.; BONILLA, S. H.; ALMEIDA, C. M. V. B.; Energy assessment of a coffee farm in Brazilian Cerrado considering in a broad form the environmental services, negative externalities and fair price. **Agricultural Systems** 104, 679–688. 2011.

GREEN, M. A.; EMERY, K.; HISHIKAWA, Y.; WARTA, W.; DUNLOP, E. D. Solar cell efficiency tables (version 44). **Prog Photovolt: Res Appl** 22: 7, 701-710. 2014.

GHALEY, B. B.; PORTER, J. R. Emergy synthesis of a combined food and energy production system compared to a conventional wheat (*Triticum aestivum*) production system. **Ecological Indicators** 24 p. 534–542. 2013.

GHONEIM, A. Design optimization of photovoltaic powered water pumping systems. **Energy Conversion Management**, London, v. 47, p. 1449-1463, 2006.

GUIDUCCI, R. C. N.; ALVES, E. R. A.; LIMA FILHO, J. R.; MOTA, M. M. Aspectos metodológicos da análise de viabilidade econômica de sistemas de produção. In: EMBRAPA. **Viabilidade econômica de sistemas de produção agropecuários: metodologia e estudos de casos**. Brasília, DF: Embrapa, 2012. cap. 1, p. 17-116.

HAHN, A. Lessons learned from the international photovoltaic pumping program. **Anais 15th European Photovoltaic Solar Energy Conference**. Vienna. p. 2941 - 2945. 1998.

HAMIDAT, A.; BENYOUCEF, B. Mathematic models of photovoltaic motor-pump systems. **Renew Energy**. 2007.

HANKINS, M. **Stand-alone solar electric systems: the earthscan expert handbook for planning, design and installation**. London: Earthscan, 2010. 249 p.

HESPANHOL, I. Esgotos como recursos hídricos. Parte I: dimensões políticas, institucionais, legais, econômico-financeiras e sócio-culturais. **Engenharia**, v.55, n.523, p.45-58, 1997.

HESPANHOL, I. Potencial de reuso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH**, Porto Alegre, ed. comemorativa, v. 7, n. 4, p. 75-97, dez. 2002.

HESPANHOL, I. **Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos**. In: MANCUSO, P. C. S., SANTOS, H. F. Reúso de água. São Paulo: Manole, cap. 13, p. 37-95. 2003.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estatísticas do Século XX: Censo Agropecuário 2006**. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. p. 577 Disponível em: <<http://seculoxx.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 12 Fev. 2017.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Climatologia: mapas**. (2016). Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em: 14 de fev. de 2017.

IRENA - International Renewable Energy Agency. **Renewable energy in the water, energy and food nexus**. IRENA, 2015. p. 128.

IPECE - Instituto de Pesquisas e Estratégia Econômica do Ceará -. 2015. Disponível em: <[www.ipece.ce.gov.br](http://www.ipece.ce.gov.br)>. Acesso em: 03 de jan. de 2017.

KALDELLIS, J.; MEIDANIS, E.; ZAFIRAKIS, D. Experimental energy analysis of a stand-alone photovoltaic-based water pumping installation. **Applied Energy**, Amsterdam, v. 88, p. 4556-4562, 2011.

KORDZADEH, A. The effects of nominal power of array and system head on the operation of photovoltaic water pumping set with array surface covered by a film of water. **Renewable Energy**, Brighton, v. 35, n. 5, p. 1098-1102, 2010.

KOLLING, E. M.; SOUZA, S. N. M.; RICIERY, R. P.; SILVIO C. SAMPAIO, S. C.; DALLACORT, R. Análise operacional de um sistema fotovoltaico de bombeamento de água. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.3, p.527- 535 set./dez. 2004.

KUMMER, A. C. B.; SILVA, I. P. F.; LOBO, T. F.; GRASSI FILHO, H. Qualidade da água residuária para irrigação do trigo. **Irriga Botucatu**, Edição Especial, p.297-308. 2012.

LABOURET, A.; VILLOZ, M. **Solar Photovoltaic Energy**. Volume 9. Chippenham, UK. CPI Antony Rowe. 2010.

LEITE, D. V. **Análise do potencial do uso da energia solar em sistemas de bombeamento para irrigação no perímetro irrigado Piauí no município de Lagarto/SE**. São Cristóvão, 2016. 121 f.: il. Dissertação (mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Sergipe.

LOPES, F. B.; SOUZA, F.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; CAITANO, R. F. Determinação do padrão do manejo da irrigação praticada no Perímetro Irrigado Baixo a Acaraú, Ceará, via análise multivariada. **Irriga. Botucatu**. v. 16 (3), p. 301-316. 2011.

LIMA, D. C.; CHAVES, M.; LIMA, A. C.; LIMA, D. L. **Reúso de água para irrigação: uma abordagem reflexiva**. **Anais. II Colóquio Sociedade, Políticas Públicas, Cultura e Desenvolvimento-CE**. Universidade Regional do Cariri-URCA, Crato-Ceará-Brasil. 05 a 09 de Novembro de 2012.

LIRA, J. S. 2016. **Resiliência da Agricultura Familiar no Nordeste Brasileiro**. Dissertação. Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias Programa de Pós-Graduação em Economia Rural. Fortaleza, 2016. 82 f.

MARTIN, M A.; ALVALÁ, R. C. S.; TOMASELLA, J. Modelos de produtividade agrícola aplicados à agricultura de sequeiro: Limitações e vantagens para avaliação de colapso de safras. **ACSA - Agropecuária Científica no Semiárido** v.10, n.4, p 41-48, out-dez, 2014.

MARIANI, L.; GUARENCHI, M. M.; MITO, J. Y. L.; CAVALIERO, C. K. N.; GALVÃO, R. R. A. Análise de oportunidades e desafios para o Nexos Água-Energia. **Desenvolv. Meio Ambiente**. v. 37, p. 9-30, maio 2016.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. 2009. **Irrigação: princípios e métodos**. 3. Ed. atual e ampl. Viçosa, MG: UFV. 355 p.

MACHADO FILHO, L. C.; SILVEIRA, M. C. A.; HÖTZEL, M. J. Produção agroecológica de suínos - uma alternativa sustentável para a pequena propriedade no Brasil. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL VIRTUAL SOBRE QUALIDADE DE CARNE, 2., 2001, Florianópolis: UFSC, 2001. p.1-18.

MELO, L. C. P.; POPPE, M. K. Desafios da pesquisa, desenvolvimento e inovação em biocombustíveis no Brasil. In: CORTEZ, L. A. B. Bioetanol de cana-de-áçúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade. Luis Augusto Barbosa Cortez (Coord). São Paulo: Blucher, 2010. p. 27-34.

MEDEIROS, R. D. B. **Estudo de desempenho de um sistema híbrido fotovoltaico/térmico**. 2017. 81p. (Dissertação). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica Natal/RN.

MISRA, R. K.; PATEL, J. H.; BAXI, V. R. Reuse potential of laundry greywater for irrigation based on growth, water and nutrient use of tomato. **Journal of Hydrology** 386 p. 95–102. 2010.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Manual de educação para o consumo sustentável**. Ministério do meio ambiente, Brasília, 2005.

MOUSSI, A.; SAADI A, B. A.; ASHER, M. Photovoltaic pumping systems technologies trends. **Larhyss Journal**, Biskra, v. 2, p. 127–150, 2003.

NASUTI, S.; EIRÓ, F.; LINDOSO, D. Os desafios da agricultura no Semiárido brasileiro. **Sustentabilidade em debate**. v.4, n.2, p.276-298, jul./dez. 2013.

NEVES, A. L. R. **Estratégias visando o uso sustentável de água salina em um ciclo de rotação cultural feijão-de-corda/girassol**. 2012. 159 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; SOARE, F. A. L.; ANDRADE, L. O.; NASCIMENTO, E. C. S. Produção do girassol sob diferentes lâminas com efluentes domésticos e adubação orgânica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 14, p. 747-754, 2010.

ODUM, H. T. **Systems Ecology: An Introduction**. John Wiley, New York. 1983. 644p.

ODUM, H. T. **Environmental accounting: emergy and environmental decision making**. New York: John Wiley, 1996. 370 p.

ODUM, E. P.; BARRET, G. W. **Fundamentos de Ecologia**. São Paulo: Cengage Learning, 612p. 2008.

OMS - Organização Mundial da Saúde. **Directrices sanitárias sobre el uso de aguas residuales em agricultura y acuicultura**. Genebra. (Serie Informes Tecnicos, 78), 1989. 90p.

ORTEGA, E.; ANAMI, M. H.; DINIZ, G. Certification of food products using emergy analysis. In: III Biennial International Workshop: **Advances in Energy Studies**, Porto Venere, p. 227-237. 2002.

ORTEGA, E.; GUERRA, J. G. M.; ASSIS, R. L. RIBEIRO, R. L. D. Análise emergética de Sistemas de produção de olerícolas sob manejo orgânico. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia** v.3 n.3. 2010.

PALÁCIO, H. A. Q.; ANDRADE, E. M.; SANTOS, J. C. N.; ARAÚJO NETO, J. R., BRASIL, P. P. Emergy evaluation of semi-arid watersheds under different management strategies. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**. v. 56(6): p. 1357-1363. 2012.

PESCOD, M. B; ARAR, A. **Treatment and use of sewage effluents for irrigation**. Butterworths, Londres. 1992.

PEREIRA, J. S.; GUIMARÃES, J. P.; R. M. B. P.; M. S. S.; LIMA, V. L. A.; AZEVEDO, C. A. V. Organic compost and wastewater on the initial growth of oilseed

plants. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, n.6, p.501-506, 2016.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. CRESEB/CEPEL, Rio de Janeiro. 2014.

POTTER, L.; LOBATO, J. F. P.; MIELITZ NETO, C. G. Análises econômicas de sistemas de produção de novilhas de corte primíparas aos dois, três e quatro anos de idade. **Rev. Bras. Zootec.**, v.29, p.861-870, 2000.

QOAIKER, L.; STEINBRECHT, D. Photovoltaic system: A cost competitive option to supply energy to off-grid agricultural communities in arid regions. **Applied Energy**, Amsterdam, v. 87, p. 427-435, 2010.

ROCHA, M. M.; CARVALHO, K. J. M.; FREIRE FILHO, F. R.; LOPES, A. C. A.; GOMES, R. L. F.; SOUSA, I. S. Controle genético do comprimento do pedúnculo em feijão-caupi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 03, p. 270-275, 2009.

SANTOS, C. H.; MILORI, D. M. B. P.; MARTIN-NETO, L.; MONTES, C. R.; MELFI, A. J. Caracterização de ácidos húmicos de solos com aplicação de águas residuária por análise elementar e espectroscopia de ressonância magnética nuclear de <sup>13</sup>C. **Anais**. VII Encontro Brasileiros de Substâncias Húmicas: Matéria orgânica ambiental e sustentabilidade. Pelotas, RS. 2009.

SARTORI, M. A. **Análise de cenários de extração de óleo vegetal para a produção de biodiesel na região de Minas Gerais**. 2007. 88p. Dissertação Mestrado, Viçosa – UFV.

SAKAMOTO, M.S.; FERREIRA, A.G.; COSTA, A.C.; OLIVAS, E.S. Rainy season pattern and impacts on agriculture and water resources in Northeastern Brazil. In: ANDREU, J.; SOLERA, A.; PAREDESARQUIOLA, J.; HARO-MONTEAGUDO, D.; VAN LANEN, H. (Org.). Drought: research and science-policy interfacing. 1.ed. London: Taylor & Francis Group, p. 49-55. 2015.

SHAKIR, E.; ZAHRAW, Z.; HAMEED, A.; AL-OBAIDY, A. H. M. J. Environmental and health risks associated with reuse of wastewater for irrigation. **Egyptian Journal of Petroleum**, (2016).

SOUZA, M. N. **Degradação e recuperação ambiental e desenvolvimento sustentável**. Tese, Universidade Federal de Viçosa. 2004. 371p.

SOUZA, M. **Análise emergética do assentamento Fazenda Ipanema: reforma Agrária e desenvolvimento sustentável**. 2006.135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Unicamp, Campinas.

SOUSA, C. H. C. **Análise da tolerância à salinidade em plantas de sorgo, feijão-de-corda e algodão**. 2007. 73 f. Dissertação (Mestrado em irrigação e drenagem), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

SMETS, A.; JAGUAR, K.; ISABELLA, O. **Solar Energy: The Physics and Engineering of Photovoltaic Conversion, Technologies and Systems**. England. UIT Cambridge. 2016.

TANJI, K. K.; YARON, B. Management of water use in agriculture. **Advanced series in agricultural sciences**: v.22, p.1-320. 1994.

TÁVORA, F. J. A. F.; NOGUEIRA, S. L.; PINHO, J. L. N. Arranjo e população de plantas em cultivares de feijão-de-corda com diferentes características de copa. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.32, p.69-77, 2001.

TELLES, D. D. **Aspectos da utilização de corpos d'água que recebem esgoto sanitário na irrigação de culturas agrícolas**. p. 461-483, 2003. In: NUVOLARI, A. Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola. São Paulo, FATEC – SP. 2003. 520p.

TIBA, C.; FRAIDENRAICH, N.; MOSZKOWICZ, M.; CAVALCANT, E. S. C.; LYRA, F. J. M.; NOGUEIRA, A. M. B. **Atlas solarimétrico do Brasil: banco de dados solarimétricos**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2000. 111p.

USGS - United States Geological Survey. **Mineral Commodity Summaries 2014**. Washington: U.S. Geological Survey, 2014.196 p.

USEPA - United States Environment Protection Agency. **Guidelines for Water Reuse**. Technical Report N° EPA/625/R-92/004. Washington: USEPA, 1992.

VARELLA, F. K. O. M.; CAVALIERO, C. K. N.; SILVA, E .P. A survey of the current photovoltaic equipment industry in Brazil. **Renewable Energy**, Brighton, v. 34, p. 1801-1805, 2009.

VALER MORALES, L. R. **A utilização de sistemas fotovoltaicos de bombeamento para irrigação em pequenas propriedades rurais**. 2011. f.170. Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Energia) – EP / FEA / IEE / IF da Universidade de São Paulo São Paulo.

VENKATESWARLU, B. e PRASAD, J. V. N. S. Carrying Capacity of Indian Agriculture: Issues Related to Rainfed Farming. **Current Science**, v. 102 (6), p. 882 - 8. 2012.

VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. **Feijão**. 2. ed. Viçosa, 2006. 600p.

WANDER, A. E. Produção e participação brasileira no mercado internacional de feijão-caupi. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 2013, Recife. **Anais: III CONAC**, 2013. Disponível em: < <http://www.conac2012.org/resumos/pdf/206a.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2016.

WESTERHOFF, G. P. An update of research needs for water reuse. In: **Water reuse symposium**, 3º Proceedings. San Diego, Califórnia, 1984.

WESTON, J.; BRIGHAM, F.; Eugene, F. **Fundamentos da Administração Financeira**. São Paulo: Pearson Makron Books, 2004.

WHO - World Health Organization. **Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture**. World Health Organization Technical Report Series, n.778. World Health Organization, Geneva. 1989.

WHO - World Health Organization. **Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater**. Volume 2: Wastewater use in agriculture. Geneva: WHO. 2006. 213p.

ZARED FILHO, K.; GARCIA, L. A. V.; PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. **Reúso de água**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2003. 19p.

## CAPÍTULO 01

### **COMPONENTES DE PRODUÇÃO, PRODUTIVIDADE DA ÁGUA E ANÁLISE ECONÔMICA DO FEIJÃO-CAUPI DE DIFERENTES SISTEMAS AGRÍCOLAS**

**RESUMO:** O feijão é uma cultura de notável destaque na alimentação da população mundial, em especial de baixa renda, particularmente na região Nordeste do Brasil apresenta grande importância, uma vez que constitui-se em alimento básico, além da geração de emprego e renda. A baixa produtividade do feijão-caupi na região Nordeste nos últimos anos em função da crise hídrica aliado aos custos energéticos tem comprometido a viabilidade técnica e econômica das culturas nessa região. Dessa forma, objetivou-se avaliar os parâmetros de produção, produtividade da água e a viabilidade econômica do feijão-caupi sob diferentes sistemas alternativos de produção na região Nordeste do Brasil. O estudo foi desenvolvido na área experimental da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) no município de Tianguá - CE. O experimento foi composto por seis sistemas de produção (tratamentos) em que o planejamento experimental adotado foi em parcelas subdivididas distribuídas no delineamento inteiramente casualizado (DIC) com quinze repetições. Os sistemas irrigados com água residuária e acionados com energia solar fotovoltaica (sistemas renováveis) foram: sem adubação (S2A0), mineral (S2A1) e orgânica (S2A2) e sistemas irrigados com água potável acionados com energia da rede elétrica (sistemas convencionais) foram: sem adubação (S1A0), mineral (S1A1) e orgânica (S1A2). Foi analisado o número de vagens por planta, número de grãos por vagem, comprimento médio da vagem, peso de 100 grãos, rendimento médio da cultura, além da produtividade da água. Verificou-se que os sistemas renováveis S2A0, S2A1 e S2A2 a produtividade média foi 1.468,8 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto nos sistemas convencionais S1A0, S1A1 e S1A2 o valor médio dessa componente foi 984,1 kg ha<sup>-1</sup>. O sistema renovável com adubação orgânica (S2A2) apresentou melhor produtividade da água 0,422 kg m<sup>-3</sup>, enquanto o sistema convencional sem adubação (S1A0) evidenciou menor eficiência 0,188 kg m<sup>-3</sup>. Os sistemas renováveis de produção apresentaram melhor desempenho em todos os componentes de produção do feijão-caupi. A utilização de esgoto doméstico tratado nos cultivos irrigados pode substituir satisfatoriamente a adubação mineral da cultura. Os sistemas que utilizaram água residuária e energia solar fotovoltaica apresentaram melhor rendimento econômico.

**Palavras-chaves:** *Vigna unguiculata* (L.). Parâmetros de produção. Viabilidade econômica. Água residuária. Energia renovável.

## COMPONENTS OF PRODUCTION, WATER PRODUCTIVITY AND ECONOMIC ANALYSIS OF BEANS CAUPI IN DIFFERENT AGRICULTURAL SYSTEMS

**ABSTRACT:** The beans are a notable crop in the world's food supply, especially in low-income countries. Particularly in the Northeast region of Brazil, it is of great importance, since it constitutes a basic food, besides the generation of employment and income. The low productivity of cowpea in the Northeast in recent years due to the water crisis combined with energy costs has compromised the technical and economic viability of the crops in this region. The aim of this study was to evaluate the production parameters, water productivity and economic viability of cowpea under different alternative production systems in the Northeast region of Brazil. The study was developed in the experimental area of the Sewage Treatment Station (ETE) in the municipality of Tianguá – CE. The experiment was composed of six production systems (treatments) in which the experimental design was divided into split plots distributed in the completely randomized design (DIC) with fifteen replications. The systems irrigated with waste water and connected with photovoltaic solar energy (renewable systems) were: without fertilization (S2A0), mineral (S2A1) and organic (S2A2) and systems irrigated with potable water connected by electric energy grid (conventional systems) were: without fertilization (S1A0), mineral (S1A1) and organic (S1A2). Were analyzed the number of pods per plant, number of grains per pod, average pod length, weight of 100 grains, average crop yield, and water productivity. It was verified that the renewable systems S2A0, S2A1 and S2A2 the average productivity was  $1,468.8 \text{ kg ha}^{-1}$ , while in the conventional systems S1A0, S1A1 and S1A2 the average value of this component was  $984.1 \text{ kg ha}^{-1}$ . The renewable system with organic fertilization (S2A2) showed a better water productivity of  $0.422 \text{ kg m}^{-3}$ , while the conventional system without fertilization (S1A0) showed a lower efficiency of  $0.188 \text{ kg m}^{-3}$ . The renewable production systems showed better performance in all components of cowpea production. The use of treated domestic sewage in irrigated crops can replace satisfactorily the mineral fertilization of the crop. The systems that used wastewater and solar photovoltaic energy presented better economic yield.

**Keywords:** *Vigna unguiculata* (L.). Production parameters. Economic viability. Wastewater. Renewable energy.

## 1. INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) é uma leguminosa bastante cultivada nos trópicos semiáridos da África, Brasil e Estados Unidos (ROCHA et al., 2009). Segundo Assefa et al. (2014) é uma cultura de grande importância econômica, além do notável destaque na alimentação da população de baixa renda em todo o mundo. A área plantada mundial está em torno de 12,5 milhões de ha, sendo que 64% (8 milhões) encontra-se na África do sul (CAMPOS et al., 2009). No Brasil é uma das principais culturas das regiões Norte e Nordeste, especialmente no semiárido apresenta grande importância, uma vez que constitui-se em alimento básico, geração de emprego e renda (LIMA et al., 2007).

Segundo a Conab, (2018) a área plantada no Brasil apresentou crescimento nos últimos anos (2015/16 foram 1.247 mil ha, já na safra 2016/17 foram 1.409 mil ha e 2017/18 área de 1.527 mil ha). Contudo, a produtividade média na região Nordeste (363 kg ha<sup>-1</sup>) não apresentou o mesmo crescimento nos últimos anos em relação à média nacional (522 kg ha<sup>-1</sup>).

Benvindo et al. (2010) destacam que embora o feijão-caupi seja adaptado às várias condições de solo, clima e sistemas de cultivo em relação a outras leguminosas, nem sempre alcança bons níveis de produtividade. Para Locatelli et al. (2014) a escassez dos recursos hídricos e o baixo nível de nutrientes que é característica do solo e do clima da região semiárida tem afetado o desempenho das culturas.

Já Rosales et al. (2012) destacam que o déficit hídrico é um dos principais fatores limitantes na produção agrícola. Além disso, segundo a ANA (2004), a questão energética representa forte componente nos custos totais de produção que podem chegar a 35% do custo com energia elétrica para irrigação, reduzindo a margem de lucro do produtor e inviabilizando culturas de rentabilidade baixa.

Para Mousinho et al. (2003), o rendimento de uma cultura agrícola está condicionado a vários fatores referentes ao solo, à planta e ao clima. Dentre esses fatores, a água merece destaque especial, não só pelos custos de produção, mas também devido à necessidade de ser utilizada eficientemente.

Atualmente, a discussão sobre a escassez dos recursos hídricos tem levado em consideração a viabilidade da agricultura irrigada, no que diz respeito ao crescimento e produção dos cultivos agrícolas, no qual o principal aspecto a considerar é a avaliação da disponibilidade hídrica e energética.

Em regiões semiáridas, a agricultura irrigada é responsável pelo consumo de 50 a 85% dos recursos hídricos disponíveis (CAPRA e SCICOLONE, 2007). Desse modo procurar métodos mais eficientes de irrigação e fontes alternativas de água, como a utilização de águas residuárias para diminuir o consumo de água potável é uma tendência mundial.

O mundo vem enfrentando uma intensificação da escassez de água e conseqüentemente, a utilização de águas residuárias tem-se destacado, pois é uma opção para aumentar o abastecimento de água disponível (BICHAI et al., 2012). Segundo a FAO, (2016) para mitigar este problema é importante procurar estratégias para diminuir a demanda por água potável em todos os setores: geração de energia, irrigação e industrial.

Dentre os setores consumidores de energia elétrica, a agricultura desponta como altamente dependente para aumentar a produção e conseguir suprir as necessidades do mercado (MORAES et al., 2011). Portanto, torna-se fundamental estudos que visem à otimização na utilização de água e energia, a fim de garantir alta produtividade e viabilidade econômica dos sistemas de cultivo (CONAB, 2016).

Silva et al. (2014) quantificaram os componentes de produção, produtividade e qualidade de sementes de feijão-caupi em Vitória da Conquista, Bahia. Rebouças et al. (2010) analisaram os parâmetros de crescimento do feijão-caupi irrigado com esgoto doméstico tratado em Mossoró, Rio Grande do Norte.

Freitas et al. (2018) avaliaram o reúso de água como estratégia hídrica e nutricional para a cultura do feijão-caupi na região Nordeste, em que verificaram maior produtividade ( $935,8 \text{ kg ha}^{-1}$ ) nos tratamentos irrigados com esgoto doméstico tratado, diferindo significativamente dos tratamentos irrigados com água de poço  $842,4 \text{ kg ha}^{-1}$ .

Lacerda et al. (2009) analisaram a eficiência de uso da água e nutrientes em plantas de feijão-caupi irrigadas com água salina. Com relação à análise econômica, Silva et al. (2016) destacaram que os custos de produção de qualquer cultura aumenta em função dos preços dos insumos, energia elétrica e água.

Dessa forma pressupõe-se que a interação de energias renováveis e água residuária proporcionem melhores componentes de produção e o rendimento econômico da cultura. Diante do exposto, objetivou-se avaliar os parâmetros de produção, produtividade da água e a viabilidade econômica do feijão-caupi sob diferentes sistemas alternativos de produção na região Nordeste do Brasil.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Localização da área experimental**

O estudo foi realizado na área experimental da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) pertencente à Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará (CAGECE) situada no município de Tianguá - CE, localizada geograficamente a 3° 44' S e 40° 59' W e altitude de 740 m. O clima segundo a classificação de Koppen é do tipo Aw, clima tropical com estação seca, temperatura média anual 26 °C e pluviometria média anual de 1.350 mm.

### **2.2 Delineamento experimental e composição dos tratamentos**

O estudo tem por finalidade a comparação de diferentes sistemas de produção agrícola com a cultura do feijão-caupi. Dessa forma, o experimento foi composto por seis sistemas de produção (tratamentos), em que o planejamento experimental adotado foi em parcelas subdivididas distribuídas no delineamento inteiramente casualizado (DIC) com quinze repetições, em esquema fatorial (2 x 3), ou seja, duas fontes de água e energia (água residuária + energia solar fotovoltaica e água potável + energia da rede) e diferentes fontes de adubação (mineral e orgânica), além da testemunha.

A parcela experimental constituiu-se de uma fileira com 42 plantas no espaçamento 1,0 m entre linhas e 0,4 m entre plantas e 16,8 m de comprimento, sendo subdividida em três subparcelas em função das diferentes fontes de adubação. Cada subparcela tinha 14 plantas e área de 5,6 m<sup>2</sup>. Foram utilizadas as seis plantas centrais de cada subparcela da unidade experimental como área útil de cada subparcela, totalizando 18 plantas por parcela. Assim sendo, cada sistema alternativo de produção (tratamento) tinha 15 subparcelas experimentais, com área total de 84 m<sup>2</sup> e área útil 36 m<sup>2</sup>.

A área experimental total foi 504 m<sup>2</sup> e a área útil total 216 m<sup>2</sup>, sendo que apenas as plantas centrais de cada subparcela foram consideradas para coleta de dados, em que cada subparcela constituiu uma repetição. Os tratamentos representando os seis sistemas de produção irrigados decorrentes de diferentes fontes de água, energia e adubação são apresentados na Figura 12.

**Figura 12** - Croqui da área experimental e a disposição dos tratamentos



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 2.3 Sistema e manejo da irrigação

O método de irrigação adotado foi o localizado, sendo o sistema por gotejamento, tipo fita gotejadora da marca Amanco, modelo drip, diâmetro interno 16 mm, espaçamento entre emissores de 20 cm e vazão nominal  $1,6 \text{ L h}^{-1}$ , estes foram previamente avaliados em campo, sob condições normais de operação, conforme a metodologia descrita por Keller e Karmelli (1974).

No sistema de bombeamento fotovoltaico de irrigação (SFVI) foi utilizado o conjunto motobomba solar fotovoltaico da marca Anauger modelo P100, o qual é composto por uma motobomba, um driver e 2 painéis fotovoltaicos de 95 Wp

totalizando 190 Wp. Na Tabela 11 observam-se as características elétricas do painel analisadas em condições padrões de teste: 1000 W m<sup>2</sup>, espectro de massa de ar 1,5 e temperatura de célula de 25°C.

**Tabela 11** - Características elétricas do painel solar fotovoltaico modelo YL095P

Parâmetros	Valores
Potência máxima	95 W
Tensão de circuito aberto	22,5 V
Corrente e curto-circuito	5,49 A
Tensão de máxima potência	18,18 V
Corrente de máxima potência	5,32 A
Eficiência	14,3%

Fonte: Yingli solar, (2017).

Na escolha do conjunto motobomba a ser utilizada levou-se em consideração alguns fatores, como a potência requerida, a vazão fornecida e a eficiência do conjunto. Assim sendo, a motobomba associada ao sistema fotovoltaico é do tipo submersa, no qual apresenta uma nova tecnologia em bomba vibratória para aplicação no bombeamento de água com o uso de energia solar, através de células fotovoltaicas. As motobombas Anauger P100 podem operar em sistemas de geração fotovoltaicos com potência de 100, 130 e 170 Wp. Na Tabela 12 é mostrado o desempenho hidráulico do conjunto motobomba em função da altura manométrica e da potência fornecida.

**Tabela 12** - Desempenho hidráulico do conjunto motobomba Anauger modelo P100

Potência do sistema	Altura manométrica total (mca)								
	0	5	10	15	20	25	30	35	40
100 Wp	4600	3700	3000	2400	1950	1550	1200	900	650
130 Wp	6300	5050	4100	3300	2600	2050	1600	1200	900
170 Wp	8600	7000	5600	4500	3650	2900	2250	1700	1200

Fonte: Anauger, (2017).

Obs. O volume bombeado (L dia<sup>-1</sup>) é influenciado pela variação da irradiação solar, para os valores acima foram obtidos na condição de 6,0 kWh/m<sup>2</sup> por dia.

Também foi instalado um sistema convencional de produção irrigado com água potável acionado pela energia da rede elétrica associado a diferentes fontes de adubação. Nesse sistema foi usado um conjunto motobomba da marca Dancor, modelo da serie CAM W-6C com potência de 0,75 cv

O manejo da irrigação foi realizado por meio da determinação da evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith (Equação 1) Allen et al. (1998). Posterior determinação da ETo, realizou-se a multiplicação pelo coeficiente de cultivo da cultura (Kc), obtendo dessa forma a evapotranspiração da cultura (ETc),

determinando dessa maneira a lâmina de irrigação a ser aplicada. Porém deve-se levar em consideração a eficiência do sistema de irrigação para a definição da lâmina de água total a ser aplicada.

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T+237} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (1)$$

em que:

ET<sub>o</sub> - evapotranspiração de referência, (mm dia<sup>-1</sup>);

R<sub>n</sub> - radiação líquida na superfície das culturas, (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>);

G - fluxo de calor no solo, (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>);

T - temperatura média diária do ar a 2 m de altura, (°C);

u<sub>2</sub> - velocidade do vento a 2 m de altura, (m s<sup>-1</sup>);

e<sub>s</sub> - pressão de saturação de vapor, (kPa);

e<sub>a</sub> - pressão de vapor atual, (kPa);

e<sub>s</sub> - e<sub>a</sub> - déficit de saturação do vapor, (kPa);

Δ - inclinação da curva da pressão de vapor *versus* temperatura, (kPa °C<sup>-1</sup>).

γ - constante psicrométrica, (kPa °C<sup>-1</sup>).

Os dados da ETo pelo método de Penman-Monteith foram obtidos junto a estação meteorológica de Tianguá, CE. Foram adotados os coeficientes de cultivo (Kc) para a cultura do feijão-caupi apresentados na Tabela 13.

**Tabela 13** - Coeficientes de cultivo para a cultura do feijão-caupi

Coeficientes de cultivo (Kc)	Dias após o plantio (DAP)
0,70	12 dias
0,81	De 13 a 33 dias
1,20	De 34 a 54 dias
0,77	De 55 dias ao final do ciclo

Fonte: Sousa, Bezerra, Teófilo (2005).

O tempo de irrigação foi determinado a partir da equação 2, sendo que o turno de rega foi diário com uma lâmina equivalente a 100% da evapotranspiração potencial da cultura ou complementar a precipitação pluviométrica.

$$T_I = \frac{ET_{pc} \times A}{CUD \times q_g} \quad (2)$$

em que,

$T_1$  - tempo de irrigação (h);

ET<sub>pc</sub> - evapotranspiração potencial da cultura (mm);

A - área de cultivo (m<sup>2</sup>);

CUD - coeficiente de uniformidade de distribuição de água do sistema de irrigação;

$q_g$  - vazão do gotejador, L h<sup>-1</sup>.

## 2.4 Instalação e condução da cultura

Primeiramente foi realizada a limpeza da área, em seguida o preparo convencional do solo por meio de uma gradagem e por último o piqueteamento da área, demarcando-se ao longo da área experimental as medidas equivalentes às parcelas. Posteriormente foi realizada a abertura das covas para aplicação do composto orgânico nas subparcelas que foram utilizadas adubação orgânica, uma vez que torna-se necessário um período de reação desse composto no solo.

A água usada no sistema convencional foi proveniente do sistema de abastecimento público do município de Tianguá - CE gerenciado pela CAGECE, no qual provêm do açude Jaburu. E a água residuária (efluente doméstico tratado) utilizado no sistema renovável foi procedente da Estação de Tratamento de Esgoto de Tianguá (ETE São Gonçalo), sendo a tecnologia de tratamento por meio de lagoas de estabilização, no qual é composta por uma lagoa anaeróbia, uma facultativa e três de maturação (Figura 13).

**Figura 13** - Estação de Tratamento de Esgoto de Tianguá (ETE São Gonçalo) e a área experimental



Na primeira lagoa de menor espelho da água e maior profundidade, o tratamento do efluente é realizado por meio de bactérias anaeróbias com a floculação e decantação das partículas sólidas. Na segunda lagoa, caracterizada pelo grande espelho, pouca profundidade e pela ação de bactérias aeróbias, algas e radiação solar. A terceira, quarta e quinta lagoas, não atuam tanto na remoção da carga orgânica, uma vez que já foi bastante reduzida pela lagoa facultativa. Estas atuam na eficiente remoção de coliformes, além da eficiência relativa na remoção de nitrogênio (volatilização da amônia) e parcialmente de fósforo (precipitação de fosfatos). O efluente doméstico tratado utilizado no experimento foi fornecido pela última lagoa de maturação.

#### 2.4.1 Adubação, semeadura e desbaste

A aplicação dos fertilizantes químicos e orgânicos foi realizada baseada na análise química de solo, do composto orgânico e da água residuária, esta última para os tratamentos que foram irrigados com efluente doméstico tratado. As doses de nitrogênio e potássio foram aplicadas metade na semeadura e a outra metade aos 30 dias após o plantio, enquanto o fósforo foi aplicado todo no plantio. Os adubos foram aplicados em sulcos de 5 cm de profundidade e distanciados 5 cm das plantas. A Tabela 14 apresenta os valores referentes à adubação mineral e orgânica aplicados.

**Tabela 14** - Recomendação de adubação mineral e orgânica para os diferentes tratamentos

<b>Adubação mineral</b>	<b>100% mineral</b>	<b>Complementar</b>
Nitrogênio (ureia)	20 kg ha <sup>-1</sup>	6,0 kg ha <sup>-1</sup>
Fósforo (superfosfato simples)	80 kg ha <sup>-1</sup>	52 kg ha <sup>-1</sup>
Potássio (cloreto de potássio)	20 kg ha <sup>-1</sup>	9,0 kg ha <sup>-1</sup>
<b>Adubação orgânica</b>	<b>100% do composto</b>	<b>Complementar</b>
Composto orgânico	19.525 kg ha <sup>-1</sup>	5.925 kg ha <sup>-1</sup>

A cultura implantada foi o feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L) Walp.], cultivar Setentão 596. Apresenta porte semienramador, ciclo de 65-70 dias e produtividade de 800 kg ha<sup>-1</sup> sob condições de sequeiro e 1200 kg ha<sup>-1</sup> irrigado (PAIVA et al., 1988). O plantio foi realizado manualmente no dia 06/11/2017 no espaçamento (1,0 m x 0,4 m) semeando-se três sementes por cova. Após germinação foi feito o desbaste de forma manual deixando-se duas plantas por cova.

A colheita foi realizada de forma manual, após a maturação das vagens aos 74 dias após a semeadura, sendo o material vegetal colhido das 6 plantas centrais de cada subparcela da unidade experimental. O material coletado foi colocado em sacos de

papel previamente identificados e levados para secagem complementar à temperatura ambiente no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Campus Tianguá.

## 2.5 Variáveis analisadas

### 2.5.1 Água residuária e de abastecimento

Foram realizadas análises físico-química e microbiológica da água residuária e da água potável antes da sua aplicação nos tratamentos com a finalidade de caracterizar os parâmetros de qualidade para irrigação. Assim sendo, foram coletadas amostras de 1 L em frasco esterilizado no tanque contendo água de reúso e na fonte de abastecimento de acordo com a metodologia da CETESB, (2011).

A determinação dos atributos foi realizado no Laboratório de Saneamento Ambiental (LABOSAN), pertencente à Universidade Federal do Ceará. A metodologia analítica adotada em todas as análises (químicas, físicas e microbiológicas) foi a Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012). Na Tabela 15 verifica-se a análise físico-química e microbiológica da água residuária durante o período do estudo.

**Tabela 15** - Análise físico-química e microbiológica da água residuária utilizado durante o experimento com feijão-caupi irrigado em Tianguá, CE

PARÂMETROS	Unidade	Novembro 2017	Dezembro 2017	Janeiro 2018	Referência para reúso
pH	-	6,8	7,0	7,1	6 - 8,5
CE	dS m <sup>-1</sup>	1,48	1,49	1,32	3,0
DQO	mg L <sup>-1</sup>	82,55	98,07	64,74	92,6
SST	mg L <sup>-1</sup>	60	60	102,0	36,2
Amônia total	mg N <sup>-1</sup> L <sup>-1</sup>	-	-	8,4	NE
Nitrogênio total	mg L <sup>-1</sup>	-	-	13,44	30,2
Fósforo total	mg L <sup>-1</sup>	-	-	13,19	14,6
Potássio	mg L <sup>-1</sup>	-	-	35,0	36,8
Cálcio	mg L <sup>-1</sup>	29,99	24,48	24,48	74,0
Magnésio	mg L <sup>-1</sup>	-	-	0,4	32,2
Sódio	mg L <sup>-1</sup>	219,0	195,0	174,0	142,5
Cloretos	mg L <sup>-1</sup>	241,78	225,62	223,46	NE
Coliformes totais	org 100 ml	2,4*10 <sup>4</sup>	2,3*10 <sup>4</sup>	2,4*10 <sup>4</sup>	10 <sup>5</sup>

Fonte: CAGECE E LABOSAN, (2018); NE – não especificado

A análise físico-química e microbiológica da água de abastecimento (potável) utilizada em alguns tratamentos é apresentada na Tabela 16.

**Tabela 16** - Atributos físico-químicos e microbiológicos da água de abastecimento utilizados no estudo com feijão-caupi irrigado em Tianguá, CE

<b>Físicos</b>											
CE	SDT		Dureza		Turbidez			Cor			
dS m <sup>-1</sup>	-----mg L <sup>-1</sup> -----				-			Mg pt L <sup>-1</sup>			
0,28	155,75		49,99		0,27			2,5			
<b>Químicos</b>											
pH	Amônia	Nitrato	P	K	Ca	Mg	Fe	Na	Sulfato	Cloretos	Alcal.
-	-----mg L <sup>-1</sup> -----										
6,5	0,04	0,02	0,05	6,0	13,33	3,91	0,07	35,33	9,51	77,76	20,07
<b>Microbiológica</b>											
Coliformes totais						Escherichia coli					
0,0 org ml <sup>-1</sup>						0,0 org ml <sup>-1</sup>					

Fonte: CAGECE, (2017).

### 2.5.2 Solo e composto orgânico

Inicialmente, antes da implantação da cultura realizou-se uma análise do solo da área experimental com a finalidade de caracterizar o mesmo, além da recomendação de adubação com base na análise química para alguns tratamentos em estudo. Foram coletadas amostras em três profundidades (0 - 20 cm, 20 - 40 cm, 40 - 60 cm). As amostras coletadas foram encaminhadas ao laboratório da UFC/FUNCEME para determinação dos parâmetros físico-químicos.

Nos tratamentos que receberam água residuária efetuou-se uma análise no início do experimento e outra ao final do estudo com a finalidade de verificar o aporte de nutriente no solo, além de algum problema decorrente do uso do efluente. Na Tabela 17 é mostrado as análises físico-químicas no início e ao final da pesquisa, esta última apenas nas subparcelas que foram irrigadas com efluente doméstico tratado sem adubação (S2A0).

Também foi realizado a análise microbiológicos do feijão-caupi com a finalidade de caracterizar a qualidade sanitária do grão. Os testes de qualidade sanitária dos grãos compreenderam a contagem de coliformes fecais a 45°C e a investigação de Salmonella, ambos realizados no Laboratório de Microbiologia de Alimentos do Departamento de Tecnologia de Alimentos da UFC. O procedimento de coleta, preparo e análise das amostras foram realizados conforme especificações descritas pela American Public Health Association (APHA, 2001). Os valores de referência foram baseados nos padrões microbiológicos sanitários para alimentos estabelecidos pelo Ministério da Saúde (BRASIL, 2001).

**Tabela 17** - Atributos físico-químicos do solo da área experimental no início e ao final do estudo em Tianguá, CE

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (g kg <sup>-1</sup> )						
Prof. (cm)	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Argila Natural	Classificação Textural
0 - 20	380	438	155	27	20	Areia franca
20 - 40	275	495	83	147	71	Franco arenoso
40 - 60	329	409	86	176	30	Franco arenoso

ATRIBUTOS	INÍCIO			FINAL		
	0 - 20	20 - 40	40 - 60	0 - 20	20 - 40	40 - 60
Densidade global (g cm <sup>-3</sup> )	1,43	1,53	1,53	-	-	-
CE (dS m <sup>-1</sup> )	0,35	0,22	0,11	1,13	0,83	0,82
pH	5,0	4,7	4,8	5,1	5,3	4,9
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	1,0	0,4	0,3	1,5	1,0	0,7
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,5	0,5	0,3	1,2	0,8	0,5
Na <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,05	0,06	0,07	0,29	0,40	0,44
H <sup>+</sup> + Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	3,30	3,47	3,80	2,15	1,98	2,64
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,60	1,05	1,40	0,30	0,20	0,35
S (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	1,8	1,1	0,8	3,2	2,0	1,9
T (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	5,1	4,6	4,6	5,3	4,4	4,5
V (%)	35	24	17	60	55	42
m (%)	25	49	64	9,0	8,0	15
PST	1,0	1,0	2,0	5,0	9,0	10
K <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,22	0,16	0,13	0,19	0,22	0,27
N (g kg <sup>-1</sup> )	0,56	0,39	0,32	0,94	0,59	0,36
P assimilável (mg kg <sup>-1</sup> )	7,0	14	5,0	49	68	45
M. O (g kg <sup>-1</sup> )	10,45	6,62	5,07	15,25	10,06	6,10
C/N	11	10	9,00	9,0	10	10
C (g kg <sup>-1</sup> )	6,06	3,84	2,94	8,85	5,84	3,54

A caracterização físico-química do composto orgânico também foi realizada no laboratório de solos da UFC, visto a necessidade de determinação dos atributos para recomendação da adubação orgânica (Tabela 18).

**Tabela 18** - Atributos físico-químico do composto orgânico utilizado no experimento em Tianguá, CE

N	P	K	Ca	Mg	B	Mn	Na	pH	CTC	M.O	Umid	C	C/N
-----%-----		-----%-----		---mg kg <sup>-1</sup> ---			-	-	-----%-----		-		
1,34	1,43	0,77	2,44	0,88	19	393	735	6,5	28,9	26,6	51,3	14,8	11

### 2.5.3 Balanço hídrico e energético

Para a determinação do consumo hídrico foi instalado hidrômetros nas linhas de recalque dos sistemas de produção. Apenas nos sistemas que foram acionados com energia solar fotovoltaico, a água foi inicialmente bombeada para um reservatório com capacidade para 15.000 L e posterior irrigação.

A medição do consumo energético foi mensurada, por meio de dois multímetros, o primeiro foi conectado nos terminais de entrada do painel fotovoltaico para medição da tensão elétrica do sistema. Já o segundo foi conectado entre o módulo fotovoltaico e a motobomba para verificação da corrente elétrica de entrada na carga. Com a determinação dos valores de corrente e tensão foi calculada a potência elétrica fornecida ao sistema de bombeamento, por meio da equação 3.

$$P = V * I \quad (3)$$

em que:

P - potência elétrica (W);

V - tensão elétrica (V);

I - corrente elétrica (A).

A verificação dos dados de irradiação solar foram obtidos junto à estação meteorológica do IFCE de Tianguá, CE. A tensão elétrica e a corrente elétrica de entrada no sistema de bombeamento foram medidas durante o período de irrigação da cultura, em que os dados foram registrados a cada 5 minutos. O volume de água aplicado e os parâmetros elétricos e climáticos dos sistemas analisados durante o período de desenvolvimento do experimento (novembro de 2017 a janeiro de 2018) são visualizados na Tabela 19.

**Tabela 19** - Volume de água aplicado e parâmetros elétricos dos sistemas de produção renovável e convencional e variáveis climáticas em Tianguá, CE

PARÂMETROS	Sistema Renovável			Sistema Convencional		
	Nov/17	Dez/17	Jan/18	Nov/17	Dez/17	Jan/18
Corrente (A)	3,13	3,31	3,54	3,02	3,01	3,03
Tensão (V)	32,93	34,33	35,11	220	220	220
Potência (W)	103,1	113,6	124,3	664,4	662,20	666,60
Irradiação solar (kW m <sup>-2</sup> )	5,993	5,361	5,215	5,993	5,361	5,215
ETo (mm dia <sup>-1</sup> )	4,80	4,20	4,20	4,80	4,20	4,20
Pluviosidade (mm)	-	38,40	6,90	-	38,40	6,90
Volume de água aplicado (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	1016,0	1475,2	661,0	1016,0	1475,2	661,0
Tempo operação (h)	41,17	51,83	18,00	24,42	24,17	9,33

Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 2.5.4 Componentes de produção

Ao final do ciclo da cultura foi coletada as seis plantas centrais de cada subparcela, em que foi analisado o número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NVG) obtido de cinco sub-amostras de 20 vagens cada totalizando 100 vagens por subparcela, comprimento médio da vagem (CMV) obtido de cinco sub-amostras de 20 vagens cada perfazendo 100 vagens por subparcela e peso de 100 grãos (P100) obtido de cinco sub-amostras de cada subparcela.

O rendimento médio da cultura foi avaliado em função dos parâmetros de produção em relação à área cultivada e a produtividade da água foi determinada, por meio da relação entre o rendimento comercial da cultura e o volume de água aplicada pela irrigação mais a precipitação pluviométrica.

### 2.6 Análise econômica

Inicialmente contabilizou-se os custos totais de produção em cada um dos sistemas de produção (tratamentos), posteriormente foi estimado os fluxos de caixa, já que os indicadores de viabilidade econômica são calculados com base nesses fluxos.

A receita bruta foi determinada pelo fator multiplicativo da produção em cada tratamento pelo preço unitário médio pago aos produtores e a receita líquida pela diferença entre a receita bruta e o custo total de produção. E por fim foi determinada a relação Benefício/Custo, o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Período de *Payback* (PP) com a finalidade de verificar a rentabilidade e, portanto, a viabilidade de cada sistema de produção agrícola.

A Relação Benefício Custo (B/C) é uma relação entre o valor da receita bruta obtida pelo empreendimento e o valor dos custos de produção. Para cada tratamento essa associação B/C foi calculada pela equação 4.

$$B/C = \left( \sum_{i=0}^n Ri/(1+r)^i / \sum_{i=0}^n Ci/(1+r)^i \right) \quad (4)$$

em que:

Ri - receita obtida no ano (R\$);

r - taxa real anual de juros (decimal);

$i$  - número de anos para quitar o investimento ou vida útil dos equipamentos;

$C_i$  - custos no ano (R\$).

O Valor Presente Líquido (VPL) consiste em transferir para o momento atual todas as variações de caixa esperado, descontá-las a uma determinada taxa de juros e somá-las algebricamente, sendo representado pelo valor presente dos benefícios líquidos. O VPL foi determinado pela equação 5 (Noronha 1987).

$$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{L_t}{(1+p)^t} \quad (5)$$

em que:

$L_t$  - fluxo líquido no horizonte;

$\rho$  - a taxa de desconto;

$t$  - período de tempo ou horizonte de planejamento do projeto

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é um fator que representa à porcentagem de rentabilidade anual média do capital investido, ou seja, torna nulo o valor atual do investimento. A TIR foi calculada pela equação 6 (GITMAN, 1997).

$$Valor\ atual = \sum_{t=0}^n \frac{L_t}{(1+TIR)^t} \quad (6)$$

O Período *Payback* (PP) estabelece o tempo necessário para a recuperação do investimento dentro de um horizonte de análise. Nesse caso, foi considerada a vida útil do sistema de irrigação.

O custo de energia elétrica foi determinado, por meio da potência consumida, o tempo de funcionamento do sistema e o preço do kWh estabelecido pela Companhia Energética do Ceará - Enel (equação 7)

$$CE = Pot \times Tf \times PkWh \quad (7)$$

em que

CE - custo da energia elétrica durante o ciclo da cultura, (R\$);

Pot - potência consumida (W);

Tf - tempo de funcionamento do sistema durante o ciclo da cultura (h)

$P_{kWh}$  - preço do kWh (R\$).

O preço do kWh foi obtido junto à Companhia Energética do Ceará (Enel) referente à tarifa da bandeira amarela (R\$ 0,3649) considerando que o sistema funcionou nos horários de ponta.

As receitas brutas contabilizadas foram oriundas da venda do produto (feijão) ao preço de R\$ 2,99 por quilograma considerando a série histórica de preço dos últimos 10 anos praticados pela CEASA, CE. O capital para custeio e investimento referente a 1,0 ha irrigado com feijão-caupi foi simulado considerando a linha de financiamento do Pronaf Agricultor Familiar junto ao Banco do Nordeste, o qual estabelece que para valores contratados de 10 mil a R\$ 50 mil reais as taxas de juros variam de 1% a 2%, com prazo de investimento de até 10 anos e período de carência de até três anos (PRONAF, 2011).

Ressalta-se ainda que todos os preços utilizados na análise econômica são referentes a valores praticados no Estado do Ceará nos últimos anos, de forma a representar o potencial real econômico dos sistemas analisados no presente estudo.

## **2.7 Análise estatística**

Primeiramente realizou-se a estatística descritiva para analisar os seguintes parâmetros: média, desvio padrão, variância, coeficiente de variação, assimetria e curtose das variáveis determinadas no estudo, sendo que por meio dos coeficientes de assimetria e curtose foi analisada a normalidade dos dados avaliados. Posteriormente foi realizada a análise de variância para os dados que apresentaram normalidade e quando significativos foram comparados pelo teste da diferença mínima significativa (DMS) a 5% de significância (teste Tukey).

Os dados foram analisados por meio do Software Minitab – Versão 16. Também foi utilizado o programa Excel para elaboração de gráficos e análise de regressão das correlações dos diferentes parâmetros avaliados.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Componentes de produção

A análise descritiva dos componentes de produção do feijão-caupi sob diferentes sistemas de produção (tratamentos) é apresentada na Tabela 20. Observou-se que os tratamentos que foram irrigados com água residuária e acionados com energia solar fotovoltaica (S2A0, S2A1 e S2A2) mostraram melhor desempenho em todos os parâmetros de produção em função do efluente doméstico tratado, uma vez que a quantidade de nutrientes presentes, principalmente nitrogênio e fósforo supriu a demanda nutricional da cultura e o modo como foi disponibilizado via água de irrigação proporcionou maior eficiência na assimilação dos nutrientes pela planta.

O sistema renovável sem adubação (S2A0) apresentou-se semelhante aos sistemas renováveis com adubação mineral (S2A1) e orgânica (S2A2) e superiores aos sistemas que não foram irrigados com água residuária (S1A0, S1A1 e S1A2).

Rebouças et al. (2010) verificaram que a quantidade de nitrogênio existente na água residuária supriu suficientemente a demanda nutricional do feijão-caupi na ausência da adubação mineral elevando a produção de fitomassa seca e demais variáveis de crescimento.

No sistema renovável sem adubação (S2A0) verificou-se resultados similares ao sistema de produção convencional com adubação mineral (S1A1), uma vez que a água residuária é rica em nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, os quais contribuíram de forma expressiva nos parâmetros de produção da cultura. Desse modo, ficou evidente que o efluente doméstico tratado possui uma carga de nutriente suficiente para suprir a demanda nutricional da cultura por completo ou pelo menos com uma parcela de contribuição significativa. Além disso, outro benefício refere-se à economia de adubo.

A menor produtividade foi observado no sistema de produção convencional sem adubação (S1A0)  $675,8 \text{ kg ha}^{-1}$ , valor abaixo do rendimento médio para o feijão-caupi em condições irrigadas  $1.200 \text{ kg ha}^{-1}$ . Os maiores valores de rendimento da cultura foram constatados nos sistemas que foram irrigados com água residuária (S2A0, S2A1 e S2A2) com produtividades  $1.383,1 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $1.502 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $1.521 \text{ kg ha}^{-1}$ , respectivamente.

Freitas et al. (2018) utilizando água residuária no cultivo de feijão-caupi verificaram maior produtividade ( $935,8 \text{ kg ha}^{-1}$ ) nos tratamentos irrigados com esgoto

doméstico tratado, diferindo significativamente dos tratamentos irrigados com água de poço, em que o rendimento foi 842,4 kg ha<sup>-1</sup>.

**Tabela 20** - Estatística descritiva do número de vagens por planta, número de grão por vagens, comprimento médio da vagem, peso de 100 grãos e produtividade

<b>S1A0</b>									
	<i>n</i>	Me	DP	Var	CV	Máx	Mín	As	K
NVP	12	9,16	3,46	11,98	37,76	16,10	5,50	0,89	0,02
NGV	15	14,48	0,41	0,17	2,85	15,12	13,78	-0,05	-0,90
CMV (cm)	15	17,52	0,35	0,12	1,99	18,22	16,72	-0,54	2,00
P100 (g)	15	20,22	0,64	0,41	3,15	21,42	18,73	-0,51	1,70
PROD (kg ha <sup>-1</sup> )	15	675,8	246,0	60532,7	36,41	1229,4	400,4	1,02	0,72
<b>S1A1</b>									
NVP	12	17,07	4,23	17,86	24,76	24,10	10,17	0,26	-0,59
NGV	15	15,11	0,60	0,36	4,00	15,72	13,42	-1,79	4,16
CMV (cm)	15	18,10	0,60	0,36	3,30	18,80	16,42	-1,84	4,55
P100 (g)	15	20,77	0,71	0,50	3,42	22,02	19,94	0,37	-1,36
PROD (kg ha <sup>-1</sup> )	15	1336,5	291,0	84680,9	21,77	1942,7	829,1	0,44	0,15
<b>S1A2</b>									
NVP	12	12,14	3,37	11,36	27,76	17,75	6,63	-0,11	-0,89
NGV	15	15,14	0,45	0,20	2,94	16,02	14,34	0,23	0,12
CMV (cm)	15	18,19	0,48	0,23	2,63	18,80	17,20	-0,58	0,00
P100 (g)	15	20,45	0,93	0,87	4,57	22,03	19,16	0,35	-0,81
PROD (kg ha <sup>-1</sup> )	15	940,0	232,0	54048,7	24,73	1332,9	508,8	-0,36	-0,65
<b>S2A0</b>									
NVP	12	17,34	5,17	26,75	29,83	29,00	8,50	0,75	1,66
NGV	15	15,52	0,36	0,13	2,31	16,26	14,62	-0,49	2,95
CMV (cm)	15	18,81	0,64	0,41	3,42	20,58	17,68	1,30	3,75
P100 (g)	15	20,88	0,44	0,20	2,13	21,64	19,96	-0,40	0,07
PROD (kg ha <sup>-1</sup> )	15	1383,1	321,8	103547	23,27	2019,1	674,2	-0,07	1,11
<b>S2A1</b>									
NVP	12	18,74	6,83	46,60	36,43	30,75	10,13	0,51	-1,00
NGV	15	15,10	0,54	0,29	3,60	16,20	14,20	0,35	-0,15
CMV (cm)	15	18,25	0,42	0,18	2,29	18,88	17,40	-0,19	-0,41
P100 (g)	15	21,10	0,67	0,45	3,18	22,22	19,41	-1,11	2,11
PROD (kg ha <sup>-1</sup> )	15	1502,0	518,0	268429	34,49	2488,0	793,0	0,51	-0,72
<b>S2A2</b>									
NVP	12	18,99	5,84	34,10	30,75	28,88	9,17	-0,19	-0,48
NGV	15	15,54	0,56	0,32	3,63	16,30	14,24	-1,03	0,81
CMV (cm)	15	18,44	0,46	0,21	2,50	19,04	17,42	-0,74	0,23
P100 (g)	15	20,60	1,06	1,12	5,13	22,03	18,17	-0,75	0,85
PROD (kg ha <sup>-1</sup> )	15	1521,0	431,0	185853	28,34	2407,0	750,0	-0,05	0,54

*n* - número de amostras; Me - valor médio; DP - desvio padrão; Var - variância; CV - coeficiente de variação; Máx - valor máximo; Mín - valor mínimo; As - coeficiente de assimetria; K - coeficiente de curtose.

A análise comparativa do sistema renovável sem adubação (S2A0) com o sistema renovável com adubação mineral (S2A1), este último mostrou-se resultados melhores dos parâmetros de produção, as produtividades foram 1.383,1 kg ha<sup>-1</sup> e 1.502 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente, evidenciando que a adubação mineral teve uma função complementar satisfatória no sistema de produção.

De maneira semelhante foi observado no sistema renovável com adubação orgânica (S2A2), em que a produtividade foi 1.521 kg ha<sup>-1</sup> superior aos demais sistemas, uma vez que a matéria orgânica atua como agente condicionador do solo, o que melhorar as condições de cultivo, por meio da retenção de água e aumento da disponibilidade de nutrientes em forma assimilável pelas raízes.

Cavallet et al. (2006) ao estudarem o efeito da utilização de água residuária no solo em experimentos de campo, observaram melhoria da fertilidade do solo, e um incremento na produção de grãos de milho em todos os tratamentos, aos quais se aplicou a água residuária devido à presença de nutrientes.

Já na análise comparativa do sistema convencional com adubação mineral (S1A1) em relação ao sistema convencional com adubação orgânica (S1A2) observou-se que o sistema S1A1 apresentou melhores resultados, com uma produtividade média de 1.336,5 kg ha<sup>-1</sup> em comparação a 940 kg ha<sup>-1</sup> no sistema S1A2. Desse modo, percebeu-se que adubação orgânica não teve o mesmo comportamento que nos sistemas renováveis.

Esse comportamento justifica-se pela própria dinâmica de liberação de nutriente pela matéria orgânica, uma vez que a taxa de mineralização, a relação C/N afetam a quantidade disponível de adubo para a planta. Porém, no sistema renovável essa dinâmica não afetou os parâmetros de produção, visto que o efluente doméstico tratado supriu a demanda nutricional da cultura e a adubação orgânica teve mais uma função complementar a demanda requerida pela cultura.

Resultados semelhantes aos sistemas convencionais foi observado por Beltrão Júnior et al. (2012) no estudo do rendimento do feijão-caupi adubado com diferentes doses de adubação orgânica e química, no qual constataram que a adubação química proporcionou maiores valores em todas as variáveis analisadas em relação as parcelas adubadas com diferentes doses do adubo orgânico, visto que o composto utilizado apresentava uma relação C/N igual a 42:1, muito alta, indicando maturação incompleta, o que pode ter interferido na absorção pela planta, somando-se a isto o fato do solo ser uma areia quartzosa.

Já Magalhães et al. (2018) no estudo dos componentes de produção do feijão-caupi sob diferentes doses de fertilizante orgânico e mineral verificaram que as variáveis comprimento médio da vagem, o número de vagens por planta e o peso de 100 grãos responderam de modo mais expressivo ao fertilizante orgânico em relação ao mineral. Dessa maneira, os resultados encontram-se similares aos sistemas renováveis e diferentes dos sistemas convencionais.

Com relação às medidas de dispersão que descrevem a variabilidade do conjunto de dados analisados como o desvio padrão, a variância e o coeficiente de variação (Tabela 20) observou-se baixa dispersão dos dados para as variáveis NGV, CMV e P100 nos diferentes tratamentos, o que caracteriza uma precisão ótima segundo a classificação de Ferreira (1991) no que diz respeito à precisão do processo e um CV baixo (menor ou igual a 10%) segundo a classificação de Gomes (1985).

Entretanto, as variáveis NVP e produtividade apresentaram uma média dispersão dos dados (CV entre 20 e 30%). Tal comportamento é atribuído à ocorrência de oídio (*Erysiphe diffusa*) no final do ciclo da cultura em algumas parcelas (bloco 5 subparcelas S2A0, S2A1 e S2A2; bloco 8 subparcela S1A1; bloco 9 subparcelas S1A1 e S2A1; bloco 7 subparcelas S1A2 e S2A2 e bloco 12 subparcela S1A0), o que contribuiu para diminuir o rendimento médio da cultura e como a produtividade está ligada diretamente ao NVP também apontou medidas de dispersão mais elevadas. No geral caracterizou-se uma boa precisão dos dados obtidos no experimento.

Hartman (1999) destaca que o oídio causa reduções de rendimento das culturas na ordem de 10 a 35%. Já Yorinori, (1998) e EMBRAPA, (2011) ressaltam que o oídio (*Erysiphe diffusa*) ocasiona reduções de até 40% no rendimento de cultivares pouco resistente.

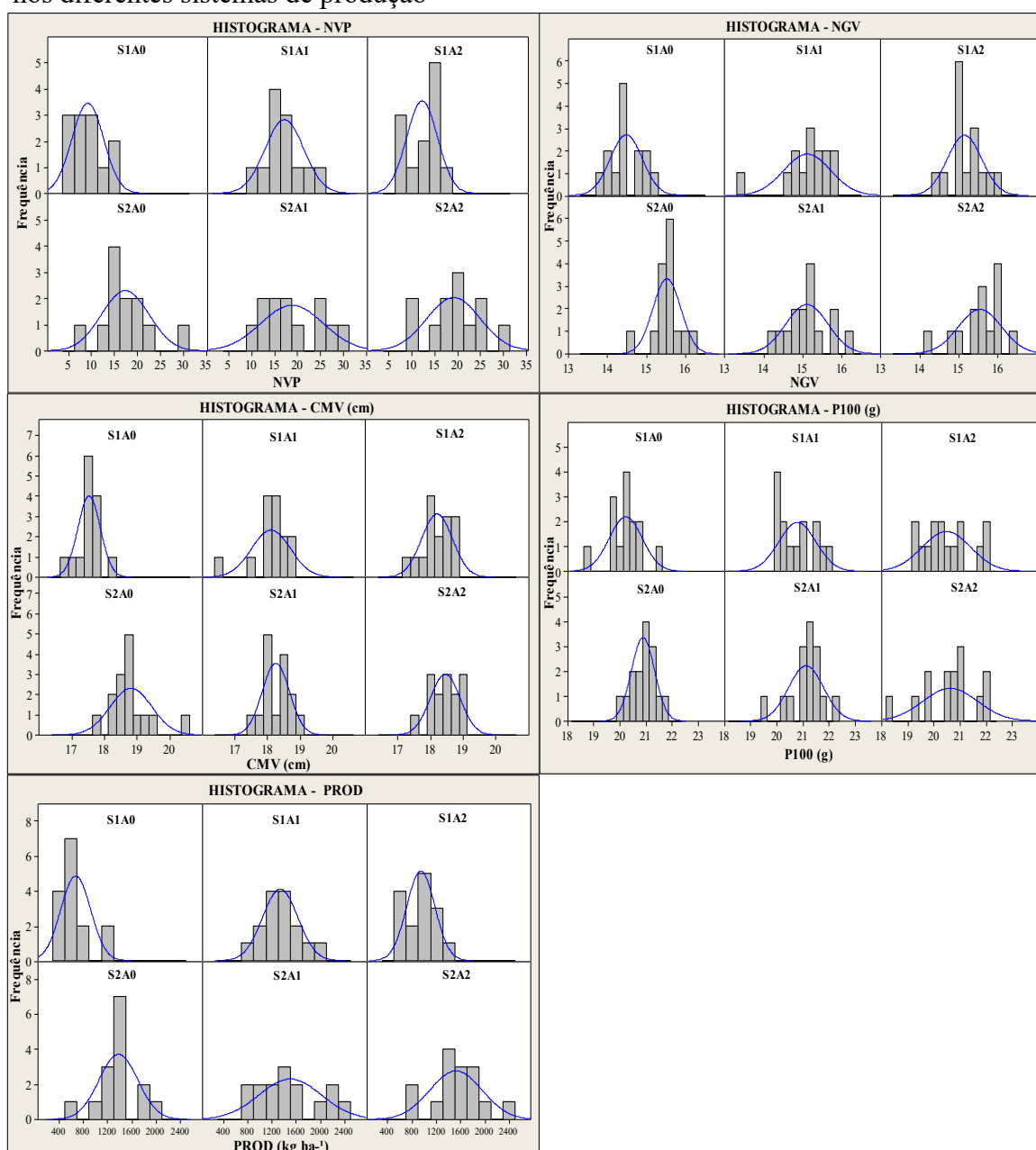
As medidas de assimetria e curtose são relevantes para compreender se a população da qual a amostra foi obtida pode ser descrita por uma curva normal (normalidade dos dados), em que são analisados por meio do coeficiente de assimetria (As) que quantifica o distanciamento de um conjunto de dados em relação à simetria e o coeficiente de curtose (K) que avalia o grau de achatamento da distribuição de frequência de um conjunto de dados.

Segundo Oliveira (2010) se os coeficientes de assimetria e curtose apresentarem valores dentro de um intervalo de -3 a +3, considera-se que ocorreu normalidade nos dados analisados. Dessa forma, verificou-se que a maioria dos dados avaliados dos componentes de produção apresentou uma distribuição normal, pois encontram-se dentro do intervalo mencionado pelo autor. Apenas no tratamento S1A1 o

NGV e CMV apresentaram o coeficiente de curtose fora do intervalo mencionado devido a algum valor atípico desses parâmetros (outlier).

Os histogramas dos componentes de produção da cultura e a frequência relativa dos parâmetros analisados são mostrados na Figura 14, em que verifica-se a curva simétrica da distribuição dos dados e o achatamento dos mesmos dentro da curva de referência. Observou-se uma distribuição normal para a maioria dos dados das variáveis NVP, NGV, CMV, P100 e PROD. A exceção ocorreu no tratamento S1A1 nos componentes NGV e CMV em que o coeficiente de curtose foi 4,16 e 4,55 respectivamente, em função de um valor atípico fora da curva simétrica de referência.

**Figura 14** - Histogramas do número de vagens por planta, número de grãos por vagem, comprimento médio da vagem, peso de 100 sementes e produtividade do feijão-caupi nos diferentes sistemas de produção



Fonte: Elaborado pelo autor

A análise de variância do número de vagens por planta em função dos fatores energia, água e adubação e da interação dos mesmos pode ser visualizada na Tabela 21. Nota-se que houve diferença significativa ao nível de 5% de significância para os fatores água + energia, adubação e a interação (energia, água e adubação).

**Tabela 21** - Análise de variância do componente de produção número de vagens por planta no estudo com feijão-caupi em Tianguá - CE

<b>FV</b>	<b>DF</b>	<b>SS</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
Energia + Água (S)	1	557,0	557,0	19,15	0,000
Erro	70	2036,5	29,1		
Adubação (A)	2	259,6	129,8	3,84	0,026
Erro	69	2334,0	33,8		
Energia*Água*Adubação (S x A)	5	958,2	191,6	7,73	0,000
Erro	66	1635,3	24,8		
Total	71	2593,5			

Pelo teste de média referente ao NVP apresentado na Tabela 22. Percebeu-se que o fator adubação orgânica (A2) foi igual a mineral (A1) e indiferente do tratamento sem adubação (A0).

**Tabela 22** - Teste de médias do componente de produção número de vagens por planta no estudo com feijão-caupi em Tianguá - CE

<b>Tratamentos</b>	<b>Número de Amostras</b>	<b>Médias</b>	<b>Desvio Padrão</b>
S2	30	18,356 a	4,886
S1	30	12,793 b	5,858
A1	12	17,903 a	5,618
A2	12	15,567 a b	5,829
A0	12	13,253 b	5,995
S2A2	12	18,990 a	5,840
S2A1	12	18,738 a	6,827
S2A0	12	17,338 a b	5,172
S1A1	12	17,068 a b	4,226
S1A2	12	12,143 b c	3,371
S1A0	12	9,167 c	3,462

\*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pela diferença mínima significativa (D.M.S.) do teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Na interação constatou-se que todos os tratamentos irrigados com efluente doméstico tratado foram iguais estatisticamente ao sistema S1A1, porém com valores superiores e ambos diferentes do sistema convencional sem adubação (S1A0), o que pode ser atribuído à carga nutricional do efluente e o modo de disponibilização a planta.

Galbiatti et al. (2011) no cultivo de feijão sob o uso de adubação orgânica e mineral observaram que os tratamentos que receberam biofertilizante e o tratamento com apenas a dose completa de adubação mineral foram estatisticamente iguais e melhores que os tratamentos com interação.

Para o número de vagens por planta o sistema renovável sem adubação (S2A0) apresentou-se de modo igual ao sistema convencional com adubação mineral (S1A1), o que permite inferir que o aporte nutricional da água residuária pode substituir complementemente a adubação mineral na cultura do feijão-caupi.

Sousa Neto et al. (2012) constataram que o efluente doméstico tratado substituiu completamente a adubação mineral no cultivo do algodão. Já Freitas et al. (2018) no cultivo do feijão-caupi irrigado com esgoto doméstico tratado na região Nordeste do Brasil destacaram que o uso do efluente doméstico tratado na irrigação do feijão pode substituir até 100% os fertilizantes comerciais.

Pela análise de variância do número de grãos por vagens percebeu-se que para os fatores energia e água houve diferença significativa ao nível de 5% de significância, da mesma forma que a interação energia, água e adubação devido ao fator água residuária, visto que o efluente doméstico tratado proporcionou expressivo aumento em todas as variáveis. Para o fator adubação observou-se que não houve diferença significativa (Tabela 23).

**Tabela 23** - Análise de variância do componente de produção número de grãos por vagens no estudo com feijão-caupi em Tianguá - CE

FV	DF	SS	MS	F	P
Energia + Água (S)	1	4,759	4,759	15,81	0,000
Erro	85	25,592	0,301		
Adubação (A)	2	1,539	0,769	2,24	0,112
Erro	84	28,812	0,343		
Energia*Água*Adubação (S x A)	5	10,542	2,108	8,62	0,000
Erro	81	19,809	0,245		
Total	86	30,351			

Galbiatti et al. (2011) no estudo dos parâmetros de produção do feijoeiro sob o uso de biofertilizante e adubação mineral constataram que os tratamentos que receberam biofertilizante e o tratamento com apenas a dose completa de adubação mineral foram estatisticamente iguais indicando não haver diferença estatística entre o uso de biofertilizante e o tratamento com apenas a adubação mineral na dose completa.

Alves et al. (2017) no estudo do tomateiro irrigado com água residuária de suinocultura constataram que a água residuária bruta proporcionou maior incremento na altura de planta, diâmetro de caule, comprimento de folhas, largura de folhas.

Pelo teste de média do número de grãos por vagens constatou-se que os tratamentos com água residuária independente do tipo de adubação e os tratamentos convencionais com adubação mineral (S1A1) e com adubação orgânica (S1A2) foram iguais e ambos foram diferentes do sistema convencional sem adubação (S1A0) conforme observa-se na Tabela 24.

**Tabela 24** - Teste de médias do componente de produção número de grãos por vagens no estudo com feijão-caupi em Tianguá - CE

<b>Tratamentos</b>	<b>Número de Amostras</b>	<b>Médias</b>	<b>Desvio Padrão</b>
S2	45	15,385 a	0,526
S1	45	14,917 b	0,571
S2A2	15	15,541 a	0,564
S2A0	15	15,522 a	0,358
S1A2	15	15,143 a	0,445
S1A1	15	15,111 a	0,604
S2A1	15	15,101 a	0,544
S1A0	15	14,481 b	0,412

\*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pela diferença mínima significativa (D.M.S.) do teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Lima et al. (2015) no estudo com reuso de água como estratégia hídrica e nutricional para a cultura do feijão-caupi em Tianguá - CE, ao comparar as médias do número de grãos por vagem observaram uma diferença significativa entre os tipos de água, sendo que a água de esgoto tratado apresentou uma média maior para o NGV em relação à água de poço.

Teixeira et al. (2010) no estudo do desempenho produtivo da cultivar BRS Marataoã constataram valores similares aos encontrados neste estudo, com uma média de 12 grãos por vagem.

A análise de variância do comprimento médio da vagem mostra novamente que no fator adubação não ocorreu diferença significativa ao nível de 5% e que o fator energia + água e a interação (energia, água e adubação) houve diferença significativa ao nível de 5% (Tabela 25).

Dessa maneira, ressalta-se que o tipo de adubação não teve influência no comprimento de vagens semelhante ao número de grãos por vagem. Esse comportamento é atribuído à característica complementar que tanto a adubação mineral teve quanto a orgânica, principalmente nos sistemas renováveis. Porém, quando realizou-se essa relação nos sistemas convencionais observou-se uma pequena diferença que afetou significativamente os parâmetros mais sensíveis como a produtividade.

**Tabela 25** - Análise de variância do componente de produção comprimento médio da vagem no estudo com feijão-caupi em Tianguá - CE

FV	DF	SS	MS	F	P
Energia + Água (S)	1	6,839	6,839	21,80	0,000
Erro	85	26,664	0,314		
Adubação (A)	2	0,305	0,152	0,39	0,681
Erro	84	33,199	0,395		
Energia*Água*Adubação (S x A)	5	13,063	2,613	10,35	0,000
Erro	81	20,441	0,252		
Total	86	33,504			

O teste de média para o comprimento médio da vagem mostra na interação que o sistema renovável sem adubação (S2A0) foi divergente dos demais sistemas, exceto do sistema renovável com adubação orgânica (S2A2). Já o sistema renovável com adubação mineral (S2A1) foi igual estatisticamente aos sistemas S2A2, S1A1 e S1A2 e ambos diferentes do sistema convencional sem adubação (S1A0) Tabela 26.

Comportamento semelhante foi observado por Silva et al. (2012) em que a água residuária promoveu um melhor desempenho para todas as variáveis analisadas do meloeiro “amarelo ouro”, em que quanto maior a concentração de água residuária maiores os efeitos positivos para o desenvolvimento da planta.

**Tabela 26** - Teste de médias do componente de produção comprimento médio da vagem no estudo com feijão-caupi em Tianguá - CE

Tratamentos	Número de Amostras	Médias	Desvio Padrão
S2	45	18,505 a	0,560
S1	45	17,945 b	0,560
S2A0	15	18,817 a	0,644
S2A2	15	18,443 a b	0,460
S2A1	15	18,252 b	0,419
S1A2	15	18,189 b	0,479
S1A1	15	18,104 b	0,598
S1A0	15	17,523 c	0,348

\*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pela diferença mínima significativa (D.M.S.) do teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

De maneira similar ao comportamento da análise de variância do NGV e do CMV, o P100 não houve diferença significativa ao nível de 5% para o fator adubação (Tabela 27). Já para os fatores energia + água e a interação (energia, água e adubação) houve diferença significativa ao nível de 5% de significância. Assim sendo, o tipo de adubação não teve interferência no comportamento dessas variáveis, principalmente nos sistemas renováveis (S2A0, S2A1 e S2A2), visto que o efluente doméstico tratado forneceu o aporte nutricional satisfatório à cultura e que adubação tanto mineral quanto orgânica, particularmente nesses sistemas teve apenas um comportamento complementar a água residuária.

**Tabela 27** - Análise de variância do componente de produção P100 grãos no estudo com feijão-caupi em Tianguá - CE

FV	DF	SS	MS	F	P
Energia + Água (S)	1	3,268	3,268	5,38	0,023
Erro	85	51,634	0,607		
Adubação (A)	2	3,130	1,565	2,54	0,085
Erro	84	51,772	0,616		
Energia*Água*Adubação (S x A)	5	7,272	1,454	2,47	0,039
Erro	81	47,630	0,588		
Total	86	54,902			

Segundo Araújo et al. (2001), no trabalho sobre o efeito de esterco suíno e adubo mineral na produção e qualidade do feijão na Paraíba, constataram que o comprimento, diâmetro e peso médio de vagens não houve diferença significativa para os diferentes tipos de adubação, o que, de certo modo, constatou-se no presente estudo na relação adubação mineral e o composto orgânico.

Rodrigues et al. (2012) na avaliação dos parâmetros de produção da cultura do milho submetida a fertilizantes orgânicos e minerais constataram que a massa de 100 grãos de milho não houve diferença significativa para adubação. Já a produtividade foi significativa a 1% de probabilidade.

Pelo teste de média do peso de 100 grãos observou-se na interação que o sistema renovável com adubação mineral (S2A1) apresentou maior valor 21,1g diferindo apenas do sistema convencional sem adubação (S1A0) e este último apresenta-se igual aos demais tratamentos S2A0, S2A2, S1A1 e S1A2 (Tabela 28).

**Tabela 28** - Teste de médias do componente de produção P100 grãos no estudo com feijão-caupi em Tianguá - CE

Tratamentos	Número de Amostras	Médias	Desvio Padrão
S2	45	20,870 a	0,769
S1	45	20,482 b	0,790
S2A1	15	21,106 a	0,670
S2A0	15	20,886 a b	0,444
S1A1	15	20,773 a b	0,710
S2A2	15	20,600 a b	1,057
S1A2	15	20,453 a b	0,934
S1A0	15	20,223 b	0,637

\*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pela diferença mínima significativa (D.M.S.) do teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Lima et al (2015) encontraram valores inferiores 18,98 e 19,10 g com água de poço e esgoto doméstico tratado, respectivamente para o feijão-caupi.

A análise de variância da componente produtividade teve um comportamento semelhante ao NVP, no qual houve diferença significativa ao nível de 5% para ambos os fatores analisados (Tabela 29). Portanto, tanto a adubação quanto a interação dos fatores energia, água e adubação tiveram influência significativa no desempenho dessa variável.

**Tabela 29** - Análise de variância da componente produtividade no estudo com feijão-caupi em Tianguá - CE

FV	DF	SS	MS	F	P
Energia + Água (S)	1	5287171	5287174	33,03	0,000
Erro	88	14085944	160068		
Adubação (A)	2	2281188	1140594	5,81	0,004
Erro	87	17091930	196459		
Energia*Água*Adubação (S x A)	5	8773846	1754769	13,91	0,000
Erro	84	10599271	126182		
Total	89	19373118			

Galbiatti et al. (2011) no estudo do feijoeiro sob o uso de biofertilizante e adubação mineral observaram que houve diferença estatística entre os valores médios estudados apenas para a produtividade, sendo que o melhor desempenho ocorreu com as plantas que receberam a dose completa recomendada.

Por meio do teste de média da variável produtividade na Tabela 30, verificou-se que os sistemas irrigados com água residuária (S2) a produtividade média foi 1.468,8 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto nos sistemas irrigados com água potável (S1) o valor dessa componente foi 984,1 kg ha<sup>-1</sup>. Logo, é perceptível o aporte significativo de nutriente a cultura, por meio do efluente doméstico tratado, além disso, o processo de disponibilização via água constituindo uma fertirrigação, a absorção dos nutrientes é mais eficiente em relação ao sistema convencional de adubação.

Deon et al. (2010) destacaram que o incremento linear da produtividade em função do aumento das lâminas de irrigação se deve sobremaneira aos teores de nitrogênio presentes no efluente doméstico tratado.

Segundo Nascimento e Fideles Filho (2015), a irrigação com o efluente tratado proporcionou maior produtividade do algodão em caroço, em relação aos demais tratamentos, evidenciando o seu uso na agricultura.

Bezerra et al. (2014) no cultivo do Girassol irrigado com esgoto doméstico tratado e diferentes doses de nitrogênio observaram aumento significativo na produtividade das plantas que foram irrigadas com efluente doméstico tratado.

**Tabela 30** - Teste de médias da variável produtividade no estudo com feijão-caupi em Tianguá - CE

<b>Tratamentos</b>	<b>Número de Amostras</b>	<b>Médias</b>	<b>Desvio Padrão</b>
S2	45	1468,8 a	425,8
S1	45	984,1 b	372,6
A1	30	1419,3 a	421,4
A2	30	1230,7 a b	450,8
A0	30	1029,4 b	456,7
S2A2	15	1521,4 a	431,1
S2A1	15	1502,1 a	518,1
S2A0	15	1383,1 a	321,8
S1A1	15	1336,5 a	291,0
S1A2	15	940,0 b	232,5
S1A0	15	675,8 b	246,0

\*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pela diferença mínima significativa (D.M.S.) do teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

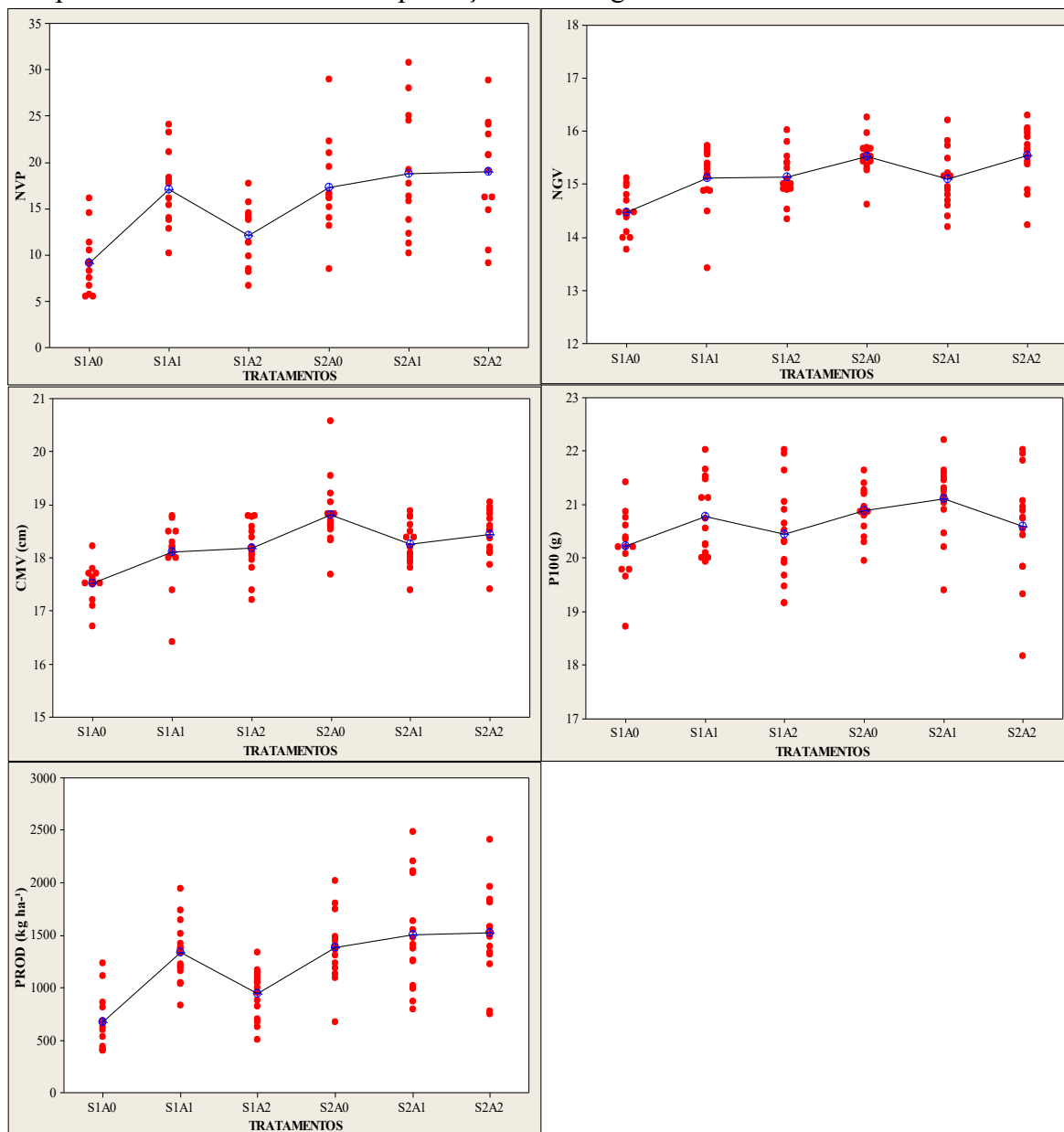
Para o fator adubação não teve diferença significativa entre mineral e orgânica, porém a primeira teve em relação ao tratamento testemunha (A0) e esta não apresentou divergência em comparação a adubação orgânica. Na interação observou-se que os sistemas renováveis e o sistema convencional com adubação mineral (S1A1) não apresentaram diferença estatística, porém mostraram-se diferentes estatisticamente dos sistemas convencionais com adubação orgânica (S1A2) e sem adubação (S1A0).

Os valores dos componentes de produção do feijão-caupi em função de diferentes tipos energia, água e adubação são observados na Figura 15. Os tratamentos que foram irrigados com água residuária todos os parâmetros avaliados NVP, NGV, CMV, P100 e produtividade apresentaram melhores resultados em relação aos sistemas convencionais de produção, evidenciando que aporte o nutricional proveniente do efluente tratado proporcionou uma resposta significativa nas variáveis analisadas, além da própria forma de aplicação via água de irrigação ter proporcionado uma melhor absorção de nutrientes.

Freitas et al. (2018) evidenciaram que a utilização da água residuária possui influência positiva nas variáveis de produção do feijão-caupi e que o uso do esgoto doméstico tratado reduziu a necessidade de adubação química no cultivo do feijão-

caupi, sendo que os tratamentos com aplicação de menores doses de NPK juntamente com a água de esgoto obtiveram um maior potencial produtivo.

**Figura 15** - Comportamento do número de vagens por planta, número de grãos por vagem, comprimento médio da vagem, peso de 100 grãos e produtividade do feijão-caupi nos diferentes sistemas de produção em Tianguá - CE



Fonte: Elaborado pelo autor.

Santos et al. (2006) demonstraram que o esgoto doméstico tratado proporcionou rendimentos ao quiabo semelhantes aos obtidos com água potável e fertilizantes minerais.

Dentre os sistemas renováveis de produção, o tratamento com adubação orgânica (S2A2) apresentou melhor comportamento para o NVP, NGV e PROD em relação aos tratamentos sem adubação (S2A0) e com adubação mineral (S2A1). Esse

comportamento é atribuído à característica de liberação de nutriente da fonte de adubação, a taxa de mineralização do adubo orgânico no solo pode ter favorecido a disponibilização contínua ao longo do tempo estando disponível por um maior período no solo para a planta.

Contudo, efeito contrario, pode ocorrer, caso a planta necessite de nutriente em determinado período que o processo de mineralização não disponibilize a quantidade requerida pela cultura como observado no sistema convencional com adubação orgânica (S1A2), particularmente nas variáveis mais sensíveis a deficiência nutricional como o número de vagem por planta e por consequência a produtividade.

Já o processo de percolação e volatilização pode ter afetado a pronta disponibilização do nutriente proveniente da adubação mineral as plantas contribuindo para os menores valores nos sistemas renovável (S2A1) e convencional (S1A1) em relação ao sistema renovável com adubação orgânica (S2A2).

Souza et al. (2001) avaliaram o desempenho da cultura do arroz irrigada com efluente de esgoto sanitário provenientes de lagoa de estabilização, tomando como referencial comparativo a mesma cultura irrigada com água de abastecimento em solos fertilizados com adubos minerais e sem adubo mineral. A análise dos dados demonstraram que a produtividade do arroz irrigado com efluente foi superior à produtividade da mesma cultivar irrigada com água de abastecimento em solo com adubação mineral.

Freitas et al. (2012) trabalhando com a cana-de-açúcar irrigada com duas fontes hídricas, água potável e efluente doméstico tratado observaram maiores variáveis vegetativas para a cana-de-açúcar irrigada com esgoto doméstico tratado. Sousa et al. (2010) também constataram produtividade superior para a mamona irrigada com esgoto doméstico tratado.

Já Sousa et al. (2005) ressaltaram que a quantidade de macro e micronutrientes contidos nos efluentes proveniente de wetland e leito de brita não vegetado é suficiente para a maioria das culturas regionais cultivadas na região semiárida do nordeste do Brasil.

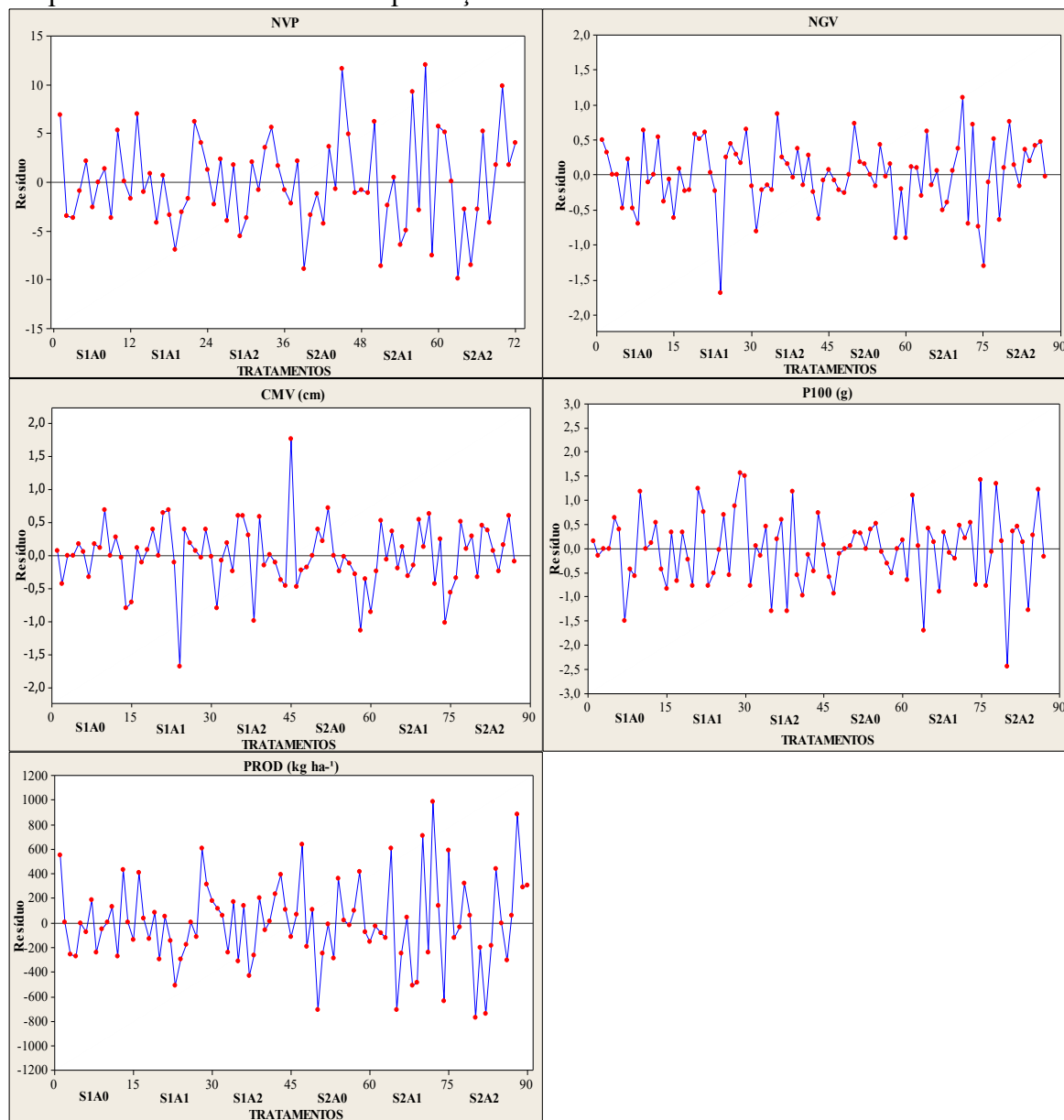
Dentre os sistemas convencionais, o tratamento com adubação mineral (S1A1) apresentou melhor resultado em todos os componentes de produção em relação ao tratamento sem adubação (S1A0) e em comparação ao tratamento com adubação orgânica (S1A2), foi inferior apenas na variável comprimento médio da vagem e número de grãos por vagem.

Dessa forma, a adubação orgânica não apresentou um efeito no sistema convencional tão expressivo quando no sistema renovável em função da característica de liberação dos nutrientes e como nesse sistema foi a única fonte de adubo para suprir a demanda da cultura, em casos de maior necessidade da planta o processo de disponibilização pode não ter assegurado a real necessidade da cultura e isso afetou a maioria dos parâmetros de produção.

É possível que a inferioridade apresentada pela adubação com o composto orgânico, na maioria das variáveis no sistema convencional, possa estar associada à relação C/N, que era 15:1, o que pode ter interferido na absorção/nutrição da planta. Villas Boas et al (2004), trabalhando com compostos orgânicos derivados de materiais com diferentes relação C/N, consideraram esta relação válida para explicar seus resultados. Assim, as relações C/N entre os compostos são diferentes principalmente, considerando casca de eucalipto e serragem de madeira em relação à palhada de feijão. Na palhada de feijão com menor relação C/N (10/1), a liberação de nutrientes é mais rápida em relação aos outros dois compostos.

Pela análise dos resíduos nos parâmetros de produção (Figura 16) observou-se que os dados dos componentes de produção em função dos tratamentos apresentaram uma distribuição normal padronizada e aleatória, logo há independência dos erros, em que os resíduos aparecem distribuídos aleatoriamente próximos da reta, com dispersão constante indicando que a análise de regressão é válida para representa o modelo de distribuição dos dados.

**Figura 16** - Análise de resíduos do número de vagens por planta, número de grãos por vagem, comprimento médio da vagem, peso de 100 sementes e produtividade do feijão-caupi nos diferentes sistemas de produção



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.2 Produtividade da água

A utilização eficiente da água é analisada na relação entre a produtividade da cultura em resposta ao volume de água aplicada no cultivo. Os parâmetros da análise descritiva da produtividade da água são apresentados na Tabela 31. Observou-se que os tratamentos irrigados com água residuária apresentaram melhor desempenho na relação do rendimento da cultura em função do volume de água aplicada. O sistema renovável com adubação orgânica (S2A2) apresentou melhor rendimento da água  $0,422 \text{ kg m}^{-3}$ ,

enquanto o sistema convencional sem adubação (S1A0) demonstrou menor eficiência 0,188 kg m<sup>-3</sup> em função dos maiores valores de produtividade nos sistemas renováveis.

**Tabela 31** - Estatística descritiva dos dados de produtividade da água no estudo do feijoeiro irrigado no município de Tianguá - CE

Parâmetros Estatísticos	TRATAMENTOS					
	S1A0	S1A1	S1A2	S2A0	S2A1	S2A2
Número de Amostras	15	15	15	15	15	15
Média (kg m <sup>-3</sup> )	0,189	0,371	0,261	0,384	0,417	0,422
Desvio Padrão (kg m <sup>-3</sup> )	0,068	0,081	0,065	0,089	0,144	0,119
Variância	0,004	0,006	0,004	0,008	0,020	0,014
CV (%)	36,41	21,77	24,73	23,27	34,49	28,34
Mínimo (kg ha <sup>-1</sup> )	0,111	0,230	0,141	0,187	0,220	0,208
Máximo (kg ha <sup>-1</sup> )	0,341	0,540	0,370	0,560	0,691	0,668
Assimetria	1,02	0,44	-0,36	-0,07	0,51	-0,05
Curtose	0,72	0,15	-0,65	1,11	-0,72	0,54

Quando comparamos o sistema renovável sem adubação (S2A0) e o sistema convencional com adubação mineral (S1A1) pode-se observar que apenas com água residuária o rendimento da cultura pela quantidade de água utilizada foi maior em relação ao sistema convencional de produção. Logo, nota-se que a quantidade de nutriente presente na água de réuso supriu totalmente a demanda nutricional da cultura, o que permite inferir que a água residuária pode suprir completamente ou parcialmente a necessidade nutricional da cultura.

Análise de variância no que se refere à interação dos fatores (energia, água e adubação) da produtividade da água mostra que houve diferença significativa ao nível de 5%, em que a interação desses fatores contribuiu de forma significativa no comportamento dessa variável (Tabela 32).

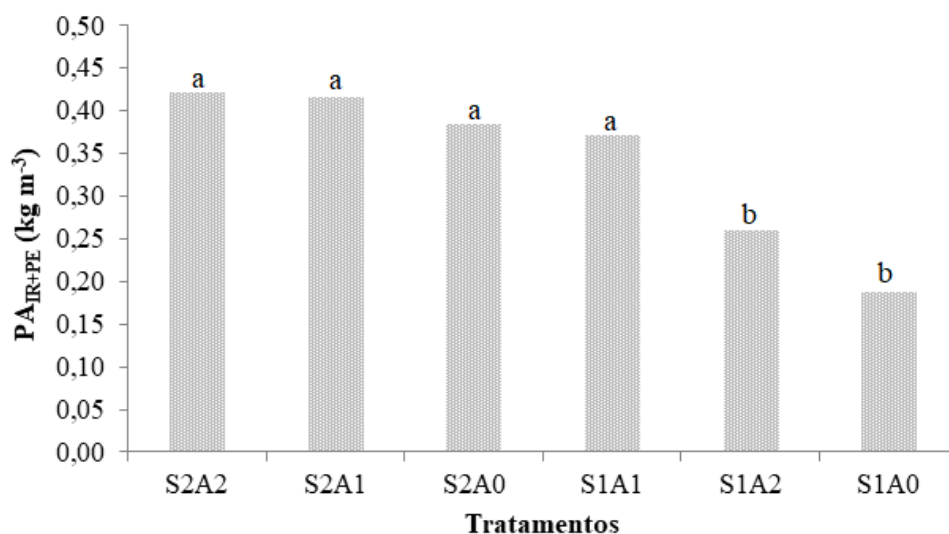
**Tabela 32** - Análise de variância da produtividade da água no cultivo do feijão-caupi irrigado no município de Tianguá - CE

FV	DF	SS	MS	F	P
Energia*Água*Adubação (S x A)	5	0,67624	0,13525	13,91	0,000
Erro	84	0,81694	0,00973		
Total	89	1,49318			

Pelo teste de média da produtividade da água na Figura 17 observou-se que os sistemas renováveis e o sistema convencional com adubação mineral (S1A1) não

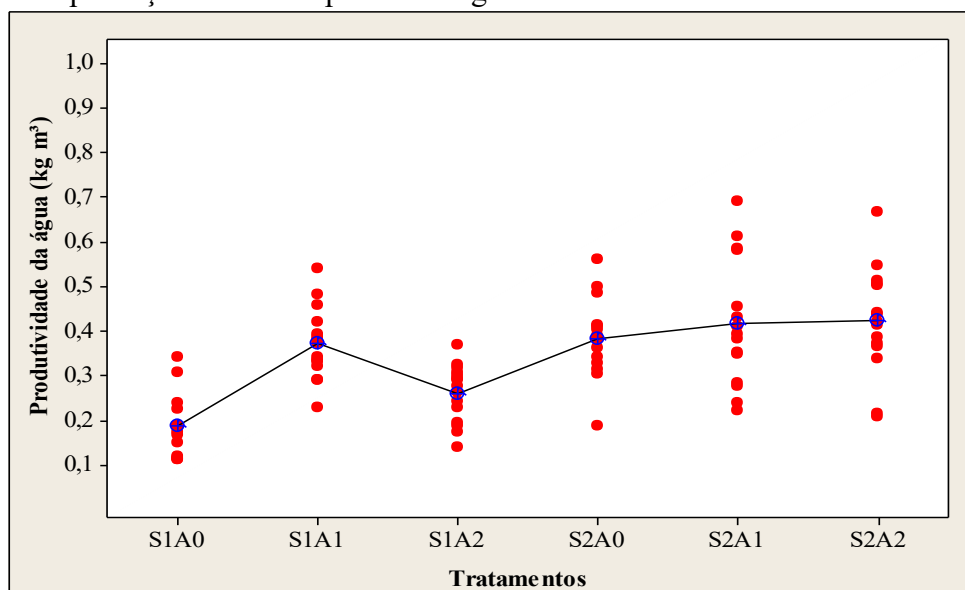
apresentaram diferença estatística, porém diferiram significativamente em relação aos sistemas convencionais com adubação orgânica (S1A2) e sem adubação (S1A0).

**Figura 17** - Teste de média dos dados de produtividade água dos diferentes tratamentos



Pela distribuição dos valores individuais da  $PA_{IR+PE}$  em cada tratamento (Figura 18) constatou-se melhor produtividade da água nos sistemas renováveis de produção (S2A0, S2A1 e S2A2) em função de uma magnitude maior nos valores da produtividade nesses sistemas. Evidentemente o processo de disponibilização de nutriente a planta via água de irrigação (efluente doméstico tratado) influenciou o número de vagens por planta, conseqüentemente a rendimento da cultura e por último a produtividade da água.

**Figura 18** - Produtividade da água na cultura do feijoeiro irrigado sob diferentes sistemas de produção no município de Tianguá - CE

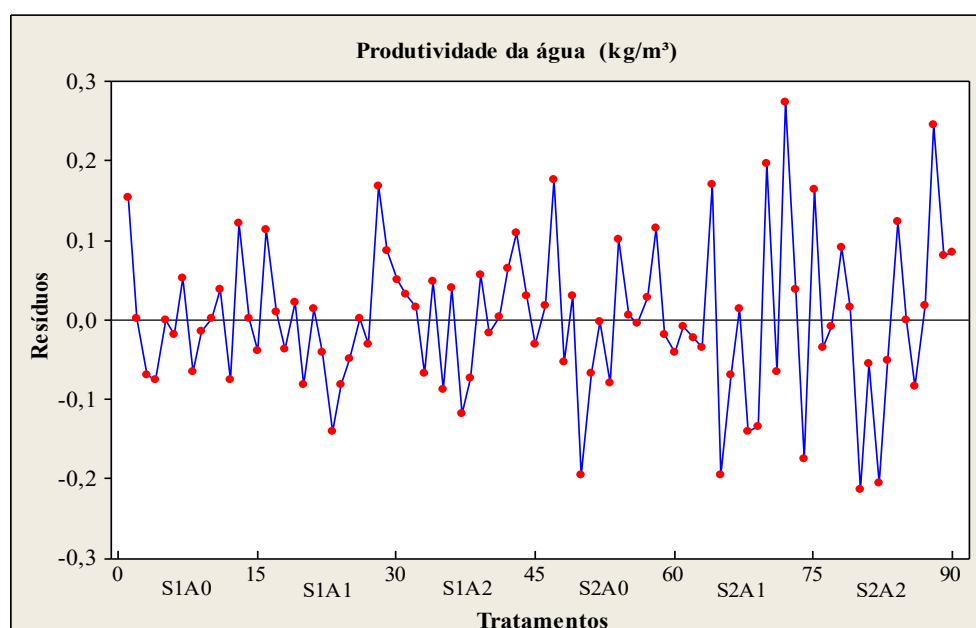


Fonte: Elaborado pelo autor.

Para Guoju et al. (2016), melhorar a eficiência do uso da água é um fator chave para aumentar continuamente a produtividade das culturas em regiões áridas e semiáridas.

A análise de resíduos dos dados de produtividade da água é apresentada na Figura 19. Verificou-se uma distribuição aleatória dos dados em torno da reta, sustentando a independência dos erros, uma vez que os mesmos possuem uma distribuição normal.

**Figura 19** - Análise de resíduos dos dados de eficiência de uso da água nos diferentes tratamentos

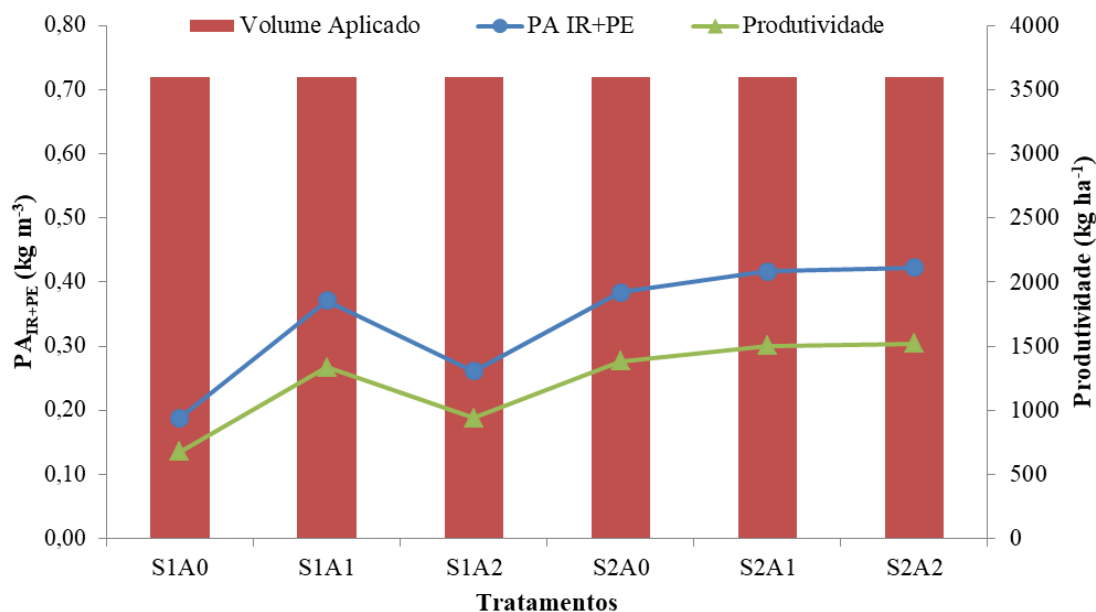


Fonte: Elaborado pelo autor.

A relação do rendimento comercial da cultura em resposta ao volume de água aplicado, ou seja, a produtividade da água é observada na Figura 20. O volume de água aplicada foi igual em todos os sistemas de produção, sendo que nos sistemas renováveis foi utilizado água residuária (efluente doméstico tratado) e nos sistemas convencionais foi utilizado água potável. Percebeu-se que com a mesma lâmina de água, diferindo apenas o tipo de água, os sistemas renováveis tiveram uma produtividade da água expressiva em relação aos sistemas convencionais, principalmente em comparação aos tratamentos S1A0 e S1A2.

Em resposta a elevada produtividade da cultura, os sistemas renováveis apontaram maiores eficiências de uso do recurso hídrico nessa ordem  $S2A2 > S2A1 > S2A0$  seguidos pelo sistema convencional com adubação mineral (S1A1).

**Figura 20** - Produtividade da água no feijão-caupi cultivado sob diferentes sistemas de produção no município de Tianguá, CE



Fonte: Elaborado pelo autor.

Além do fator produtividade, o efluente doméstico tratado possui elevada carga de nutrientes como o fósforo, o potássio e principalmente o nitrogênio, este último atua diretamente no desenvolvimento da planta aumentando a profundidade do sistema radicular, o que resulta em maior volume de solo explorado pela cultura, consequentemente maior eficiência de uso da água. Já o potássio atua no controle da perda de água pela planta no processo fotossintético melhorando a produtividade da água.

Conforme Dordas e Sioulas (2008) a adubação nitrogenada adequada aumenta a profundidade do sistema radicular, resultando em maior volume de solo utilizado, reduzindo os efeitos do déficit hídrico, estando diretamente relacionados ao uso eficiente da água pelas culturas.

Shahrokhnia e Sepaskhah (2016) observaram aumento nos componentes de produção e maior eficiência do uso da água nas culturas de cártamo com maior disponibilidade de nitrogênio.

O potássio mantém a capacidade fotossintética máxima da planta com a menor perda de água possível através do controle osmótico e abertura e fechamento dos estômatos (FARQUHAR e SHARKEY, 1982).

Com relação à qualidade sanitária dos grãos do feijão-caupi verificou-se valores de 3,6 NMP g<sup>-1</sup> para os coliformes fecais a 45°C e para a Salmonella ausência

de contaminação. Desse modo, verifica-se que os valores obtidos apresentam-se inferiores aos estabelecidos pela Normativa 12 de 2001 da ANVISA, em que os limites aceitáveis para a cultura do feijão são: para coliformes  $10 \text{ NMP g}^{-1}$  e para salmonella ausência em 25g. Assim sendo, é possível constatar que o uso do efluente doméstico tratado não afetou as características microbiológicas do feijão-caupi.

Faccioli et al. (2017) na análise das características agrônômicas e microbiológicas do feijão-caupi com aplicação de efluente doméstico tratado constataram valores de coliformes fecais a  $45^{\circ}\text{C}$  menores que  $3 \text{ NMP g}^{-1}$  e ausência de salmonellas.

Rego et al. (2005) na irrigação de melancia com efluente doméstico tratado, observaram, em todos os frutos testados, a ausência de salmonelas e baixos valores de coliformes fecais, independente dos sistemas de irrigação utilizado, atendendo, assim, os limites fixados pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 2001).

Emongor e Ramolemana (2004), constatou a ausência de Coliformes fecais, Salmonela sp., Shigela sp. e E. coli em todas as amostras analisadas de berinjela e tomate irrigado com águas residuárias tratadas.

### 3.3 Análise econômica

O custo total para implantação de 1,0 hectare de feijão-caupi correspondente a cada um dos seis sistemas de produção são apresentados separadamente em função dos diferentes insumos e serviços de entrada em cada modelo de produção. Para os custos de investimento considerou-se o valor monetário necessário para aquisição e instalação de um sistema de irrigação localizada por gotejamento capaz de atender a irrigação de um hectare de feijão, além de um sistema de bombeamento solar fotovoltaico nos sistemas renováveis. Também foram contabilizados todos os custos de produção fixos e variáveis necessários ao cultivo do feijão.

O detalhamento dos custos de produção no sistema convencional sem adubação (S1A0) é apresentado na Tabela 33. Observou-se que os serviços representaram maior contribuição nos custos totais de produção, aproximadamente 60% (mão-de-obra e energia) e 15,7% serviços relacionados à mecanização. A energia elétrica apresentou maior significância no aumento das despesas nesse sistema de produção.

**Tabela 33** - Custo de produção de 1,0 ha de feijão-caupi irrigado com água de abastecimento e sem adubação (S1A0) no município de Tianguá, CE

SERVIÇOS	Unidade	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$ ha <sup>-1</sup> )	Custo Prod. Part. (%)	Projeto Part. (%)
Limpeza da área	D/H	2	40,00	80,00	3,20	1,18
Marcação das linhas	D/H	1	40,00	40,00	1,60	0,59
Plantio manual	D/H	3	40,00	120,00	4,80	1,77
Capina manual	D/H	6	40,00	240,00	9,60	3,53
Colheita manual	D/H	12	40,00	480,00	19,20	7,06
Energia elétrica	kWh <sup>-1</sup>	1464,29	0,365	534,42	21,38	7,86
<b>Subtotal</b>				<b>1.494,42</b>	<b>59,78</b>	<b>21,98</b>
<b>SERVIÇO/MECANIZAÇÃO</b>						
Aração	H/M	3	77,20	231,60	9,26	3,41
Gradagem	H/M	1,5	77,20	115,80	4,63	1,70
Trilhagem semi-mecânica	sc	11,26	4,00	45,04	1,80	0,66
<b>Subtotal</b>				<b>392,44</b>	<b>15,70</b>	<b>5,77</b>
<b>INSUMOS</b>						
Sementes (10%) replantio	kg	20	2,50	50,00	2,00	0,74
Água de abastecimento	m <sup>3</sup>	3602	0,052	187,30	7,49	2,76
Formicida	kg	1	17,00	17,00	0,68	0,25
Sacos		15	1,00	15,00	0,60	0,22
<b>Subtotal</b>				<b>269,30</b>	<b>10,77</b>	<b>3,74</b>
<b>EQUIPAMENTOS</b>						
Sistema de irrigação		1	4.298,10	4298,10	-	63,22
Depreciação sist. irrigação		1	343,85	343,85	13,75	5,06
<b>Subtotal</b>				<b>4.298,10</b>	<b>13,75</b>	<b>68,28</b>
<b>Custo total de produção</b>				<b>2.500,02</b>	<b>100</b>	<b>-</b>
<b>Custo total do projeto</b>				<b>6.798,12</b>	<b>-</b>	<b>100</b>

Fonte: Elaborado pelo autor.

No sistema de produção convencional com adubação mineral (S1A1) novamente os serviços apresentaram maior influência nos custos de produção, aproximadamente 70%, sendo que somente a energia elétrica representou 18%. Os serviços de mecanização (aração, gradagem e trilhagem) 15%, enquanto os serviços com mão-de-obra foi em torno de 40% (Tabela 34). Com relação aos insumos, os fertilizantes químicos e o recurso hídrico apresentaram contribuições semelhantes.

Assunção et al. (2014) observaram na análise dos custos de produção de melancia em Goiatuba e Morrinhos no Sul de Goiás que os gastos com insumos corresponderam 48,61% dos custos operacionais totais da atividade de produção e que os custos com adubo químico foi o mais oneroso, correspondendo a 20,59% dos custos dos insumos.

**Tabela 34** - Custo de produção de 1,0 ha de feijão-caupi irrigado com água abastecimento e com adubação mineral (S1A1) no município de Tianguá, CE

SERVIÇOS	Unidade	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$ ha <sup>-1</sup> )	Custo Prod. Part. (%)	Projeto Part.(%)
Limpeza da área	D/H	2	40,00	80,00	2,74	1,11
Marcação das linhas	D/H	1	40,00	40,00	1,37	0,55
Adubação de fundação	D/H	2	40,00	80,00	2,74	1,11
Plantio manual	D/H	3	40,00	120,00	4,11	1,66
Capina manual	D/H	6	40,00	240,00	8,23	3,33
Adubação de cobertura	D/H	2	40,00	80,00	2,74	1,11
Colheita manual	D/H	12	40,00	480,00	16,46	6,65
Energia	kWh <sup>-1</sup>	1464,29	0,365	534,42	18,33	7,41
<b>Subtotal</b>				<b>1.654,42</b>	<b>56,73</b>	<b>22,93</b>
<b>SERVIÇO/MECANIZAÇÃO</b>						
Aração	H/M	3	77,20	231,60	7,94	3,21
Gradagem	H/M	1,5	77,20	115,80	3,97	1,61
Trilhagem semi-mecânica	sc	22,28	4,00	89,12	3,06	1,24
<b>Subtotal</b>				<b>436,52</b>	<b>14,97</b>	<b>6,05</b>
<b>INSUMOS</b>						
Sementes (10%) replantio	kg	20	2,5	50,00	1,71	0,69
Uréia	kg	20	2,32	46,40	1,59	0,64
Superfosfato simples	kg	80	1,68	134,40	4,61	1,86
Cloreto de potássio	kg	20	2,32	46,40	1,59	0,64
Formicida	kg	1	17	17,00	0,58	0,24
Água de abastecimento	m <sup>3</sup>	3602	0,052	187,30	6,42	2,60
<b>Subtotal</b>				<b>481,50</b>	<b>16,51</b>	<b>6,67</b>
<b>EQUIPAMENTOS</b>						
Sistema de irrigação		1	4298,10	4298,10	-	59,58
Depreciação do sist. irrigação		1	343,85	343,85	11,79	4,77
<b>Subtotal</b>				<b>4.298,10</b>	<b>11,79</b>	<b>64,34</b>
<b>Custo total de produção</b>				<b>2.916,30</b>	<b>100,00</b>	-
<b>Custo total do projeto</b>				<b>7.214,40</b>	-	<b>100,00</b>

Lazzarotto e Fioravanço (2011), em estudo de viabilidade de cultivo de morango semi-hidropônico no Rio Grande do Sul, verificaram também que os gastos com mão-de-obra representaram um percentual expressivo sobre os custos totais, correspondendo a 48,3% dos custos.

As despesas anuais no sistema de produção convencional com adubação orgânica (S1A2) foram superiores a todos os sistemas de produção convencionais e renováveis em função do grande volume do composto orgânico necessário, o qual afetou significativamente o custo final de produção nesse sistema. Desse modo, os insumos apresentaram maior participação nos custos totais de produção (62,34%), sendo que apenas a adubação orgânica representou 58% desse total. Os serviços (mão-

de-obra e energia) foram equivalentes a 25%, enquanto a mecanização foi em torno de 7% (Tabela 35).

Feitosa et al. (2018) na análise de custos e rentabilidade na produção de mamão irrigado no semiárido verificaram que os insumos representaram 66,80% do custo total de produção, sendo que os adubos apresentaram maior peso no custo efetivo seguido da energia utilizada na irrigação.

**Tabela 35** - Custo de produção de 1,0 ha de feijão-caupi irrigado com água abastecimento e com adubação orgânica (S1A2) no município de Tianguá, CE

SERVIÇOS	Unidade	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$ ha <sup>-1</sup> )	Custo Prod. Part. (%)	Projeto Part. (%)
Limpeza da área	D/H	2	40,00	80,00	1,29	0,76
Marcação das linhas	D/H	1	40,00	40,00	0,65	0,38
Adubação de fundação	D/H	2	40,00	80,00	1,29	0,76
Plantio manual	D/H	3	40,00	120,00	1,94	1,14
Capina manual	D/H	6	40,00	240,00	3,88	2,29
Colheita manual	D/H	12	40,00	480,00	7,76	4,58
Energia	kWh <sup>-1</sup>	1464,29	0,365	534,42	8,64	5,10
<b>Subtotal</b>				<b>1.574,42</b>	<b>25,47</b>	<b>15,02</b>
<b>SERVIÇO/MECANIZAÇÃO</b>						
Aração	H/M	3	77,20	231,60	3,75	2,21
Gradagem	H/M	1,5	77,20	115,80	1,87	1,10
Trilhagem semi-mecânica	sc	15,67	4,00	62,68	1,01	0,60
<b>Subtotal</b>				<b>410,08</b>	<b>6,63</b>	<b>3,91</b>
<b>INSUMOS</b>						
Sementes (10%) replantio	kg	20	2,50	50,00	0,81	0,48
Composto orgânico	ton	20	180,00	3600,00	58,23	34,35
Formicida	kg	1	17,00	17,00	0,27	0,16
Água de abastecimento	m <sup>3</sup>	3602	0,052	187,30	3,03	1,79
<b>Subtotal</b>				<b>3.854,30</b>	<b>62,34</b>	<b>36,78</b>
<b>EQUIPAMENTOS</b>						
Sistema de irrigação		1	4298,10	4298,1	-	41,01
Depreciação do sist. irrigação		1	343,85	343,85	5,56	3,28
<b>Subtotal</b>				<b>4.298,10</b>	<b>5,56</b>	<b>44,29</b>
<b>Custo total de produção</b>				<b>6.182,66</b>	<b>100,00</b>	<b>-</b>
<b>Custo total do projeto</b>				<b>10.480,76</b>	<b>-</b>	<b>100,00</b>

O custo total de produção no sistema renovável sem adubação (S2A0) foi 2.314,11 reais por ciclo da cultura. A mão-de-obra apresentou maior participação nesse sistema 41,48%, sendo que a colheita manual foi o componente de maior contribuição 20,74% (Tabela 36). Dentre os insumos, o efluente doméstico tratado utilizado na irrigação da cultura foi em torno de 150 reais por hectare, valor este inferior ao custo

com água de abastecimento nos sistemas convencionais. Outro importante componente nas despesas anuais foram as depreciações tanto do sistema de irrigação quanto do sistema solar fotovoltaico que corresponderam a 30%.

**Tabela 36** - Custo de produção de 1,0 ha de feijão-caupi irrigado com efluente doméstico tratado e sem adubação (S2A0) no município de Tianguá, CE

SERVIÇOS	Unidade	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$ ha <sup>-1</sup> )	Custo Prod. Part. (%)	Projeto Part. (%)
Limpeza da área	D/H	2	40,00	80,00	3,46	0,59
Marcação das linhas	D/H	1	40,00	40,00	1,73	0,29
Plantio manual	D/H	3	40,00	120,00	5,19	0,88
Capina manual	D/H	6	40,00	240,00	10,37	1,77
Colheita manual	D/H	12	40,00	480,00	20,74	3,54
<b>Subtotal</b>				<b>960,00</b>	<b>41,48</b>	<b>7,07</b>
<b>SERVIÇO/MECANIZAÇÃO</b>						
Aração	H/M	3	77,20	231,60	10,01	1,71
Gradagem	H/M	1,5	77,20	115,80	5,00	0,85
Trilhagem semi-mecânica	sc	23	4,00	92,00	3,98	0,68
<b>Subtotal</b>				<b>439,40</b>	<b>18,99</b>	<b>3,24</b>
<b>INSUMOS</b>						
Sementes (10%) replantio	kg	20	2,50	50,00	2,16	0,37
Formicida	kg	1	17,00	17,00	0,73	0,13
Efluente doméstico tratado	m <sup>3</sup>	3602	0,042	149,84	6,48	1,10
<b>Subtotal</b>				<b>216,84</b>	<b>9,37</b>	<b>1,60</b>
<b>EQUIPAMENTOS</b>						
Sistema de irrigação		1	3.645,60	3645,6	-	26,85
Depreciação sist. irrigação		1	291,65	291,65	12,60	2,15
Sistema solar fotovoltaico		1	7.616,70	7616,7	-	56,10
Depreciação sist. fotovoltaico		1	406,22	406,22	17,55	2,99
<b>Subtotal</b>				<b>11.262,30</b>	<b>30,16</b>	<b>88,10</b>
<b>Custo total de produção</b>				<b>2.314,11</b>	<b>100,00</b>	-
<b>Custo total do projeto</b>				<b>13.576,41</b>	-	<b>100,00</b>

Já os custos no cultivo do feijão-caupi no sistema renovável com adubação mineral (S2A1) foi R\$ 2.604, 27 ha<sup>-1</sup> por ciclo da cultura, sendo superior ao sistema renovável sem adubação (S2A0). Esse incremento foi em função dos gastos com fertilizantes químicos, além da mão-de-obra para aplicação. A colheita manual também apresentou maior participação 18,43%, enquanto os serviços com mecanização foram 17% (Tabela 37). A despesa anual com depreciação do sistema irrigação e do sistema solar fotovoltaico foram 11,2% e 15,6% respectivamente, totalizando, aproximadamente R\$ 700,00 ao ano.

**Tabela 37** - Custo de produção de 1,0 ha de feijão-caupi irrigado com efluente doméstico tratado e com adubação mineral (S2A1) no município de Tianguá, CE

SERVIÇOS	Unidade	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$ ha <sup>-1</sup> )	Custo Prod. Part. (%)	Projeto Part.(%)
Limpeza da área	D/H	2	40,00	80,00	3,07	0,58
Marcação das linhas	D/H	1	40,00	40,00	1,54	0,29
Adubação de fundação	D/H	2	40,00	80,00	3,07	0,58
Plantio manual	D/H	3	40,00	120,00	4,61	0,87
Capina manual	D/H	6	40,00	240,00	9,22	1,73
Adubação de cobertura	D/H	2	40,00	80,00	3,07	0,58
Colheita manual	D/H	12	40,00	480,00	18,43	3,46
<b>Subtotal</b>				<b>1.120,00</b>	<b>43,01</b>	<b>8,08</b>
<b>SERVIÇO/MECANIZAÇÃO</b>						
Aração	H/M	3	77,20	231,60	8,89	1,67
Gradagem	H/M	1,5	77,20	115,80	4,45	0,84
Trilhagem semi-mecânica	sc	25	4,00	100,00	3,84	0,72
<b>Subtotal</b>				<b>447,40</b>	<b>17,18</b>	<b>3,23</b>
<b>INSUMOS</b>						
Sementes (10%) replantio	kg	20	2,50	50,00	1,92	0,36
Uréia	kg	6	2,32	13,92	0,53	0,10
Superfosfato simples	kg	52	1,68	87,36	3,35	0,63
Cloreto de potássio	kg	9	2,32	20,88	0,80	0,15
Formicida	kg	1	17,00	17,00	0,65	0,12
Efluente doméstico tratado	m <sup>3</sup>	3602	0,042	149,84	5,75	1,08
<b>Subtotal</b>				<b>339,00</b>	<b>13,02</b>	<b>2,44</b>
<b>EQUIPAMENTOS</b>						
Sistema de irrigação		1	3.645,60	3645,6	-	26,29
Depreciação sist. irrigação		1	291,65	291,65	11,20	2,10
Sistema solar fotovoltaico		1	7.616,70	7616,7	-	54,93
Depreciação sist. fotovoltaico		1	406,22	406,22	15,60	2,93
<b>Subtotal</b>				<b>11.262,30</b>	<b>26,80</b>	<b>86,25</b>
<b>Custo total de produção</b>				<b>2.604,27</b>	<b>100,00</b>	<b>-</b>
<b>Custo total do projeto</b>				<b>13.866,57</b>	<b>-</b>	<b>100,00</b>

O detalhamento das despesas no cultivo do feijão-caupi no sistema renovável com adubação orgânica (S2A2) é mostrado na Tabela 38. Percebeu-se que os gastos com serviços de mão-de-obra foram em torno de 30%, enquanto a mecanização 13%. Para os insumos a maior participação foi do componente adubação orgânica que representou 31% nos custos totais de produção. A depreciação dos equipamentos foi aproximadamente 20%.

Melo et al. (2009) analisaram o custo e a rentabilidade na produção de batata doce nos perímetros irrigados de Itabaiana em Sergipe e verificaram que os

insumos são os grandes responsáveis pela maior parcela de desembolso efetivo, com 60,74% dos custos operacionais efetivo.

**Tabela 38** - Custo de produção de 1,0 ha de feijão-caupi irrigado com efluente doméstico tratado e com adubação orgânica (S2A2) no município de Tianguá, CE

SERVIÇOS	Unidade	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$ ha <sup>-1</sup> )	Custo Prod. Part.(%)	Projeto Part.(%)
Limpeza da área	D/H	2	40,00	80,00	2,30	0,54
Marcação das linhas	D/H	1	40,00	40,00	1,15	0,27
Adubação de fundação	D/H	2	40,00	80,00	2,30	0,54
Plantio manual	D/H	3	40,00	120,00	3,44	0,81
Capina manual	D/H	6	40,00	240,00	6,89	1,63
Colheita manual	D/H	12	40,00	480,00	13,78	3,26
<b>Subtotal</b>				<b>1.040,00</b>	<b>29,85</b>	<b>7,05</b>
<b>SERVIÇO/MECANIZAÇÃO</b>						
Aração	H/M	3	77,20	231,60	6,65	1,57
Gradagem	H/M	1,5	77,20	115,80	3,32	0,79
Trilhagem semi-mecânica	sc	25,35	4,00	101,40	2,91	0,69
<b>Subtotal</b>				<b>448,80</b>	<b>12,88</b>	<b>3,04</b>
<b>INSUMOS</b>						
Sementes (10%) replantio	kg	20	2,50	50,00	1,44	0,34
Composto orgânico	ton	6	180,00	1080,00	31,00	7,32
Formicida	kg	1	17,00	17,00	0,49	0,12
Efluente doméstico tratado	m <sup>3</sup>	3602	0,042	149,84	4,30	1,02
<b>Subtotal</b>				<b>1.296,84</b>	<b>37,23</b>	<b>8,79</b>
<b>EQUIPAMENTOS</b>						
Sistema de irrigação		1	3.645,60	3645,6	-	24,72
Depreciação do sist. irrigação		1	291,65	291,65	8,37	1,98
Sistema solar fotovoltaico		1	7.616,70	7616,7	-	51,65
Depreciação sist. fotovoltaico		1	406,22	406,22	11,66	2,75
<b>Subtotal</b>				<b>11.262,30</b>	<b>20,03</b>	<b>81,11</b>
<b>Custo total de produção</b>				<b>3.483,51</b>	<b>100,00</b>	-
<b>Custo total do projeto</b>				<b>14.745,81</b>	-	<b>100,00</b>

Nos sistemas de produção renováveis (S2A0, S2A1 e S2A2) o custo do projeto para 1,0 ha foram superiores aos sistemas convencionais (S1A0, S1A1 e S1A2) devido ao investimento no sistema de bombeamento solar fotovoltaico. Os modelos convencionais foram na faixa de 7 a 10 mil reais, enquanto os modelos renováveis entre 13 e 15 mil reais por hectare.

Vale ressaltar que mesmo tendo um custo de capital maior os sistemas renováveis (S2A0, S2A1 e S2A2) que utilizaram efluente doméstico tratado e energia solar fotovoltaico apresentaram em média economia de 16% nos custos com energia

elétrica e R\$ 0,01 centavos por m<sup>3</sup> de água, o que afetou positivamente os indicadores de rentabilidade econômica desses sistemas.

Segundo Winpenny et al. (2010), quando considerados os custos de irrigação com outro tipo de água ou tratamento convencional de esgotos, esse sistema apresenta menores valores, o que significa que o custo do metro cúbico do efluente tratado deve ser menor que o custo da água para o irrigante.

O custo de produção nos diferentes sistemas constituiu-se em ferramenta de controle e gerenciamento das atividades produtivas inerentes a cada tratamento e importante na geração de informações para subsidiar as tomadas de decisões pelos produtores rurais, além de formulação de políticas públicas no meio rural.

Com base nos custos totais de cultivo, na produção da cultura e no preço do quilograma do feijão-caupi foram montados os fluxos de caixa para cada um dos sistemas de produção. A análise das estimativas de fluxo monetário foi realizada para um horizonte de 10 anos correspondendo à vida útil do sistema de irrigação e adotou-se o cultivo de dois ciclos da cultura por ano.

O fluxo de caixa dos sistemas convencionais de produção é mostrado na Tabela 39. Percebe-se que no primeiro ano o custo de produção difere dos demais custos por corresponder ao valor de investimento do projeto. De maneira semelhante à receita líquida do primeiro ano nos três sistemas convencionais também difere dos demais devido ao desconto da receita bruta ser em função do valor de investimento.

Verificou-se que o sistema convencional sem adubação (S1A0) no horizonte de análise mostrou-se inviável uma vez que as receitas líquidas não sobrepõem os custos de produção, tampouco o valor de investimento. Da mesma forma, o sistema convencional com adubação orgânica (S1A2), pelo fluxo de caixa percebeu-se que esse sistema foi inviável, pois a receita bruta não paga os custos, muito menos o capital investido.

Já o sistema convencional com adubação mineral (S1A1) apresentou comportamento diferente dos demais sistemas convencionais, uma vez que a receita bruta paga os custos de produção obtendo uma receita líquida positiva de R\$ 1079,84 em cada ciclo da cultura no horizonte de análise. Logo, esse sistema de produção mostrou-se viável com um período *payback* de 2 anos correspondendo a quatro ciclos de cultivo.

**Tabela 39** - Fluxo de caixa dos sistemas de produção convencionais sem adubação (S1A0) com adubação mineral (S1A1) e com orgânica (S1A2)

Ano/ciclo	S1A0 (R\$)			S1A1 (R\$)			S1A2 (R\$)			
	C. Prod.	R. Bruta	R. Líq.	C. Prod.	R. Bruta	R. Líq.	C. Prod.	R. Bruta	R. Líq.	
1°	1	6798,12	2020,60	-4777,52	7214,40	3996,14	-3218,26	10480,76	2810,60	-7670,16
	2	2500,02	2020,60	-479,42	2916,30	3996,14	1079,84	6182,66	2810,60	-3372,06
2°	1	2500,02	2020,60	-479,42	2916,30	3996,14	1079,84	6182,66	2810,60	-3372,06
	2	2500,02	2020,60	-479,42	2916,30	3996,14	1079,84	6182,66	2810,60	-3372,06
3°	1	2500,02	2020,60	-479,42	2916,30	3996,14	1079,84	6182,66	2810,60	-3372,06
	2	2500,02	2020,60	-479,42	2916,30	3996,14	1079,84	6182,66	2810,60	-3372,06
4°	1	2500,02	2020,60	-479,42	2916,30	3996,14	1079,84	6182,66	2810,60	-3372,06
	2	2500,02	2020,60	-479,42	2916,30	3996,14	1079,84	6182,66	2810,60	-3372,06
5°	1	2500,02	2020,60	-479,42	2916,30	3996,14	1079,84	6182,66	2810,60	-3372,06
	2	2500,02	2020,60	-479,42	2916,30	3996,14	1079,84	6182,66	2810,60	-3372,06
6°	1	2500,02	2020,60	-479,42	2916,30	3996,14	1079,84	6182,66	2810,60	-3372,06
	2	2500,02	2020,60	-479,42	2916,30	3996,14	1079,84	6182,66	2810,60	-3372,06
7°	1	2500,02	2020,60	-479,42	2916,30	3996,14	1079,84	6182,66	2810,60	-3372,06
	2	2500,02	2020,60	-479,42	2916,30	3996,14	1079,84	6182,66	2810,60	-3372,06
8°	1	2500,02	2020,60	-479,42	2916,30	3996,14	1079,84	6182,66	2810,60	-3372,06
	2	2500,02	2020,60	-479,42	2916,30	3996,14	1079,84	6182,66	2810,60	-3372,06
9°	1	2500,02	2020,60	-479,42	2916,30	3996,14	1079,84	6182,66	2810,60	-3372,06
	2	2500,02	2020,60	-479,42	2916,30	3996,14	1079,84	6182,66	2810,60	-3372,06
10°	1	2500,02	2020,60	-479,42	2916,30	3996,14	1079,84	6182,66	2810,60	-3372,06
	2	2500,02	2020,60	-479,42	2916,30	3996,14	1079,84	6182,66	2810,60	-3372,06
<b>Total</b>	<b>54298,5</b>	<b>40412,0</b>	<b>-13886,5</b>	<b>62624,1</b>	<b>79922,8</b>	<b>17298,7</b>	<b>127951,3</b>	<b>56212,0</b>	<b>-71739,3</b>	

Para Arêdes et al. (2007), a correta construção do fluxo de caixa é de suma importância, uma vez que os indicadores da rentabilidade e o risco do projeto são derivados dele, ou seja, das entradas e saídas monetárias ocorridos durante o período de vigência do projeto.

No fluxo de caixa dos sistemas renováveis de produção, os custos constantes no primeiro ano correspondem ao valor do capital investido no empreendimento agrícola semelhante aos fluxos monetários nos sistemas convencionais.

Pela estimativa de fluxo de caixa nos modelos de produção com efluente doméstico tratado e energia solar fotovoltaico (S2A0, S2A1 e S2A2) observou-se que todos apresentaram fluxo monetário positivo, a exceção do primeiro ano, uma vez que a receita bruta foi descontada do valor de projeto (Tabela 40).

**Tabela 40** - Fluxo de caixa dos sistemas de produção renováveis sem adubação (S2A0) com adubação mineral (S2A1) e com orgânica (S2A2)

Ano/ciclo	S2A0 (R\$)			S2A1 (R\$)			S2A2 (R\$)			
	C. Prod.	R. Bruta	R. Líq.	C. Prod.	R. Bruta	R. Líq.	C. Prod.	R. Bruta	R. Líq.	
1°	1	13576,41	4135,47	-9440,94	13.866,57	4490,98	-9375,59	14745,81	4549,29	-10196,52
	2	2314,11	4135,47	1821,36	2604,27	4490,98	1886,71	3483,51	4549,29	1065,78
2°	1	2314,11	4135,47	1821,36	2604,27	4490,98	1886,71	3483,51	4549,29	1065,78
	2	2314,11	4135,47	1821,36	2604,27	4490,98	1886,71	3483,51	4549,29	1065,78
3°	1	2314,11	4135,47	1821,36	2604,27	4490,98	1886,71	3483,51	4549,29	1065,78
	2	2314,11	4135,47	1821,36	2604,27	4490,98	1886,71	3483,51	4549,29	1065,78
4°	1	2314,11	4135,47	1821,36	2604,27	4490,98	1886,71	3483,51	4549,29	1065,78
	2	2314,11	4135,47	1821,36	2604,27	4490,98	1886,71	3483,51	4549,29	1065,78
5°	1	2314,11	4135,47	1821,36	2604,27	4490,98	1886,71	3483,51	4549,29	1065,78
	2	2314,11	4135,47	1821,36	2604,27	4490,98	1886,71	3483,51	4549,29	1065,78
6°	1	2314,11	4135,47	1821,36	2604,27	4490,98	1886,71	3483,51	4549,29	1065,78
	2	2314,11	4135,47	1821,36	2604,27	4490,98	1886,71	3483,51	4549,29	1065,78
7°	1	2314,11	4135,47	1821,36	2604,27	4490,98	1886,71	3483,51	4549,29	1065,78
	2	2314,11	4135,47	1821,36	2604,27	4490,98	1886,71	3483,51	4549,29	1065,78
8°	1	2314,11	4135,47	1821,36	2604,27	4490,98	1886,71	3483,51	4549,29	1065,78
	2	2314,11	4135,47	1821,36	2604,27	4490,98	1886,71	3483,51	4549,29	1065,78
9°	1	2314,11	4135,47	1821,36	2604,27	4490,98	1886,71	3483,51	4549,29	1065,78
	2	2314,11	4135,47	1821,36	2604,27	4490,98	1886,71	3483,51	4549,29	1065,78
10°	1	2314,11	4135,47	1821,36	2604,27	4490,98	1886,71	3483,51	4549,29	1065,78
	2	2314,11	4135,47	1821,36	2604,27	4490,98	1886,71	3483,51	4549,29	1065,78
<b>Total</b>		<b>57544,5</b>	<b>82709,4</b>	<b>25164,9</b>	<b>63347,7</b>	<b>89819,6</b>	<b>26471,9</b>	<b>80932,5</b>	<b>90985,8</b>	<b>10053,3</b>

O sistema renovável (S2A2) apresentou desempenho econômico inferior aos modelos S2A0 e S2A1, mesmo obtendo uma receita bruta maior. Tal comportamento é atribuído ao custo de produção e ao valor de investimento, uma vez que ambos foram superiores em relação aos demais sistemas renováveis e convencionais (S1A0 e S1A1).

O modelo de produção renovável com adubação mineral (S2A1) e sem adubação (S2A0) apresentaram períodos de retornos do investimento de 3,0 e 3,5 anos, respectivamente bem inferior ao sistema S2A2 que foi de 5,5 anos.

Na avaliação do retorno econômico dos diferentes sistemas de produção utilizando diversos tipos de água, energia e adubação, os indicadores econômicos foram determinados a partir de estimativas dos fluxos de caixa. Nesse caso, são critérios que envolvem a variação do capital ao longo do horizonte analisado. Na Tabela 41 observa-se a relação benefício custo (B/C), o valor presente líquido (VPL) e a taxa interna de retorno (TIR). Além disso, realizou-se uma análise de sensibilidade com a qual calcula-

se a variação dos indicadores econômicos a partir de mudanças isoladas em uma variável chamada de variável-chave, sem que se altere nenhuma outra variável. Desse modo realizou-se essa variação na componente produção com o intuito de observar o comportamento dos indicadores.

**Tabela 41** - Relação benefício/custo (B/C), valor presente líquido (VPL) e taxa interna de retorno (TIR) para cada um dos sistemas de produção do feijão-caupi no município de Tianguá, CE, com o aumento em 10% e diminuição em 10% na produção

Sistemas	B/C			VPL (R\$)			TIR (%)		
	-10%	0%	+10%	-10%	0%	+10%	-10%	0%	+10%
<b>S1A0</b>	0,73	0,81	0,89	-14706,30	-11391,77	-8075,75	-10,02	-7,05	-4,08
<b>S1A1</b>	1,23	1,37	1,51	7634,41	14190,96	20747,35	9,42	14,96	20,49
<b>S1A2</b>	0,26	0,29	0,32	-63462,55	-58851,21	-54239,87	-34,85	-32,17	-29,49
<b>S2A0</b>	1,67	1,79	1,97	13858,88	20643,98	27429,08	10,37	13,41	16,46
<b>S2A1</b>	1,55	1,72	1,90	14348,14	21716,18	29084,55	10,36	13,6	16,84
<b>S2A2</b>	0,90	1,00	1,10	783,19	8247,21	15711,06	4,14	7,22	10,31

Os sistemas convencionais sem adubação (S1A0) e com adubação orgânica (S1A2) não apresentaram viabilidade econômica, ou seja, os benefícios esperados foram menores que os custos de produção desses sistemas. Já o sistema convencional com adubação mineral (S1A1) evidenciou uma relação B/C superior a 1,0 nos três cenários analisados (-10%, 0% e +10%) nos componentes de produção da cultura, apresentando-se viável nas três condições analisadas.

Ainda em relação aos resultados da razão B/C, observou-se que a maioria dos modelos de produção renováveis apresentaram valores superiores aos convencionais. A maior relação B/C verificada no sistema renovável sem adubação (S2A0) foi 1,67 no cenário (-10%), 1,79 (0%) e 1,97 (+10%). Resultados semelhantes foram observados no modelo renovável com adubação mineral (S2A1). E dentre os sistemas alternativos, o S2A2 apresentou menor razão B/C.

Verificou-se ainda que apenas os modelos S1A0 e S1A2 apresentaram VPL negativos nos três cenários analisados. Desse modo, os mesmos não podem ser aplicados ou recomendados, uma vez que são inviáveis economicamente. Do contrário, os demais tratamentos tiveram seus VPL positivos com destaque para o S2A0 e S2A1, sinalizando que poderá investir nesses sistemas sem prejuízos.

Esse comportamento deve-se ao fato que nesses sistemas foi utilizado água residual e energia solar fotovoltaico, o que contribuiu significativamente no fator de produção, além da economia no custo com energia elétrica e na redução do consumo de

insumos na adubação mineral. O mesmo não foi observado nos tratamentos que não utilizaram efluente doméstico tratado e energia solar fotovoltaico.

Souza et al. (2009) destacam que o uso de efluentes domésticos tratados proporciona a economia de insumos (adubo), aumentando a viabilidade econômica do sistema de produção. Barbosa et al. (2014) também ressaltam a possibilidade de redução dos custos de adubação com a utilização de esgotos domésticos tratados.

A TIR no estudo em questão foi negativa nos sistemas convencionas sem adubação (S1A0) e com adubação orgânica (S1A2) nos três cenários de análise (Tabela 41). Isso demonstra que o projeto não é atrativo, pois a TIR é menor que a TMA. Já os demais modelos em todos os cenários apresentaram a TIR positiva, ou seja, maior que a TMA de 2% ao ano demonstrando que esses arranjos rendeu retorno financeiro.

Verificou-se ainda que os sistemas alternativos (S2A0 e S2A1) que utilizaram efluente doméstico tratado e energia solar fotovoltaica obtiveram a TIR maiores em relação ao sistema renovável com adubação orgânica (S2A2) e convencional com adubação mineral (S1A1).

#### 4. CONCLUSÕES

Os sistemas de produção que utilizaram água residuária e energia solar fotovoltaica (S2A0, S2A1 e S2A2) apresentaram melhor desempenho em todos os componentes de produção do feijão-caupi.

O sistema renovável sem adubação (S2A0) apresentou comportamento semelhante ao sistema convencional com adubação mineral (S1A1) em todos os parâmetros de produção da cultura.

O efluente doméstico tratado aumenta a produtividade da cultura irrigada em função do aporte nutricional proporcionado e pode substituí satisfatoriamente a adubação mineral no cultivo do feijão-caupi.

A produtividade da água nos sistemas renováveis com e sem adubação foram maiores em relação aos sistemas convencionais com e sem adubação.

Os sistemas renováveis de produção apresentaram melhor rendimento econômico em relação aos sistemas convencionais.

Os indicadores econômicos são sensíveis às alterações na componente de produção, além dos custos de produção e preço do produto.

## REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. **Irrigation and Drainage Paper, 56**. Rome: FAO, 1998.

ASSUNÇÃO, P. E. V.; WANDER, A. E.; CARDOSO, J. S. Viabilidade econômica do sistema de produção de melancia no Sul de Goiás. **Conjuntura econômica Goiana** N° 29. Junho, 2014.

ALVES, D. K. M.; MANSO, R. T.; TEIXEIRA, M. B.; CUNHA, F. N.; SOARES, F. A. L.; CABRAL FILHO, F. R.; Desenvolvimento do tomateiro irrigado com água residuária de suinocultura. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada** v.11, nº.6, p. 1784 - 1796, 2017.

APHA - American Public Health Association. **Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22<sup>a</sup> ed. 2012.

APHA - American Public Health Association. **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. 4<sup>a</sup> ed. Washington DC, 2001. p. 515-516.

Agência Nacional de Águas - ANA. Projeto de gerenciamento integrado das atividades na bacia do São Francisco ANA/ GEF/PNUMA/OEA: Subprojeto 4.5C – Plano decenal de recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio São Francisco – PBHSF (2004-2013). Agricultura irrigada. Estudo Técnico de Apoio n.12. Brasília: SAS/ANA, 2004. 128p. Disponível em: <<http://www.cbhdoce.org.br/prhbsf/arquivos/Estudos/ET%2012%20Irrigacao.pdf>>. Acesso em 10 ago. 2018.

ASSEFA, T.; W. U. J.; BEEBE, S. E.; RAO, I. M.; MARCOMIN, D.; CLAUDE, R. J. Improving adaptation to drought stress in small red common bean: phenotypic differences and predicted genotypic effects on grain yield, yield components and harvest index. **Euphytica** 1- 13. 2014.

ARAÚJO, J. S.; OLIVEIRA, A. D. P.; SILVA, J. A. L.; RAMALHO, C. I.; NETO, F. L. C. Rendimento do feijão-vagem cultivado com esterco suíno e adubação mineral. **Revista Ceres**, Viçosa-MG, v.48, n.278, p.501-510, 2001.

ARÊDES, A. F.; SANTOS, M. L.; RUFINO, J. L. S.; REIS, B. S. Viabilidade econômica da irrigação da cultura do café na região de Viçosa-MG. **Revista de Economia e Agronegócio**, v. 5, n. 2, p. 207-226, 2007.

BARBOSA, M. S.; SANTOS, M. E. P.; MEDEIROS, Y. D. P. Viabilidade do reúso de água como elemento mitigador dos efeitos da seca no semiárido da Bahia. **Ambiente & Sociedade**. São Paulo v. XVII, n. 2, p. 17-32, abr.-jun. 2014.

BELTRÃO JÚNIOR, J. A.; CRUZ, J. S.; SOUSA, E. C.; SILVA, L. A. Rendimento do feijão-caupi adubado com diferentes doses de biofertilizante orgânico produzido através da biodegradação acelerada de resíduos do coqueiro no município de Trairi-CE. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, p. 423 - 437, 2012.

BENVINDO, R. N.; SILVA, J. A. L. DA; FREIRE FILHO, F. R.; ALMEIDA, A. L. G. DE; OLIVEIRA, J. T. S.; BEZERRA, A. A. de C. Avaliação de genótipos de feijão-caupi de porte semi-prostrado em cultivo de sequeiro e irrigado. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 1, n. 1 p. 23-28, 2010.

BEZERRA, F. M. L. et al. Irrigação com esgoto doméstico tratado e doses de nitrogênio na produção do girassol. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, n. 6, p. 1186-1200, 2014.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Agrário. Secretaria Especial de Agricultura Familiar e do Desenvolvimento Agrário. **Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar**. Brasília, DF: Ministério do Desenvolvimento Agrário, 2011. Disponível em: <<http://www.mda.br/portal/saf/programas/pronaf>>. Acesso em: 27 mar. 2018.

CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Recycling of poor quality urban wastewater by drip irrigation systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 5, n. 4, p. 1529- 1534, 2007.

CAVALCANTI, M. L. F.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; BARROS JÚNIOR, G.; SOARES, F. A. L. SIQUEIRA, E. C. Tolerância da mamoneira BRS 149 à salinidade: Germinação e características de crescimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, p.57-61, 2005.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**, São Paulo: CETESB; Brasília, ANA, 2011, 326 p.: il. Disponível em <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/laboratorios/publicacoes/guia-nacional-coleta-2012.pdf>> Acesso em: 03.mai.2017.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos: ISSN 2318-6852 Acomp. Safra bras. grãos, v. 7 Safra 2017/18 – Sétimo levantamento, Brasília, p. 1-139 abril 2018. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 10 mar. 2018.**

DORDAS, C. A.; SIOULAS, C. Safflower yield, chlorophyll content, photosynthesis, and water use efficiency response to nitrogen fertilization under rainfed conditions. **Industrial Crops and Products**, Phoenix, v. 27, n. 1, p. 75-85, 2008.

DEON, M. D.; GOMES, T. M.; MELF, A. J.; MONTES, C. R.; SILVA, E. Produtividade e qualidade da cana-de-açúcar irrigada com efluente de estação de tratamento de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, p.1149-1156, 2010.

EMBRAPA. Tecnologia de produção de soja na região central do Brasil 2012 e 2013. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 263p. (Sistemas de Produção, n. 15).

EMONGOR, V. E.; RAMOLEMANA, G. M. Treated sewage effluent (water) potential to be used for horticultural production in Botswana. **Physics and chemistry of the earth**, Oxford, v.29, p.1101-1108, 2004.

FARQUHAR, G. D.; SHARKEY, T. D. Stomatal conductance and photosynthesis. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 33, n. 1, p. 317-345, 1982.

FACCIOLI, G. G.; RAMOS, F. S. M.; SANTANA, F. S.; DANTAS, C. K. S. Análise das características agronômicas e microbiológicas do feijão-caupi (*vigna unguiculada (l.) walp.*) brs novaera e brs guariba com aplicação de água residuária tratada. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada** v.11, nº.5, p. 1707 - 1713, 2017.

FEITOSA, E. O.; ARAÚJO, A. F. B.; LOPES, F. B.; ANDRADE, E. M.; BEZERRA, F. M. L. Análise de custos e rentabilidade na produção de mamão irrigado no semiárido. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada** v.12, nº.1, p. 2293 - 2304, 2018

FREITAS, C. A. S.; SILVA, A. R. A.; BEZERRA, F. M. L.; FERREIRA, C. DA S.; ANDRADE, R. R. Crescimento vegetativo da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) irrigada com água de esgoto doméstico tratado. **Conexões Ciência e Tecnologia**, v.6, p.27-43, 2012.

FREITAS, C. A. S.; JOSÉ ADEILSON MEDEIROS DO NASCIMENTO, J. A. M.; BEZERRA, F. M. L.; LIMA, R. M. M. Use of treated sewage as water and a nutritional source for bean crops. **Rev. Caatinga**, Mossoró, v. 31, n. 2, p. 487 – 494, abr. – jun., 2018.

GALBIATTI, J. A.; SILVA, F. G.; FRANCO, C. F.; CARAMELO, A. D. Desenvolvimento do feijoeiro sob o uso de biofertilizante e adubação mineral. **Eng. Agríc. Jaboticabal**, v.31, n.1, p.167-177, jan./fev. 2011.

GITMAN, L. J. **Princípios de administração financeira**. São Paulo: Harbra, 1997.

GUOJU. X.; FENGJU, Z. JUYING, H.; CHENGKE, L.; WANG JING, W.; MAFEL, M.; YUBI, Y.; RUNYUAN, W.; QIUZHENGJI, Q. Response of bean cultures' water use efficiency against climate warming in semiarid regions of China. **Agricultural Water Management** 173, p. 84–90. 2016.

HARTMAN, G. L.; SINCLAIR, J. B.; RUPE, J. C. **Compendium of soybean diseases**. 4. ed. Minnesota: APS Press, 1999. 100 p.

KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 17, n. 4, p. 678-684, 1974.

LAZZAROTTO, J. J.; FIORAVANÇO, J. C. Produção de morango em sistema semi-hidropônico: estudo de caso para avaliar indicadores econômico-financeiros e riscos associados. In: Congresso Virtual Brasileiro - Administração, 8., 2011, São Paulo. **Anais eletrônicos...** São Paulo: Embrapa Uva e Vinho, 2011. Disponível em:<<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/910013/4/LAZZAROTTOConvibra2011.pdf>> Acesso em 13 jun. 2018.

LACERDA, C. F.; NEVES, A. L. R.. GUIMARÃES, F. V. A.; SILVA, F. L. B.; PRISCO, J. T.; GHEYI, H. R. Eficiência de utilização de água e nutrientes em plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento. **Engenharia Agrícola**, 29(2), 221-230. 2009.

LIMA, R. M. M.; FREITAS, C. A S.; ARAÚJO, C. D.; LIMA, F. M. B.; PEREIRA, S. P. Reuso de água como estratégia hídrica e nutricional para a cultura do feijão-caupi.

**Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC' 2015**  
Centro de Eventos do Ceará - Fortaleza – CE 15 a 18 de setembro de 2015.

LIMA, C. J. G. S.; OLIVEIRA, F. A.; MEDEIROS, J. F.; OLIVEIRA, M. K. T.; ALMEIDA JÚNIOR, A. B. Resposta do feijão-caupi a salinidade da água de irrigação. **Revista Verde**, v.2, n.2, p.79-86, 2007.

LOCATELLI, V. E. R.; MEDEIROS, R. D.; SMIDERLE, O. J.; ALBUQUERQUE, J. A. A.; ARAÚJO, W. F.; SOUZA, K. T. S. Componentes de produção, produtividade e eficiência da irrigação do feijão-caupi no cerrado de Roraima. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.6, p.574–580, 2014.

MAGALHÃES, A. C. M.; BLUM, J.; LOPES, F. B.; TORNQUIST, C. G. Production Components of the Cowpea under Different Doses of Organic Fertiliser. **Journal of Experimental Agriculture International** 26(5): 1-9, 2018.

MELO, A. S.; COSTA, B. C.; BRITO, M. E. B.; AGUIAR NETTO, A. O.; VIÉGAS, P. R. A. Custo e rentabilidade na produção de batata-doce nos perímetros irrigados de Itabaiana, Sergipe. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 2, p. 119- 123, abr/jun. 2009.

MOUSINHO, F. E. P.; COSTA, R. N. T.; SOUZA, F.; FILHO, R. R. G. Função de resposta da melancia à aplicação de água e nitrogênio para as condições edafoclimáticas de Fortaleza – CE. **Irriga, Botucatu**, v. 8, n. 3, p.264-272, 2003.

MORAES, M. J.; OLIVEIRA FILHO, D.; VIEIRA, G, H. S.; SCARCELLI, R. O. C. Gerenciamento do lado da demanda no bombeamento de água para perímetro irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia na Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.15, n.9, p.875-882, 2011.

NASCIMENTO, J. S.; FIDELES FILHO, J. Crescimento produção e alterações químicas do solo em algodão irrigado com água de esgotos sanitários tratados. **Revista Caatinga**, vol. 28, núm. 2, abril-junio, pp. 36-45. 2015.

NORONHA, J. F. **Projetos agropecuários: administração financeira, orçamento e viabilidade econômica**. 2. ed. São Paulo: Atlas S/A, 1987.

OLIVEIRA, J. U. C. **Estatística: uma nova abordagem**. Rio de Janeiro: Ciência, 2010.

PAIVA, J. B.; TEOFILO, E. M.; SANTOS, J. H. R.; LIMA, J. A. A.; GONÇALVES, M. F. B.; SILVEIRA, L. F. S. "Setentão": nova cultivar de feijão-de-corda para o Estado do Ceará. Fortaleza: UFC, 1988

REBOUÇAS, J. R. L.; DIAS, N. S.; GONZAGA, M. I. S.; HANS RAJ GHEYI, H. R.; SOUSA NETO, O. N. Crescimento do feijão-caupi irrigado com água residuária de esgoto doméstico tratado. **Revista Caatinga, Mossoró**, v. 23, n. 1, p. 97-102, jan.-mar., 2010

REGO, J. L.; OLIVEIRA, E. L. L.; CHAVES, A. F.; ARAÚJO, A. P. B.; BEZERRA, F. M. L.; SANTOS, A. B.; MOTA, S. Uso de esgoto doméstico tratado na irrigação da cultura da melancia. **Revista Brasileira de Engenharia agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, (Suplemento), p.155-159, 2005.

ROCHA, M. M.; CARVALHO, K. J. M.; FREIRE FILHO, F. R.; LOPES, A. C. A.; GOMES, R. L. F.; SOUSA, I. S. Controle genético do comprimento do pedúnculo em feijão-caupi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.3, p.270-275, 2009.

RODRIGUES, T. R. D.; BROETTO, L.; OLIVEIRA, P. S. R.; Fernanda RUBIO, F. Desenvolvimento da cultura do milho submetida a fertilizantes orgânicos e minerais. **Biosci. J.** Uberlândia, v. 28, n. 4, p. 509-514, July/Aug. 2012

ROSALES, M. A.; OCAMPO, E.; RODRÍGUEZ-VALENTÍN, R.; OLVERA-CARRILLO, Y.; ACOSTA-GALLEGOS, J.; COVARRUBIAS, A. A. Physiological analysis of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars uncovers characteristics related to terminal drought resistance. **Plant physiology and biochemistry: PPB / Société française de physiologie végétale**, 56, 24-34. 2012.

SANTOS, K. D. et al. Utilização de esgoto tratado na fertirrigação agrícola. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, São Cristovão, v. 1, n. 1, p. 1-8, 2006.

SOUZA, J.T.; LEITE, V.D.; LUNA, J.G.de. Desempenho da cultura do arroz irrigado com esgotos sanitários previamente tratados. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.1, p.107-110, 2001.

SOUSA, J. T. DE; VAN HAANDEL, A. C.; CAVALCANTI, P. F. F.; FIGUEIREDO, A. M. F. Tratamento de esgoto para uso na agricultura do semiárido nordestino. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.10, p.260-265, 2005.

SOUZA, M. S. M.; BEZERRA, F. M. L.; TEÓFILO, E. M. Coeficientes de cultura do feijão caupi na região litorânea do Ceará. **Irriga**, v.10, n.3, p.241- 248, 2005

SOUZA, N. C.; MOTA, S. B.; BEZERRA, F. M. L.; AQUINO, B. F.; SANTOS, A. B. Produtividade da mamona irrigada com esgoto doméstico tratado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 14(5), 478-484. 2010.

SOUSA NETO, O. N.; ANDRADE FILHO, J.; DIAS, N. S.; REBOUÇAS, J. R. L.; OLIVEIRA, F. R. A.; DINIZ, A. A. Fertirrigação do algodoeiro utilizando efluente doméstico tratado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16 n. 2, p. 200-208, 2012.

SHAHROKHANIA, M. H.; SEPASKHAH, A. R. Effects of irrigation strategies, planting methods and nitrogen fertilization on yield, water and nitrogen efficiencies of safflower. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 172, p. 18-30, 2016.

SILVA, J. L. A.; GURGEL, M. T. MOTA, A. F.; AZEVEDO, j.; COSTA, L. R. Influência da água residuária de origem doméstica no crescimento inicial do melão 'amarelo ouro'. **ACSA – Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v.8, n.4, p 16-22, out – dez , 2012

SILVA, A. C.; MORAIS, O. M.; SANTOS, J. L.; D'ARÊDE, L. O.; SILVA, P. B. Componentes de produção, produtividade e qualidade de sementes de feijão-caupi em Vitória da Conquista, Bahia. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 8, n. 3, p. 327-335, setembro-dezembro, 2014.

SILVA, V. P. R.; SILVA, B. B.; BEZERRA, J. R. C.; ALMEIDA, R. S. R. Consumo hídrico e viabilidade econômica da cultura do feijão caupi cultivado em clima semiárido. **Irriga**, v. 21, n. 4, p. 662-672, 2016.

TEIXEIRA, I. R.; SILVA, G. C.; OLIVEIRA, J. P. R.; SILVA, A. G.; PELÁ, A. Desempenho agrônômico e qualidade de sementes de cultivares de feijão-caupi na região do cerrado. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, p. 300-307, 2010.

VILLAS BÔAS, R.L.; PASSOS, J.C.; FERNANDES, M.; BÜLL, L.T.; CEZAR, V.R.S.; GOTO, R. **Efeito de doses e tipos de compostos orgânicos na produção de alface em dois solos sob ambiente protegido**. Horticultura Brasileira, Brasília, v.22, n.1, p.28-34, jan-mar 2004.

WINPENNY, J. et al. **The wealth of waste**: the economics of wastewater use in agriculture. FAO Water Reports. Roma. 2010.

YORINORI, J. T. Controle integrado das principais doenças da soja. In: CÂMARA, G. M. de S. Soja: tecnologia da produção. Piracicaba: ESALQ/USP, 1998. p. 139-169.

## CAPÍTULO 02

### **ANÁLISE EMERGÉTICA DE CULTIVOS AGRÍCOLAS IRRIGADO E DE SEQUEIRO NO SEMIÁRIDO**

\*Artigo aceito para publicação no periódico **Chilean Journal of Agricultural Research** (ISSN 0718-5839), com fator de impacto de 0,77 e classificado com Qualis B1 na área de Ciências Agrárias I.

**Autores:** Erialdo O. Feitosa, Fernando B. Lopes, Eunice M. Andrade, Helba A. Q. Palácio e Francisco M. L. Bezerra.

**RESUMO:** A agricultura irrigada e de sequeiro apresentam fundamental importância na segurança alimentar e no desenvolvimento econômico, principalmente na região semiárida do Brasil. No entanto, em função dos impactos ambientais gerados pelas atividades agrícolas e o desafio de produzir alimentos para uma demanda crescente torna a agricultura dependente de um fluxo constante de recursos ambientais e econômicos não renováveis, que logo não serão capazes de atender a demanda crescente. Desse modo, objetivou-se quantificar a sustentabilidade de sistemas de produção agrícola irrigado e de sequeiro na região semiárida por meio da análise emergética. A pesquisa foi realizada no Perímetro Irrigado Curupati, localizado no município de Jaguaribara, CE correspondendo ao cultivo do mamoeiro irrigado e no assentamento Lagoa Grande, na Chapada do Apodi, município de Tabuleiro do Norte, CE referente ao cultivo de sorgo em sequeiro. A metodologia emergética constitui-se basicamente de três etapas: construção do diagrama sistêmico, elaboração da tabela de avaliação de energia e o cálculo dos indicadores emergéticos. O sistema de produção em sequeiro apresentou valor emergético de  $1,06E+16$  seJ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, sendo menor que no sistema irrigado  $1,69E+17$  seJ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Para os indicadores emergéticos no sistema irrigado obteve uma transformidade solar (Tr) = 1.040.000 seJ J<sup>-1</sup>; taxa de rendimento emergético (EYR) = 1,51; renovabilidade (R%) = 74,29%; razão de carga ambiental (ELR) = 0,35 and índice de sustentabilidade (ESI) = 4,37. Já no sistema de sequeiro a Tr = 951.000 seJ J<sup>-1</sup>; EYR = 1,13; R% = 83,81%; EIR = 0,18; ELR = 0,20 e ESI = 5,86. Portanto, o sistema de produção em regime de sequeiro apresentou melhor desempenho econômico, social e ambiental em relação ao sistema de produção irrigado. Ambos os sistemas de produção estudados contribuem para o crescimento econômico da região semiárida, com baixa carga ambiental.

**Palavras-chaves:** Agricultura irrigada. Regime de sequeiro. Sustentabilidade. Indicadores emergéticos.

## EMERGY ANALYSIS OF IRRIGATED AGRICULTURAL CROPS AND RAINFED IN THE SEMIARID

**ABSTRACT:** Irrigated and rainfed agriculture are fundamentally important in food security and economic development, especially in the semi-arid region of Brazil. However, due to the environmental impacts generated by agricultural activities and the challenge of producing food for growing demand, agriculture is dependent on a constant flow of non-renewable environmental and economic resources that will soon be unable to meet growing demand. The aim of this study was to quantify the sustainability of agricultural production systems irrigated and rainfed in the semi-arid region using emergy analysis. The research was carried out in the Curupati Irrigated Perimeter, located in the municipality of Jaguaribara, CE corresponding to the cultivation of the irrigated papaya and in the Lagoa Grande settlement, in the Chapada do Apodi, municipality of Tabuleiro do Norte, CE referring to sorghum cultivation in the rainfed. The emergy methodology consists basically of three steps: construction of the systemic diagram, elaboration of the table evaluation of emergy and the calculation of the emergy indicators. The rainfed production system had an emergy value of  $1.06E+16 \text{ seJ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ , and was lower than in the irrigated system  $1.69E+17 \text{ seJ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ . The following values were obtained for the emergy indicators in the irrigated system: transformity solar (Tr)  $1,040,000 \text{ seJ J}^{-1}$ ; emergy yield ratio (EYR) = 1.51; renewability (R%) = 74.29%; environmental load ratio (ELR) = 0.35 and emergy sustainability index (ESI) = 4.37. Where as in the rainfed system, the Tr =  $951,000 \text{ seJ J}^{-1}$ ; EYR = 1.13; R% = 83.81%; EIR = 0.18; ELR = 0.20 and ESI = 5.86. The system of production under the rainfed regime therefore displayed better economic, social and environmental performance in relation to the irrigated production system. Both of the studied production systems contribute to the economic growth of the semi-arid region, with low environmental loads.

**Key words:** Irrigated agriculture, Rainfed regime, sustainability. Emergy indicators

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a agricultura irrigada é uma atividade substancial, uma vez que são observados crescimentos contínuos da demanda por alimentos, devido ao aumento populacional e a busca por uma melhor qualidade de vida. Segundo a FAO (2012) indica que nos próximos 25 anos, 80% dos alimentos necessários à população humana serão providos pelos cultivos irrigados. No Nordeste brasileiro esse modelo de agricultura destaca-se com um expressivo crescimento de mercado, acarretando produções e rendimentos mais elevados ao setor (LOPES et al., 2011).

A agricultura de sequeiro assume uma importância crítica, devido ao crescimento e suas implicações na segurança alimentar de um número significativo de pessoas que vivem na região semiárida. Nasuti et al. (2013), em estudos realizados na região semiárida do Nordeste brasileiro constataram que entorno de 60% dos agricultores adotam o sistema de sequeiro. Segundo a FAO, (2011) este modelo de produção é responsável por aproximadamente 80% das áreas cultiváveis no mundo e 60% das áreas cultivadas com alimentos. Na Índia aproximadamente 56% da área total cultivada no país são em regime de sequeiro, no qual contribuem com 40% da produção alimentar do país (VENKATESWARLU e PRASAD, 2012).

O aumento acentuado na demanda mundial de alimentos durante as próximas décadas dependerá tanto dos sistemas de produção irrigados, quanto dos sistemas de produção em sequeiro, ao mesmo tempo em que o desenvolvimento da agricultura irrigada e de sequeiro terá que enfrentar os riscos da escassez de água, além dos problemas ambientais (CHEN et al., 2011).

Na busca de maiores produtividades, os agricultores têm aumentado o uso de insumos tecnológicos, como o uso intensivo de máquinas, fertilizantes, defensivos agrícolas e etc, no qual impulsionam os fluxos de energia através do agroecossistema para níveis insustentáveis (GIAMPIETRO et al., 1992). Estes custos ambientais ou as externalidades de tais impactos ambientais das práticas agrícolas, geralmente não são mensurados e muitas vezes não influenciam as escolhas dos produtores em relação às práticas de produção agrícola (TILMAN et al., 2002).

Segundo Palácio et al. (2012) determinar a sustentabilidade dos sistemas de produção é um trabalho complexo e a grande maioria das metodologias para avaliação desses sistemas baseia-se nos fluxos de entrada e saída, levando em consideração apenas o fator econômico. Visando apresentar uma metodologia que avalia-se os sistemas de forma integrada, Odum (1996) desenvolveu a metodologia emergética, que

apresenta indicadores capazes de caracterizar e comparar diferentes sistemas de produção do ponto de vista econômico, social e ambiental.

Os principais indicadores que compõem essa metodologia de avaliação da sustentabilidade dos modelos de produção são: transformidade solar (Tr), taxa de rendimento emergético (EYR), renovabilidade (R%), taxa de investimento emergético (EIR), razão de carga ambiental (ELR), índice de sustentabilidade emergético (ESI) e taxa de intercâmbio (EER), além da emergia total (Y), (ODUM, 1996; ORTEGA et al., 2002; BROWN e ULGIATI, 2004).

Com base nesses indicadores, modelos de produção podem ser avaliados para determinar qual sistema de produção apresenta o melhor desempenho econômico, ambiental e social. Assim sendo, muitos estudos que utilizaram esta metodologia têm sido realizados mundialmente. Porém, existem poucos estudos com relação à análise de emergia em sistemas de produção agrícola em regiões semiáridas.

Wang et al. (2014) avaliaram a emergia de diferentes sistemas de produção de grãos no Norte da China, em que evidenciaram uma emergia total de  $2,00E+16$  no sistema de produção de trigo e  $1,57E+15$  no sistema de produção de milho. Ting e Xiang et al. (2016) analisaram a emergia de um sistema de produção de arroz na Província de Hunan, China, em que a EYR foi 2,73 e o ESI de 3,53.

Giannetti et al. (2011) contabilizaram os fluxos de emergia em sistema de produção de café no Cerrado Brasileiro. Ortega et al. (2010) analisou a emergia de diferentes sistemas de produção de olerícolas sob manejo orgânico na região Serrana do Estado do Rio de Janeiro, Brasil.

Diante desse contexto, objetivou-se avaliar com base nos indicadores da metodologia emergética o desempenho econômico, ambiental e social de um sistema de produção com a cultura do mamão irrigado e de um sistema de produção de sorgo em regime de sequeiro, ambos na região semiárida do Brasil.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Localização dos sistemas de produção irrigado e de sequeiro

O sistema de produção agrícola irrigado esta inserido no Perímetro Irrigado Curupati, localizado na cidade de Jaguaribara, Ceará, Brasil. Já o sistema de produção em sequeiro localizado-se no assentamento Lagoa Grande, na Chapada do Apodi, distante 30 km do município de Tabuleiro do Norte, Ceará, Brasil. Ambos os sistemas de produção estão localizados na região semiárida do Brasil.

### 2.2 Descrição dos sistemas de produção irrigado e de sequeiro

O perímetro irrigado Curupati compõe uma área total de 189 ha, no qual o modelo de produção irrigado em estudo foi composto por 63 produtores que cultivavam o mamão irrigado por meio do sistema de irrigação do tipo gotejamento, compreendendo uma área de 94,5 ha dividida em 18 lotes. O restante da área 94,5 ha foi cultivada com a cultura da goiaba irrigada por meio do sistema de irrigação do tipo microaspersão, beneficiando 81 famílias.

A fonte de água para o perímetro irrigado foi proveniente do açude Castanhão, sendo bombeada por meio de um conjunto motobomba flutuante com potência de 500 cv, e vazão de  $0,33 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , em que a finalidade era alimentar o canal de distribuição. Outro conjunto composto por quatro motobombas com potência de 75 cv, realizava o bombeamento da água do canal aos lotes a serem irrigados.

Todos os lotes dos produtores do sistema de produção com a cultura do mamão tinham instalado um sistema de irrigação localizado por gotejamento, em que a água foi conduzida aos mesmos por tubulações de PVC com diâmetros de 75 mm e 50 mm. A cultura do mamão foi plantada em linhas espaçadas entre si de 4 m e 1,8 m entre plantas, sendo que o espaçamento entre os gotejadores foram de 0,4 m com vazão equivalente a  $2,0 \text{ L h}^{-1}$ .

Com relação ao sistema de produção de sequeiro, este compõe um campo agrícola de 250 ha, onde residiam 92 famílias de agricultores. No entanto, foi acompanhado 12 produtores que plantaram o sorgo granífero em uma área de 138 ha. A primeira operação realizada pelos produtores foi o acamamento e dessecação da vegetação existente na área. O herbicida empregado foi o Glifosato na dosagem de  $2,5 \text{ l ha}^{-1}$ . A preparação da dosagem constitui na mistura de um litro do herbicida para cada

100 litros de água e foi aplicado com um pulverizador mecanizado da marca Jacto, acionado por um trator da marca Massey Ferguson, modelo 296 de 75cv de potência.

A segunda operação realizada foi o plantio, que neste caso foi utilizado à semente do sorgo Híbrido BR 304. A operação foi realizada em sistema de semeadura direta com uma semeadora da marca Baldan, modelo SP Light 3000 acionada por um trator da marca Valtra, modelo 785 de 75 cv de potência. A semeadura foi realizada oito dias após a aplicação do herbicida na profundidade de 5 a 6 cm e 6 a 7 sementes por metro linear, em um espaçamento entre fileiras de 0,45 m perfazendo uma população em torno de 150 mil plantas ha<sup>-1</sup>. E por último a operação de colheita, que também foi realizada mecanicamente por meio de uma colhedora da marca CASE IH, modelo 7130.

### 2.3 Análise emergética

Para possibilitar a avaliação econômica, social e ambiental dos dois sistemas de produção foi utilizada a metodologia emergética baseada nos trabalhos de Odum, (1996); Ortega et al. (2002) e Brown e Ulgiati (2004). A primeira etapa para a análise de energia foi à identificação dos componentes dos dois sistemas de produção, ou seja, determinar as entradas e saídas. Posteriormente, foi elaborado um diagrama sistêmico dos sistemas, no qual foram identificados todos os componentes e fluxos de energia dos modelos de produção irrigada e de sequeiro.

Os fluxos de entrada e saída dos sistemas de produção foram quantificados por meio de informações dos agricultores, dados da literatura, medições de campo, amostragem de insumos e produtos, além do acompanhamento e monitoramento no Perímetro Irrigado Curupati e na área de sequeiro.

Após a definição das variáveis de entrada e saída dos modelos de produção agrícola, cada fluxo de entrada no diagrama sistêmico foi convertido em uma linha de cálculo na matriz de avaliação de energia. Sendo que nessa matriz, todos os fluxos de energia, massa e valor monetário que foram considerados no processo foram convertidos para uma base unitária comum, joules de energia solar equivalente (seJ), através de transformações de energia tomadas da literatura.

Para a transformidade econômica (seJ \$<sup>-1</sup> ou Em\$) foi determinada pela equação:  $Em\$ = \{[248,0 + 878,16 * EXP(-1 * ((ano-1981) / 9,49))] / 100\} * 1012 * 1,68$  (Agostinho et al., 2008). O valor do Emdólar (Em\$) estimado foi 4,54E+12 seJ US\$<sup>-1</sup> para o ano de 2016. Esse valor foi corrigido pelo fator 1,68 considerando a transformidade de energia global 15,83E+24 seJ ano<sup>-1</sup> (BROWN e ULGIATI, 2004).

Nessa segunda etapa é elaborada a tabela de energia, colocando o valor numérico e as unidades de cada fluxo mencionado no diagrama. A tabela permite a conversão de todos os recursos em termos de joules de energia solar usando transformações, no qual permitem calcular os indicadores emergéticos.

E na última etapa da análise de energia foram calculados os indicadores emergéticos com a finalidade de avaliar a sustentabilidade dos sistemas de produção. Na Tabela 42 são apresentados os indicadores emergéticos propostos por Odum (1996), em que foram ligeiramente modificados conforme Ortega et al. (2002) para avaliar de forma mais adequada à sustentabilidade dos recursos.

**Tabela 42** - Indicadores emergéticos para avaliação econômica, ambiental e social dos sistemas de produção irrigada e de sequeiro

Indicadores	Equação	Descrição
Transformidade Solar (Tr)	$Y / E$	Relação da energia de saída dividida pela energia dos produtos.
Renovabilidade (R%)	$100x (R + MR + SR) / Y$	Relação dos insumos renováveis de entrada dividida pela energia total do sistema.
Taxa de Rendimento Emergético (EYR)	$Y / F$	Relação da energia total usada dividido pela energia da economia.
Taxa de Investimento Emergético (EIR)	$(MN + SN) / (R + MR + SR + N)$	Relação de energia entre os insumos de entrada não renováveis da economia dividida pela energia da natureza investimento (insumos naturais mais insumos renováveis da economia).
Taxa de Intercâmbio Emergético (EER)	$Y / [(\$) \times (seJ / \$)]$	A proporção de energia entregue pelo produtor para a economia dividida pela energia recebida do comprador.
Razão de Carga Ambiental (ELR)	$N + SN + MN / R + SR + MR$	A proporção de energia não renovável pelos recursos renováveis de entrada.
Índice de Sustentabilidade Emergética (ESI)	$EYR / ELR$	Indica a sustentabilidade do sistema de produção.

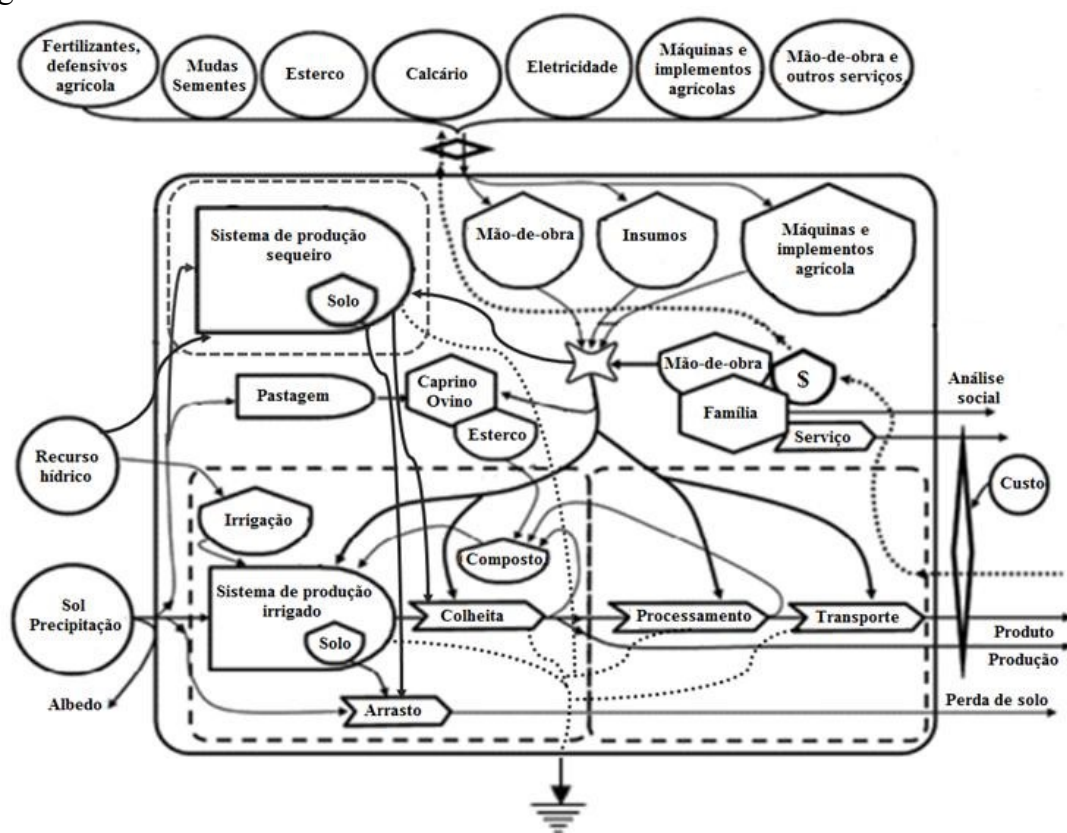
Fonte: Odum, 1996; Ortega et al. 2002.

A energia total junto com os indicadores e as relações calculadas nas tabelas de energia foram usados para avaliar a eficiência e o impacto ambiental dos sistemas de produção agrícola irrigado e de sequeiro, além das interações econômico ambientais e quantificação da sustentabilidade do Perímetro Irrigado Curupati e da agricultura de sequeiro.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O diagrama sistêmico dos sistemas de produção irrigada e de sequeiro na região semiárida do Brasil é mostrado na Figura 21. Verificou-se que os diferentes fluxos de energia que compõem os sistemas e as interações dos seus principais componentes, bem como as diferentes fontes de energia provenientes dos recursos renováveis e não renováveis da natureza, além dos recursos da economia como serviços e insumos. E por fim agregam-se todos os fluxos de energia de entrada dos sistemas para um único fluxo de saída.

**Figura 21** - Diagrama sistêmico dos modelos de produção irrigada e de sequeiro na região semiárida do Brasil



Fonte: Adaptado de Ortega et al. (2010).

Desse modo, o diagrama mostra os recursos renováveis (sol, precipitação pluviométrica, recurso hídrico) e não renováveis (solo), além dos recursos da economia como materiais (mudas, sementes, esterco, fertilizantes e defensivos agrícolas) e serviços (mão-de-obra, eletricidade, mecanização e transporte), como também os processos e as fronteiras dos sistemas de produção. O produto ou saída dos modelos de produção, bem como a energia de saída constituíram-se em frutos de mamão no sistema irrigado e em grãos de sorgo no sistema de sequeiro.

As principais características destes diferentes recursos e suas relações baseadas em energia que foram utilizados para analisar o comportamento do sistema de produção irrigado estão descritos na Tabela 43. Verificou-se uma energia total de  $1,69E+17$  seJ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> no sistema de produção irrigado, sendo que desse total 66,02% corresponderam aos recursos da economia, bem como os serviços e materiais. O restante 33,98% representaram os recursos ambientais renováveis e não renováveis.

Os serviços renováveis contribuíram com 37,66% na energia total, sendo que a mão-de-obra familiar foi bastante significativa contribuindo com 30,81% do total, a mão-de-obra auxiliar 4,11% e a especializada 2,74%. Já os serviços não renováveis corresponderam a 25,66% da energia total, sendo que eletricidade apresentou uma maior contribuição 20,55%, seguida da mecanização com 4,67% e transporte 0,44%. Os materiais não renováveis foram 1,85%, onde o maior percentual correspondeu aos adubos com destaque para o nitrogênio 0,94%. E os materiais renováveis foram equivalentes a 0,84%.

No que se refere aos recursos ambientais o maior valor foi dos recursos renováveis 33,95%, sendo que a maior contribuição foi do recurso hídrico utilizado para irrigação correspondendo a 33,21% do total, seguido da precipitação com 0,73%. Já os recursos não renováveis foram atribuídos à erosão que foi equivalente a 0,03% da energia total.

Dessa forma, observou-se que uso da mão-de-obra familiar, principalmente foi um recurso que contribuiu de forma mais significativa na energia total do sistema de produção irrigado, além do serviço de eletricidade. Ortega et al. (2010) na análise emergética em sistemas de produção de olerícolas sob manejo orgânico verificaram que a energia total dos cinco sistemas variou de  $1,72E+17$  a  $6,24E+17$  seJ, em que a mão-de-obra contribuiu de forma mais expressiva para a energia total variando de 70 a 90%.

Assim sendo, a análise emergética mostrou que no cultivo irrigado os recursos da economia foram mais elevados, tal fato é atribuído a maior necessidade de mão-de-obra em todas as etapas do processo de produção, além do maior consumo de insumos.

Giannetti et al. (2011) na avaliação de energia em uma fazenda de café no Cerrado brasileiro destacaram que os serviços contribuíram com aproximadamente 29% da energia total, sendo que apenas a mão-de-obra direta representou 24% do total e os recursos renováveis locais responderam por 20% do total de energia para produção de café verde.

**Tabela 43** - Análise de energia do sistema de produção com mamão irrigado no Perímetro Irrigado Curupati, Jaguaribara - CE

Descrição <sup>(a)</sup>	Valor	Unid.	Fr <sup>(1)</sup>	Tr <sup>(2)</sup>	Unid.	Energia (seJ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )			US\$
						R	NR	Total	
1. Sol <sup>(4)</sup>	5,33E+10	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	1,00E+00	seJ J <sup>-1</sup>	5,33E+10	0,00E+00	5,33E+10	85,18
2. Precipitação <sup>(3)</sup>	4,05E+10	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	3,06E+04	seJ J <sup>-1</sup>	1,24E+15	0,00E+00	1,24E+15	272,97
3. Recurso hídrico <sup>(4)</sup>	1,90E+11	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	2,96E+05	seJ J <sup>-1</sup>	5,62E+16	0,00E+00	5,62E+16	12387,7
Recursos renováveis (R)						5,75E+16	0,00E+00	5,75E+16	12745,8
4. Erosão <sup>(3)</sup>	4,20E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,0	1,24E+05	seJ J <sup>-1</sup>	0,00E+00	5,21E+13	5,21E+13	11,47
Recursos não renováveis (N)						0,00E+00	5,21E+13	5,21E+13	11,47
I <sup>(6)</sup> = R + N						5,75E+16	5,21E+13	5,75E+16	12757,3
Serviços (S)									
5. Mão-de-obra familiar <sup>4</sup>	2,82E+09	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,9	1,85E+07	seJ J <sup>-1</sup>	4,70E+16	5,22E+15	5,22E+16	11491,2
6. Mão-de obra especializada <sup>(4)</sup>	2,51E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,6	1,85E+07	seJ J <sup>-1</sup>	2,79E+15	1,86E+15	4,64E+15	1022,80
7. Mão-de obra auxiliar <sup>4</sup>	3,76E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,6	1,85E+07	seJ J <sup>-1</sup>	4,17E+15	2,78E+15	6,96E+15	1532,16
SR <sup>(7)</sup>						5,39E+16	9,86E+15	6,38E+16	14046,1
8. Eletricidade <sup>(3)</sup>	6,17E+10	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,5	5,64E+05	seJ J <sup>-1</sup>	1,74E+16	1,74E+16	3,48E+16	7664,93
9. Mecanização	1,74E+03	US\$	0,01	4,54E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	7,92E+13	7,84E+15	7,92E+15	1743,60
10. Transporte	1,64E+02	US\$	0,01	4,54E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	7,42E+12	7,35E+14	7,42E+14	163,50
SN <sup>(8)</sup>						1,75E+16	2,60E+16	4,35E+16	9572,03
S <sup>(9)</sup> = SR + SN						7,14E+16	3,58E+16	1,07E+17	23618,2
Materiais (M)									
11. Mudanças	2,40E+02	US\$	0,7	4,54E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	7,64E+14	3,27E+14	1,09E+15	240,40
12. Esterco	8,08E+01	US\$	0,6	4,54E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	2,20E+14	1,47E+14	3,67E+14	80,77
MR <sup>(10)</sup>						9,84E+14	4,74E+14	1,46E+15	321,17
13. Calcário <sup>(5)</sup>	1,00E+03	kg	0,05	1,00E+12	seJ kg <sup>-1</sup>	5,00E+13	9,50E+14	1,00E+15	220,26
14. Nitrogênio <sup>(3)</sup>	2,50E+02	kg	0,05	6,38E+12	seJ kg <sup>-1</sup>	7,98E+13	1,52E+15	1,60E+15	351,32
15. Fósforo <sup>(5)</sup>	2,00E+02	kg	0,05	3,90E+09	seJ kg <sup>-1</sup>	3,90E+10	7,41E+11	7,80E+11	5,82
16. Potássio <sup>(5)</sup>	2,50E+02	kg	0,05	1,74E+12	seJ kg <sup>-1</sup>	2,18E+13	4,13E+14	4,35E+14	95,81
17. Inseticida <sup>(5)</sup>	3,00E+00	kg	0,05	2,49E+13	seJ kg <sup>-1</sup>	3,74E+12	7,10E+13	7,47E+13	16,45
MN <sup>(11)</sup>						1,55E+14	2,95E+15	3,11E+15	689,68
M <sup>(12)</sup> = MR + MN						1,14E+15	3,42E+15	4,56E+15	1010,85
F <sup>(13)</sup> = M + S						7,25E+16	3,93E+16	1,12E+17	24629,0
<b>Y. Energia <sup>(14)</sup></b>						<b>1,33E+17</b>	<b>3,64E+16</b>	<b>1,69E+17</b>	<b>37386,3</b>
<b>O. Energia <sup>(15)</sup></b>						<b>1,63E+11</b>			

(a) Notas descritivas dos cálculos dos recursos no apêndice I. (1) FR: fração renovável. (2) Tr: Transformidade solar (3) Referência da Tr. Brown e Ulgiati, (2004). (4) Referência da Tr. Brown e Ulgiati, (2004) e Odum et al. (2000). (5) Referência da Tr. Brandt Williams, (2002). (6) I: Recursos naturais. (7) SR: Serviços renováveis da economia. (8) SN: Serviços não renováveis da economia. (9) S: Serviços da economia (10) MR: Materiais renováveis da economia. (11) MN: Materiais não renováveis da economia. (12) M: Materiais da economia. (13) F: Recursos da economia. (14) Energia (Y) = I + F. (15) Energia disponível dos alimentos produzidos.

Em termos econômicos observou-se um valor total de 37.386,31 US\$ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> no sistema de produção com mamão irrigado. Sendo que os recursos da economia foram equivalentes a 65,88% desse total, enquanto os recursos ambientais representaram 34,12%. Dentre os recursos da economia os serviços foram equivalentes a 63,17%, no qual a mão-de-obra contribuiu com 37,57%, com destaque para a mão-de-obra familiar 30,73%. A eletricidade também teve um valor expressivo de contribuição de 20,50%.

Já os recursos ambientais renováveis a maior contribuição foi referente ao recurso hídrico utilizado na irrigação que correspondeu a 33,13% do valor total do sistema de produção. Dessa forma, o custo de produção do mamão irrigado considerando a integração dos recursos renováveis, não renováveis e econômicos foi 0,28 US\$ kg<sup>-1</sup>. A maior contribuição no valor final foi os custos com serviços e materiais, principalmente a mão-de-obra e a eletricidade.

Para Barros et al. (2009) os elevados custos da mão-de-obra podem explicar a dependência do setor, pois no estudo da energia e o desempenho econômico de diferentes sistemas de cultivo de banana em Guadalupe, França verificaram que os custos de produção foram elevados de 0,60 a 0,71 US\$ kg<sup>-1</sup>, sendo que em média 48% dos custos de produção de cada quilo de banana foi atribuído a mão-de-obra.

Com relação a energia total do sistema de produção agrícola em sequeiro a Tabela 44 mostra um valor emergético de 1,06E+16 seJ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, sendo menor que no sistema irrigado, devido aos menores recursos tanto da economia, quanto ambientais utilizados.

Os recursos da economia também corresponderam em maior contribuição 88,38%, sendo que desse total 85,23% foram equivalentes aos serviços, com destaque para a mão-de-obra familiar 54,38% e mão-de-obra auxiliar 18,07%. Já os serviços não renováveis como transporte e a mecanização corresponderam a 6,98% e 5,80%, respectivamente. Os materiais representaram apenas 3,14%.

Para os recursos ambientais renováveis a precipitação apresentou maior contribuição entorno de 11,35%, enquanto o recurso não renovável, bem como a erosão correspondeu a 0,27%.

Barros et al. (2009) no estudo da energia em diferentes sistemas de cultivo com a cultura da banana evidenciaram que a energia total foi altamente dependente dos recursos da economia, uma vez que representaram entre 88% e 94%.

**Tabela 44** - Análise de energia do sistema de produção de sorgo em sequeiro no assentamento lagoa grande, Tabuleiro do Norte - CE

Descrição <sup>(a)</sup>	Valor	Unid.	FR <sup>(1)</sup>	Tr. <sup>(2)</sup>	Unid.	Energia (seJ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )			US\$
						R	NR	Total	
1. Sol <sup>(4)</sup>	5,24E+10	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	1,00E+00	seJ J <sup>-1</sup>	5,24E+10	0,00E+00	5,24E+10	86,64
2. Precipitação <sup>(3)</sup>	3,95E+10	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	3,06E+04	seJ J <sup>-1</sup>	1,21E+15	0,00E+00	1,21E+15	266,23
Recursos renováveis (R)						1,21E+15	0,00E+00	1,21E+15	352,87
3. Erosão <sup>(3)</sup>	2,34E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,0	1,24E+05	seJ J <sup>-1</sup>	0,00E+00	2,90E+13	2,90E+13	6,39
Recursos não renováveis (N)						0,00E+00	2,90E+13	2,90E+13	6,39
I <sup>(8)</sup> = R + N						1,21E+15	2,90E+13	1,24E+15	359,27
Serviços (S)									
4. Mão-de-obra familiar <sup>4</sup>	3,13E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,9	1,85E+07	seJ J <sup>-1</sup>	5,21E+15	5,79E+14	5,79E+15	1275,44
5. Mão-de-obra auxiliar <sup>4</sup>	1,04E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,6	1,85E+07	seJ J <sup>-1</sup>	1,15E+15	7,70E+14	1,92E+15	423,79
SR <sup>(9)</sup>						6,37E+15	1,35E+15	7,71E+15	1699,23
6. Mecanização	1,36E+02	US\$	0,01	4,54E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	6,18E+12	6,12E+14	6,18E+14	136,22
7. Transporte	1,64E+02	US\$	0,01	4,54E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	7,42E+12	7,35E+14	7,42E+14	163,50
SN <sup>(10)</sup>						1,36E+13	1,35E+15	1,36E+15	299,72
S <sup>(11)</sup> = SR + SN						6,38E+15	2,70E+15	9,08E+15	1998,95
Materiais (M)									
8. Sementes <sup>(6)</sup>	2,92E+01	US\$	1,0	4,54E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	1,32E+14	0,00E+00	1,32E+14	29,21
MR <sup>(12)</sup>						1,32E+14	0,00E+00	1,32E+14	29,21
9. Herbicida <sup>(5)</sup>	3,00E+00	kg	0,05	2,49E+13	seJ kg <sup>-1</sup>	3,74E+12	7,10E+13	7,47E+13	16,45
10. Sacos <sup>(7)</sup>	2,80E+01	US\$	0,10	4,54E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	1,27E+13	1,14E+14	1,27E+14	28,00
MN <sup>(13)</sup>						4,69E+13	2,87E+14	3,34E+14	44,65
M <sup>(14)</sup> = MR + MN						4,69E+13	2,87E+14	3,34E+14	73,66
F <sup>(15)</sup> = M + S						6,43E+15	2,98E+15	9,41E+15	2072,61
<b>Y. Energia<sup>(16)</sup></b>						<b>7,64E+15</b>	<b>3,01E+15</b>	<b>1,06E+16</b>	<b>2431,88</b>
<b>O. Energia<sup>(17)</sup></b>						<b>1,12E+10</b>			

(a) Notas descritivas dos cálculos dos recursos no apêndice II. (1) FR: fração renovável. (2) Tr: Transformidade solar (3) Referência da Tr. Brown e Ulgiati, (2004). (4) Referência da Tr. Brown e Ulgiati, (2004) e Odum et al. (2000). (5) Referência da Tr. Brandt Williams, (2002). (6) Referência da Tr. Ortega et al., (2002). (7) Referência da Tr. Coelho et al., (2003). (8) I: Recursos naturais. (9) SR: Serviços renováveis da economia. (10) SN: Serviços não renováveis da economia. (11) S: Serviços da economia (12) MR: Materiais renováveis da economia. (13) MN: Materiais não renováveis da economia. (14) M: Materiais da economia. (15) F: Recursos da economia. (16) Energia (Y) = I + F. (17) Energia disponível dos alimentos produzidos.

Já em termos econômicos a valor total foi 2.431,88 US\$ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, em que novamente os recursos da economia superaram os recursos ambientais 85,23% e 14,77%, respectivamente. Dentre os recursos da economia os serviços representaram 82,19% com destaque para a mão-de-obra 69,87%, enquanto que os materiais corresponderam apenas a 3,03%. Já os recursos ambientais renováveis a precipitação apresentou maior contribuição 10,95%.

Dessa maneira, as principais diferenças entre os sistemas de produção estudados foram observados no uso de recursos da economia com maior evidência, como também no recurso renovável utiliza na irrigação no sistema de produção irrigado.

De uma maneira geral, a erosão do solo como recurso não renovável teve uma pequena contribuição nos dois sistemas de produção, sendo satisfatório para sustentabilidade dos sistemas agrícolas, uma vez que melhora o índice de sustentabilidade emergético, taxa de carga ambiental, além da renovabilidade do sistema de produção. A erosão foi considerada como o recurso não renovável, visto que a quantidade de solo perdida durante os ciclos anuais de cultivo não pode ser renovadas no decurso de um ano da cultura, além do período de formação e reestruturação do solo serem muito longo.

Como a perda de solo depende dentre outros fatores das propriedades físicas do solo, cobertura e etc, o valor de energia encontrado foi mais elevado no sistema de produção irrigado  $5,21E+13$  do que no sistema de sequeiro  $2,90E+13$ . Tal fato é atribuído principalmente à cobertura e ao manejo do solo, uma vez que no cultivo do sorgo o plantio foi realizado em semeadura direta mobilizando o solo apenas na linha de plantio. Já o cultivo irrigado teve maior mobilização do solo nas operações de aração e gradagem deixando o solo mais susceptível ao processo de erosão.

Conforme Ghaley e Porter (2013), os sistemas convencionais de produção a exposição do solo torna-o propício para a erosão em comparação com o sistema em integração, os quais proporcionam cobertura e necessidade de relativamente poucas operações de campo, reduzindo à erosão. Desse modo, observaram que a entrada de energia devido a erosão do solo no sistema de produção convencional foi maior ( $4,97E+09$  seJ ano<sup>-1</sup>) em relação ao sistema integrado ( $2,45E+09$  seJ ano<sup>-1</sup>).

Os índices emergéticos dos sistemas de produção são mostrados na Tabela 45. Verificou-se um valor de transformidade solar maior no sistema irrigado 1.040.000 seJ J<sup>-1</sup> comparado ao sistema de sequeiro 951.000 seJ J<sup>-1</sup>. A transformidade indica a eficiência do sistema na produção de um produto ou serviço. Assim sendo, o menor valor encontrado no modelo de produção em sequeiro indica maior eficiência de transformação de energia.

Para Cuvillier (2006), as transformidades solares em sistemas de produção de olerícolas orgânicos e convencionais foram em média  $2,37E+5$  e  $6,3E+6$  seJ J<sup>-1</sup>, respectivamente. Dessa forma, os valores encontrados nesse estudo encontram-se maiores em relação aos sistemas orgânicos de produção e menores em relação ao sistema convencional. A diferença principal é devido à variação do volume de produto

comercializado, bem como a razão da energia produzida ser sensível à quantidade de energia disponível considerada.

**Tabela 45** - Indicadores emergéticos dos sistemas de produção irrigado e sequeiro na região semiárida do Brasil

<b>Indicadores emergéticos</b>	<b>Unidade</b>	<b>Sistema Irrigado</b>	<b>Sistema de Sequeiro</b>
Transformidade solar (Tr)	seJ J <sup>-1</sup>	1.040.000	951.000
Renovabilidade (R%)	%	74,26	83,81
Taxa de Rendimento Emergético (EYR)	Adimensional	1,51	1,13
Razão de Carga Ambiental (ELR)	Adimensional	0,35	0,20
Taxa de Investimento Emergético (EIR)	Adimensional	0,34	0,18
Índice de Sustentabilidade Emergético (ESI)	Adimensional	4,37	5,86
Taxa de Intercâmbio Emergética (EER)	Adimensional	1,08	1,15

A renovabilidade estabelece o uso de recursos renováveis da natureza e da economia em função do valor da energia total, dessa maneira verificou-se que o sistema de sequeiro apresentou maior percentual de renovabilidade 84% tornando este mais sustentável no longo prazo em comparação ao sistema irrigado 72%. Este resultado é atribuído ao maior uso de recursos renováveis da natureza e da economia.

Ortega et al. (2010) no estudo de energia em sistemas de produção de olerícolas sob manejo orgânico verificaram que os sistemas estudados apresentaram alta renovabilidade variando de aproximadamente 60 a 85%.

A taxa de rendimento emergético demonstra a capacidade do sistema em explorar os recursos não renováveis da economia e fornecê-los na forma de produtos como uma resposta aos investimentos externos. Observa-se na Tabela 45 que o sistema de sequeiro mostra menor potencial de contribuição socioeconômico do que o sistema irrigado, uma vez que a EYR de 1,13 indica que a energia dos recursos não renováveis da economia é praticamente igual à quantidade de energia que é proveniente do produto final, portanto, o sistema apresenta pequeno potencial de contribuição para o crescimento econômico. Já a EYR de 1,51 no sistema irrigado indica uma contribuição socioeconômica um pouco melhor. Ortega et al. (2001) encontraram valores da taxa de rendimento em sistemas agrícolas variando de 1 a 4.

Brown e Ulgiati (2004) quando a EYR=1, indica que a energia dos recursos locais é exatamente igual à quantidade de energia que é provida da economia, portanto, o sistema não tem nenhum potencial de contribuição para o crescimento econômico, sendo pequena quando:  $1 < EYR < 2$ ; moderada:  $2 < EYR < 5$  e alta:  $EYR > 5$ .

Os valores encontrados nesse estudo foram semelhantes aos sistemas de produção agrícola de soja no Brasil, em que os valores foram de 1,18 a 1,78 (Ortega et al., 2005). Já no sistema de produção de soja na Itália a taxa de rendimento variou de 1,98 a 2,32 (PANZIERI et al., 2000).

Para a razão de carga ambiental o valor de 0,20 no sistema de sequeiro mostra menor estresse ambiental comparado ao sistema irrigado 0,35. Quanto maior o valor da ELR maiores serão os impactos ambientais causados pelo sistema de produção, devido ao uso de recursos não renováveis. Para Brown e Ulgiati (2004),  $ELR < 2$  indica baixa carga ambiental,  $2 < ELR < 3$ , moderadamente baixo,  $3 < ELR < 10$  moderado e  $ELR > 10$  alta carga ambiental. O maior valor encontrado no modelo de produção irrigado foi devido ao maior uso de recursos não renováveis da economia, principalmente a eletricidade que correspondeu a 20,55% da energia total do sistema.

Já a taxa de investimento energético analisa o uso eficiente da energia dos investimentos com recursos não renováveis da economia em relação aos recursos renováveis da natureza e da economia, além dos recursos não renováveis da natureza. Dessa maneira, o menor valor de 0,18 encontrado no sistema de sequeiro significa menor gasto de energia não renovável, condição favorável para diminuir o custo de produção e propiciar melhor desempenho no mercado, uma vez que esse indicador é interpretado como um índice de competitividade, em que menor EIR significa competitividade do sistema de produção no mercado.

O índice de sustentabilidade avalia a contribuição do sistema para a economia em relação ao estresse ambiental. Conforme Brown e Ulgiati, (2004) o  $ESI < 1$  indica sistema não sustentável, sistemas com  $ESI > 1$  contribuem para o crescimento econômico, sem grave perturbação ambiental, já valores intermediários ( $1 < ESI < 5$ ) caracterizam sustentabilidade no médio prazo e valores de  $ESI > 5$  indica sustentabilidade no longo prazo. Portanto, observou-se que o perímetro irrigado possui uma sustentabilidade em médio prazo em função do maior uso de recursos não renováveis. Já o sistema de sequeiro apresenta um índice de 5,86 indicando sustentabilidade em longo prazo, devido ao maior uso de recursos renováveis.

Com relação à razão da energia do produto pela energia do dinheiro, bem como a taxa de intercâmbio em ambos os sistemas o produtor e o consumidor praticamente obtiveram a mesma quantidade de energia, indicando que nenhum parceiro comercial tem vantagem relativa sobre o outro, pois quando  $EER < 1$ , o produtor tem vantagem sobre o consumidor, já a  $EER > 1$ , o produtor perde energia, empobrece, ou seja, a razão energética é em benefício do consumidor.

#### 4. CONCLUSÕES

A agricultura de sequeiro apresentou melhor balanço energético em relação à agricultura irrigada.

A energia total  $1,69E+17$  seJ  $ha^{-1}$   $ano^{-1}$  no sistema de produção agrícola irrigado foi maior que no sistema de sequeiro  $1,06E+16$  seJ  $ha^{-1}$   $ano^{-1}$ .

Os sistemas de produção estudados contribuem para o crescimento econômico da região semiárida com baixa carga ambiental.

O sistema de sequeiro apresentou sustentabilidade em longo prazo e o sistema irrigado em médio prazo com renovabilidades de 83,81% e 74,26%, respectivamente.

## REFERÊNCIAS

- AGOSTINHO, F.; DINIZ, G.; SICHE, R.; ORTEGA, E. The use of emergy assessment and the geographical information system in the diagnosis of small family farms in Brazil. **Ecol. Modelling**, v. 210(1-2), p. 37-57. 2008.
- BARROS, I.; BLAZY, J. M.; RODRIGUES, G. S.; TOURNEBIZE, R.; CINNA, J. P. Emergy evaluation and economic performance of banana cropping systems in Guadeloupe (French West Indies). **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 129, p. 437 - 449. 2009.
- BROWN, M. T. e ULGIATI, S. Emergy analysis and environmental accounting. **Encyclopedia Energy**, v. 2, p. 329–354. 2004.
- BONILLA, S. H.; GUARNETTI, R. L.; ALMEIDA, C. M. V. B.; GIANNETTI, B. F. Sustainability assessment of a giant bamboo plantation in Brazil: exploring the influence of labour, time and space. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, p. 83 - 91. 2010.
- BONAN, H. e PRIM, J. L. Rapport sur la présence des pesticides dans les eaux de consommation humaine en Guadeloupe. Rapport N° 2001-070. Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Ministère de l'Emploi et de la Solidarité. Paris, France. 2001.
- BRANDT-WILLIAMS, S. L. **Emergy of Florida agriculture** (2nd printing). In: Handbook of Emergy Evaluation. Center for environmental policy, University of Florida, Gainesville, FL, USA. 2002.
- CAMPBELL, D. E. e GARMESTANI, A. S. An energy systems view of sustainability: Emergy evaluation of the San Luis basin, Colorado. **J. Environ. Mgmt.** v. 95(1), p. 72-97. 2012.
- CASTELLINI, C.; BASTIANONI, S.; GRANAI, C.; DAL BOSCO, A.; BRUNETTI, M. Sustainability of poultry production using the emergy approach: comparison of conventional and organic rearing systems. **Agriculture, Ecosystems & Environment** v.114, p. 343–350. 2006.
- COELHO, O.; ORTEGA, E. E COMAR, V. **Balço de Emergia do Brasil** (Dados de 1996, 1989 e 1981). 2003. In: Engenharia Ecológica e Agricultura Sustentável. Disponível em: <http://www.fea.unicamp.br/docentes/ortega/livro/index.htm>. Acesso em: 15 fev. de 2017.
- CHEN, D.; WEBBER, M.; CHEN, J.; LUO, Z. Emergy evaluation perspectives of an irrigation improvement project proposal in China. **Ecological Economics**, v. 70, p. 2154–2162. 2011.
- CLERMONT-DAUPHIN, C.; CABIDOCHÉ, Y. M.; MEYNARD, J. M. Effects of intensive monocropping of bananas on properties of volcanic soils in the uplands of the French West Indies. **Soil Use Manage.** v. 20, p. 105–113. 2004.

CUVILLIER, S. **Análise de metodologias de avaliação da sustentabilidade de sistemas agrícolas**. 2006. 176 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro.

DANG, X. e LIU, G. Emergy measures of carrying capacity and sustainability of a target region for an ecological restorations programme: a case study in Loess Hilly Region, China. **Journal of Environmental Management**, v. 102, p. 55-64. 2012.

GIANNETTI, B. F.; OGURA, Y.; BONILLA, S. H.; ALMEIDA, C. M. V. B. Emergy assessment of a coffee farm in Brazilian Cerrado considering in a broad form the environmental services, negative externalities and fair price. **Agricultural Systems** v. 104, p. 679 - 688. 2011.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). **Climate change, water and food security**. Rome, 2011.

GHALEY, B. B. e PORTER, J. R. Emergy synthesis of a combined food and energy production system compared to a conventional wheat (*Triticum aestivum*) production system. **Ecological Indicators**, v. 24, p. 534 - 542. 2013.

GANRY, J. Plant biology and pathology. Diversité spécifique des peuplements végétaux à l'échelle de bassin versant et contrôle des parasites des cultures: l'exemple de la culture bananière aux Antilles françaises. **R. Biologies**, v. 327, p. 621 - 627. 2004.

GIAMPIETRO, M.; CERRETELLI, G.; PIMENTEL, D. Energy analysis of agricultural ecosystem management: human return and sustainability. **Agric. Ecosyst. Environ.** v. 38, p. 219 - 244. 1992.

LOPES, F. B.; SOUZA, F.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; CAITANO, R. F. Determinação do padrão do manejo da irrigação praticada no Perímetro Irrigado Baixo a Acaraú, Ceará, via análise multivariada. **Irrig. Botucatu**. v. 16 (3), p. 301-316. 2011.

LU, H. F.; CAMPBELL, D. E.; LI, Z. A.; REN, H. Emergy synthesis of an agro-forest restoration system in lower subtropical China. **Ecological Engineering**, v. 27, p. 175 - 192. 2006.

MARTIN, J. F.; DIEMONT, S. A. W.; POWELL, E.; STANTON, M.; LEVY-TACHER, S. Emergy evaluation of the performance and sustainability of three agricultural systems with different scales and management. **Agric. Ecosyst. Environ.** v. 115, p. 128 - 140. 2006.

NASUTI, S.; EIRÓ, F.; LINDOSO, D. Os desafios da agricultura no Semiárido brasileiro. **Sustentabilidade em debate**. v.4, n.2, p.276-298, jul./dez. 2013.

ODUM, H. T.; DOHERTY, S. J.; SCATENA, F. N.; KHARECHA, P. Emergy evaluation of reforestation alternatives in Puerto Rico. **Forest Science**, v. 46 (4), p. 521-530. 2000.

ODUM, H. T. **Environmental accounting: emergy and environmental decision making**. New York: John Wiley, 1996. 370 p.

ORTEGA, E.; GUERRA, J. G. M.; ASSIS, R. L. RIBEIRO, R. L. D. Análise emergética de Sistemas de produção de olerícolas sob manejo orgânico. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia** v.3 n.3. 2010.

ORTEGA, E.; CAVALETT, O.; BONIFACIO, R. E WATANABE, M. Brazilian Soybean Production: Emergy analysis with an expanded scope. **Bulletin of Science, Technology & Society**, v. 25, n. 4, p. 1-11. 2005.

ORTEGA, E.; ANAMI, M. H.; DINIZ, G. **Certification of food products using emergy analysis**. In: III BIENNIAL INTERNATIONAL WORKSHOP: ADVANCES IN ENERGY STUDIES, Porto Venere, p. 227-237. 2002.

ORTEGA, E.; MILLER, M.; ANAMI, M. **From emergy analysis to public policy: soybean in Brazil**. In: II BIENNIAL EMERGY ANALYSIS RESEARCH CONFERENCE, Gainesville. Proceeding. p. 77-94. 2001.

PALÁCIO, H. A. Q.; ANDRADE, E. M.; SANTOS, J. C. N.; ARAÚJO NETO, J. R., BRASIL, P. P. Emergy evaluation of semi-arid watersheds under different management strategies. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, v. 56 (6), p. 1357-1363. 2012.

PANZIERI, M.; MARCHETTINI, N. E HALLAM, T. G. 2000. Importance of the *Bradhyrizobium japonicum* symbiosis for the sustainability of a soybean cultivation. **Ecol. Model**, v. 135, p. 301 - 310. 2000.

RASUL, G.; e THAPA, G. B. Financial and economic suitability of agroforestry as an alternative to shifting cultivation: The case of the Chittagong Hill Tracts, Bangladesh. **Agric. Systems**, v. 91(1-2), p. 29-50. 2006.

SHEUYANGE, A.; OBA, G.; WELADJI, R. B. Effects of anthropogenic fire history on savanna vegetation in northeastern Namibia. **J. Environ. Mgmt.** v. 75(3), p. 189 - 198. 2005.

SNYMAN, H. A. e PREEZ, C. C. Rangeland degradation in a semi-arid South Africa: II. Influence on soil quality. **J. Arid Environ.** v. 60(3), p. 483-507. 2005.

TILMAN, D.; CASSMAN, K. G.; MATSON, P. A.; NAYLOR, R.; POLASKY, S. Agricultural sustainability and intensive production practices. **Nature** v. 418, p. 671-677. 2002.

VENKATESWARLU, B. e PRASAD, J. V. N. S. Carrying Capacity of Indian Agriculture: Issues Related to Rainfed Farming. **Current Science**, v. 102 (6), p. 882 - 8. 2012.

VILLAS BÔAS, R.L.; PASSOS, J.C.; FERNANDES, M.; BÜLL, L.T.; CEZAR, V.R.S.; GOTO, R. Efeito de doses e tipos de compostos orgânicos na produção de alface em dois solos sob ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.22, n.1, p.28-34, jan-mar 2004.

ZHAO, H. L.; ZHAO, X. Y.; ZHOU, R. L. ZHANG, T. H.; DRAKE S. 2005. Desertification processes due to heavy grazing in sandy rangeland, Inner Mongolia. **J. Arid Environ.** v. 62 (2). p. 309 - 319. 2005.

### CAPÍTULO 03

#### **SUSTENTABILIDADE ECONÔMICA, AMBIENTAL E SOCIAL DE DIFERENTES SISTEMAS ALTERNATIVOS DE PRODUÇÃO**

**RESUMO:** O uso eficiente dos recursos naturais nos sistemas de produção é fundamental para alcançar o equilíbrio ecológico e a sustentabilidade do sistema produtivo. Os atuais sistemas de produção agrícola têm intensificado o uso de fertilizantes, pesticidas, combustíveis e maquinaria, que contribui no aumento do fluxo de energia, acelerando o processo de degradação. Assim sendo, objetivou-se avaliar o desempenho ambiental, econômica e social de diferentes sistemas agrícolas de produção irrigados em função de diversas fontes de água, energia, adubação e de sequeiro em razão de diversos preparo do solo usando a análise emergética. O estudo dos modelos de produção irrigada foi conduzido na área experimental da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Tianguá - CE e os modelos alternativos de produção propostos para a agricultura de sequeiro, a pesquisa foi realizada na Fazenda Normal no município de Quixeramobim - CE. A análise emergética constitui-se basicamente de três etapas: construção do diagrama sistêmico de fluxo de energia, elaboração da tabela de avaliação de energia e o cálculo dos indicadores emergéticos. Verificou-se que os sistemas de produção com água residuária e energia solar fotovoltaica (S2A0, S2A1 e S2A2) apresentaram melhores taxas de rendimento emergético em relação aos sistemas convencionais irrigados (S1A0, S1A1, e S1A2) e em comparação aos cultivos em sequeiro (T-PC, T-ESS, T-CSS e T-CCO). A transformidade solar foi maior nos sistemas renováveis irrigados  $4,95E+07 \text{ seJ J}^{-1}$  em comparação aos sistemas convencionais irrigados  $2,94E+07 \text{ seJ J}^{-1}$  e de sequeiro  $2,09E+07 \text{ seJ J}^{-1}$ . Os sistemas agrícolas convencionais irrigados e os sistemas de cultivo em sequeiro apresentaram alto fluxo de energia proveniente de recursos da economia. Os sistemas de produção em sequeiro mostraram melhor balanço de energia em relação aos cultivos irrigados. A entrada de recursos da economia nos sistemas agrícolas aumenta a carga ambiental e diminui a renovabilidade.

**Palavras-chaves:** Modelos de produção. Irrigação. Sistema de sequeiro. Energia.

## ECONOMIC, ENVIRONMENTAL AND SOCIAL SUSTAINABILITY OF DIFFERENT ALTERNATIVE PRODUCTION SYSTEMS

**ABSTRACT:** The use efficient of natural resources in production systems is fundamental to achieving the ecological balance and sustainability of the productive system. Current agricultural production systems have intensified the use of fertilizers, pesticides, fuels and machinery, which contributes to increased energy flow, accelerating the degradation process. The aim of this study was to evaluate the environmental, economic and social performance of different irrigated agricultural production systems in function of several sources of water, energy, fertilizing and rainfed in function of different soil preparation using the emergy analysis. The study of irrigated production models was conducted in the experimental area of the Sewage Treatment Station (ETE) in Tianguá - CE and the alternative production models proposed for rainfed agriculture, the research was carried at Fazenda Normal in the municipality of Quixeramobim - CE. The emergy analysis consists basically of three steps: construction of the systemic diagram of flow energy, elaboration of the table of evaluation of emergy and the calculation of the emergy indicators. It was verified that the systems of production with wastewater and photovoltaic solar energy (S2A0, S2A1 and S2A2) showed better rates of emergy yield in relation to the conventional irrigated systems (S1A0, S1A1, and S1A2) and in comparison to the crops in the rainfed (T-PC, T-ESS, T-CSS and T-CCO). The solar Transformity was higher in renewable irrigation systems  $4.95E+07 \text{ seJ J}^{-1}$  compared to conventional irrigation systems  $2.94E+07 \text{ seJ J}^{-1}$  and rainfed  $2.09E+07 \text{ seJ J}^{-1}$ . The conventional irrigated systems and rainfed cultivation showed a high flow of emergy from the resources of the economy. Rainfed production systems showed a better balance of emergy in relation to irrigated crops. The input of resources from the economy into agricultural systems increases the environmental impact and reduces renewability.

**Keywords:** Production models. Irrigation. Rainfed system. Emergy.

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente é em um cenário de susceptibilidade a degradação que os sistemas agrícolas no semiárido estão inseridos. Caracterizadas pela escassez hídrica e fragilidade dos recursos naturais, as áreas agrícolas na região semiárida do Nordeste apresentam uma grande diversidade climática, em que a forma de exploração dessas áreas, no decorrer do tempo vem causando impacto acentuado na sustentabilidade dos recursos naturais.

As áreas agrícolas na região Nordeste são exploradas com uma diversidade de sistemas de cultivo de forma intensiva e com práticas de manejo inadequadas ao regime climático, o que aumenta a pressão sobre os recursos naturais, acelerando o processo de degradação. Para Andrea et al. (2014), o incremento do rendimento agrícola tem intensificado o uso de fertilizantes, pesticidas, combustíveis e maquinaria, que contribui no aumento do fluxo de energia nos sistemas de produção.

Segundo Araújo Filho (2013), para alcançar a sustentabilidade de um sistema de produção deve fundamentar-se no uso controlado de energia, água e recursos externos, buscando estabelecer as cadeias alimentares, mantendo, tanto quanto possível, fechados os ciclos biogeoquímicos, ou seja, regula seus fluxos de energia, promover a ciclagem de nutrientes e etc. Para Gliessman (2009), a sustentabilidade é em última instância, um teste de tempo, um sistema que continua produtivo por um longo período de tempo sem degradar sua base de recurso.

Dentro da concepção de novos modelos de produção agrícola sustentáveis, em que se destaca a necessidade do desenvolvimento de uma agricultura menos degradante, mais eficiente e que assegure a conservação e contabilização de todos os recursos naturais envolvidos no sistema de produção, a análise emergética por meio de diferentes indicadores é capaz de determinar as entradas e saídas de recursos renováveis e não renováveis da natureza e da economia utilizados nos sistemas agrícolas (ODUM, 1996).

Para Agostinho et al. (2010), a metodologia emergética permite contabilizar os fluxos de recursos da natureza, assim como os materiais e serviços em uma mesma base de medida, em que possibilita comparar a dinâmica destes fluxos em diferentes modelos de agricultura.

Segundo Campbell et al. (2004) é um método que permite uma abordagem sistêmica através do estudo de como a energia disponível flui através de um dado sistema e, por extensão, avalia a saúde desse sistema, a eficiência no uso de energia para

produzir produtos e as áreas nas quais o sistema pode ser melhorado. De acordo com Fonseca et al. (2015), esse método fornece um conjunto de índices que pode ajudar a entender o sistema e as estratégias de gerenciamento que maximizam o fluxo de energia no sistema.

Ghisellini et al. (2014) avaliaram a sustentabilidade de sistemas agrícolas na Itália por meio da análise de energia. Veisi et al. (2016) investigaram o desempenho energético e a sustentabilidade de três sistemas agrícolas no Irã. Totino, (2016) utilizou a análise de energia como ferramenta de comparação entre sistemas de produção agrícola na Argentina. Zhai et al. (2018) avaliaram a energia do metabolismo na cultura do milho sob condições ambientais diferentes na China.

Waureck et al. (2009) investigaram a sustentabilidade por meio de índices energéticos em dois sistemas de produção de trigo no Paraná, Brasil. Barros et al. (2017) quantificaram de forma integrada, o desempenho econômico e energético da produção de milho em trópicos semiáridos em Aracaju-SE, Brasil.

O uso de fontes alternativas ou águas de qualidade inferior (salinas ou residuárias) tem despertado o interesse da sociedade frente ao acelerado crescimento populacional e aumento da demanda hídrica (NEVES, 2012). Assim como, a utilização de energia solar fotovoltaica para acionamento de motobombas na irrigação (VICENTIN et al., 2016). Acredita-se que essas alternativas em longo prazo, assegurem melhor desempenho econômico, ambiental e social dos sistemas agrícolas, permitindo a obtenção de colheitas rentáveis com menor degradação dos recursos naturais.

Assim sendo, objetivou-se avaliar o desempenho ambiental, econômica e social de diferentes sistemas de produção irrigados em função de diversas fontes de água, energia e adubação em comparação a diferentes modelos de produção de sequeiro em razão de diversas formas de preparo do solo usando a análise energética, a fim de fornecer informações para apoiar os tomadores de decisão com dados quantitativos para promover o desenvolvimento sustentável da produção de feijão-caupi na região Nordeste do Brasil.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Localização das áreas de estudo dos sistemas de produção**

O estudo dos modelos de produção irrigada foi conduzido na área experimental da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Tianguá - CE pertencente à Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará (CAGECE), situada no município de Tianguá, localizada geograficamente a 3° 44' de latitude Sul e 40° 59' de longitude Oeste do meridiano de Greenwich e altitude de 740 m. De acordo com a classificação de Köppen, o clima predominante é do tipo Aw' Clima tropical com estação seca. A temperatura média anual 26 °C e pluviometria média anual de 1.350 mm.

Já os modelos alternativos de produção propostos para a agricultura de sequeiro, a pesquisa foi realizada na Fazenda Normal pertencente à Ematerce no município de Quixeramobim, situado no Sertão Central - CE (5° 12' S, 39° 17' W) e altitude de 250 m. Conforme a classificação de Köppen, o clima é do tipo BSh'w' semiárido. A temperatura média diária anual 29,5 °C. A precipitação pluviométrica anual situa-se entre 500 a 750 mm.

### **2.2 Descrição dos sistemas de produção irrigados**

Os sistemas de produção irrigados constituiram na instalação de um sistema de bombeamento fotovoltaico de irrigação (SFVI) associado à utilização de água residuária e diferentes tipos de adubação. Além disso, foram instalados também sistemas convencionais de produção agrícola irrigado com água potável e acionado pela energia da rede elétrica associados a diferentes fontes de adubação.

#### **2.2.1 Tratamentos e delineamento experimental**

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em parcelas subdivididas no esquema fatorial (2 x 3). Cada parcela foi subdividida em três subparcelas em função das fontes de adubação para cada sistema: convencional (água potável + energia da rede) e renovável (água residuária + energia solar fotovoltaica), totalizando 30 unidades experimentais. Nas parcelas foi realizada a combinação dos fatores (água e energia) e nas subparcelas os tipos de adubação (mineral e orgânica), além do tratamento testemunha, ou seja, sem adubação nos dois sistemas.

A área total do experimento cultivada com o feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) foi de 504 m<sup>2</sup> (16,8 m x 30 m), em que as parcelas experimentais foram 16,8 m<sup>2</sup> (16,8 m x 1 m), subdividas em 3 subparcelas de 5,6 m<sup>2</sup> (5,6 m x 1 m). O espaçamento entre plantas foi 0,4 m e entre fileiras de plantas 1 m conforme recomendação de espaçamento para cultivar utilizada “setentão 596”. No entanto foi utilizado o espaçamento de 2 m entre fileiras para funcionar como efeito bordadura e controle local em função da aplicação da água residuária.

O croqui geral e a distribuição dos tratamentos na área experimental é apresentado na Figura 12, capítulo 1. Os seis tratamentos em função das combinações dos seguintes fatores água, energia e adubação foram:

- S<sub>1</sub>A<sub>1</sub> - Sistema convencional de produção + adubação mineral (água potável + energia da rede + adubação mineral);
- S<sub>2</sub>A<sub>1</sub> - Sistema renovável de produção + adubação mineral complementar (água residuária + energia solar fotovoltaica + adubação mineral complementar);
- S<sub>1</sub>A<sub>2</sub> - Sistema convencional de produção + adubação orgânica (água potável + energia da rede + adubação orgânica);
- S<sub>2</sub>A<sub>2</sub> - Sistema renovável de produção + adubação orgânica complementar (água residuária + energia solar fotovoltaica + adubação orgânica complementar);
- S<sub>1</sub>A<sub>0</sub> - Sistema convencional de produção sem adubação (água potável + energia da rede sem adubação);
- S<sub>2</sub>A<sub>0</sub> - Sistema renovável de produção sem adubação (água residuária + energia solar fotovoltaica sem adubação).

### 2.2.2 Instalação e condução da cultura

Primeiramente foi realizada a limpeza da área, em seguida o preparo convencional do solo por meio de uma gradagem e por último o piqueteamento da área, demarcando-se ao longo da área experimental as medidas equivalentes às parcelas. Posteriormente foi realizada a abertura das covas para aplicação do composto orgânico nas subparcelas que foram utilizadas adubação orgânica, uma vez que torna-se necessário um período de reação desse composto no solo.

O plantio foi realizado de forma manual no início de novembro de 2017, no qual utilizou-se a cultivar “Setentão 596” semeando três sementes por cova no espaçamento 0,4 x 1 m perfazendo uma densidade de 50.000 mil plantas ha<sup>-1</sup>. As

sementes foram cedidas pelo Laboratório de Análise de Sementes do CCA/UFC. Aos 7 dias após a semeadura realizou-se o desbaste manualmente deixando-se duas plantas por cova.

O sistema de irrigação utilizado em ambos os sistemas de produção (tratamento) foi do tipo gotejamento do fabricante Amanco, modelo Drip, vazão nominal de  $1,6 \text{ L h}^{-1}$ , pressão de serviço 10 mca e espaçamento entre emissores de 20 cm, sendo dois emissores para cada planta.

Para o bombeamento de água no sistema renovável foi utilizado o conjunto motobomba solar fotovoltaico da marca Anauger, modelo P100, o qual foi composto por uma motobomba, um driver e 2 painéis fotovoltaicos de 95 Wp, totalizando 190 Wp de potência. Já no sistema convencional foi usado um conjunto motobomba da marca Dancor, modelo da série CAM W-6C com potência de 0,75 cv.

A água usada no sistema convencional foi proveniente do sistema de abastecimento público do município de Tianguá - CE gerenciado pela CAGECE, no qual provêm do açude Jaburu. Já a água residuária (efluente doméstico tratado) utilizado no sistema renovável foi procedente da Estação de Tratamento de Esgoto de Tianguá (ETE São Gonçalo), sendo a tecnologia de tratamento por meio de lagoas de estabilização, no qual é composta por uma lagoa anaeróbia, uma facultativa e três de maturação.

A adubação baseou-se na análise química do solo e da água residuária, além da exigência nutricional da cultura. Foi aplicado o equivalente a  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  de nitrogênio (N),  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de fósforo (P) e  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  de potássio (K) correspondente a 100% do recomendado e  $6,0 \text{ kg ha}^{-1}$  de N,  $52 \text{ kg ha}^{-1}$  de P e  $9,0 \text{ kg ha}^{-1}$  de K referente à adubação complementar, sendo as fontes dos nutrientes a ureia, o superfosfato simples e o cloreto de potássio. O superfosfato simples foi aplicado o total na semeadura, enquanto a ureia e potássio foram aplicados metade na semeadura e metade aos 30 dias após o plantio. Já a adubação orgânica foi aplicado o equivalente a  $19.525 \text{ kg ha}^{-1}$  correspondente a 100% do recomendado e  $5.925 \text{ kg ha}^{-1}$  referente à adubação complementar.

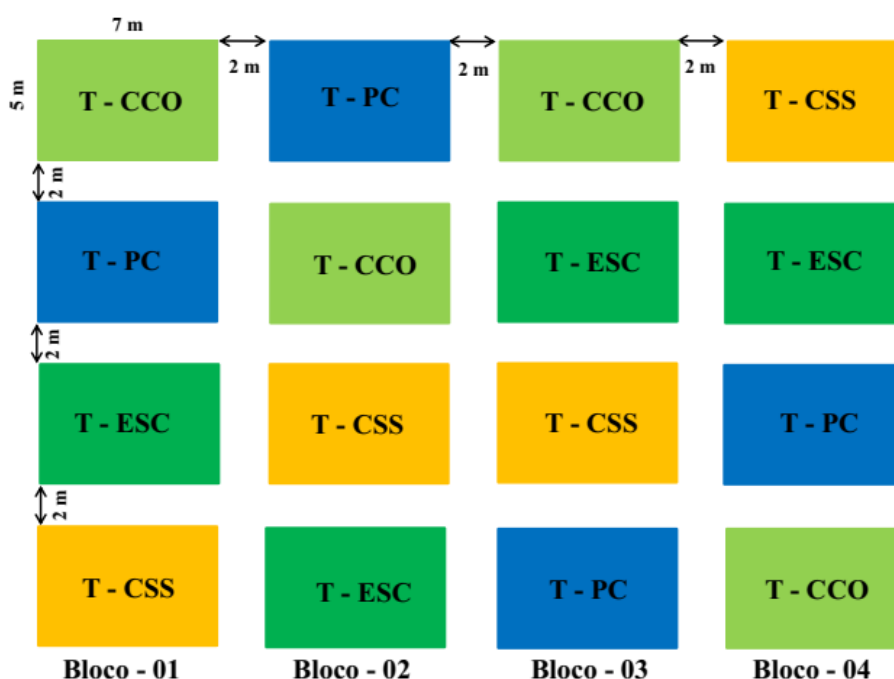
A colheita foi realizada de forma manual, após a maturação das vagens aos 74 dias após a semeadura, sendo o material vegetal colhido das 6 plantas centrais de cada subparcela da unidade experimental. O material coletado foi colocado em sacos de papel previamente identificados e levados para secagem complementar à temperatura ambiente no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Campus Tianguá.

### 2.3 Descrição dos modelos produção em sequeiro

O experimento foi composto por quatro sistemas de preparo do solo (tratamentos). O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado em parcelas subdivididas, com quatro repetições, perfazendo um total de 16 unidades experimentais. As unidades experimentais foram espaçadas entre si, por 2 m. As parcelas tinham área total de 35 m<sup>2</sup> (5 m x 7 m) com área útil de 15 m<sup>2</sup>. A área total do experimento foi de 560 m<sup>2</sup>. Na Figura 22 observam-se os tratamentos que representaram os quatro sistemas de produção decorrentes de diferentes sistemas de preparo do solo.

- Tratamento 01 (T-PC) - Sistema de produção sem preparo do solo;
- Tratamento 02 (T-ESC) - Sistema de produção com o preparo do solo realizado com escarificador;
- Tratamento 03 (T-CSS) - Sistema de produção com o preparo do solo realizado por meio de subsoladores e sulcadores;
- Tratamento 04 (T-CCO) - Sistema de produção com o preparo do solo realizado por meio de subsoladores, sulcadores e adição de adubação orgânica.

**Figura 22** - Disposição dos modelos de produção em sequeiro na área experimental



Fonte: Elaborado pelo autor.

No preparo do solo foram utilizados diferentes tipos de implementos agrícolas. O escarificador foi utilizado no manejo do solo para o tratamento 02, o subsolador e o sulcador ambos para os tratamentos 03 e 04, porém, este último teve a

incorporação do composto orgânico (20 t ha<sup>-1</sup>), produzido com restos de vegetais e esterco oriundos do próprio local.

O composto orgânico utilizado no experimento foi produzido na própria área trabalhada com o aproveitamento da serrapilheira (43%), o esterco de bovino (20%), palha do milho (7%) e capim elefante (30%).

### 2.3.1 Plantio, precipitação pluviométrica e colheita

A cultura instalada foi o feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), cultivar “Setentão”, com semeadura manual em todos os tratamentos no espaçamento 1,0 m entre linhas e 0,5 entre plantas. O plantio foi realizado no início de abril devido à falta de umidade no solo nos meses de fevereiro e março em função da ocorrência de longos períodos sem chuva.

Em se tratando da agricultura de sequeiro, as precipitações pluviométricas são as responsáveis pelo suprimento de água para atender as necessidades hídricas da cultura durante todo o seu ciclo. Dessa forma, a precipitação pluviométrica foi medida por um pluviômetro convencional modelo “ville de paris”. A quantidade de água precipitada na área experimental a partir do plantio do feijão até colheita (70 dias) representou uma lâmina total de 310,6 mm.

Ao final do ciclo da cultura foram colhidas na área útil de 15 m<sup>2</sup> as vagens de todas as plantas em cada unidade experimental para avaliação do rendimento da cultura.

## 2.4 Balanço emergético

Foi utilizada a metodologia emergética baseada nos trabalhos de Odum (1996); Ortega et al. (2010) e Brown e Ulgiati (2004) para avaliar os fluxos de energia renováveis e não-renováveis, além dos materiais e insumos nos diferentes modelos de produção (tratamentos).

Seguindo as três etapas padrão da análise emergética, primeiramente definiu-se os limites dos sistemas de cada tratamento. Em seguida, foram elaboradas as tabelas de análise de energia para cada um dos modelos em estudo. E por último a determinação dos índices emergéticos.

Desse modo, na primeira etapa todos os componentes e fluxos relevantes do sistema são identificados e, em seguida, sistematizados criando um diagrama de

linguagem de sistemas de energia, no qual as variáveis principais de entrada e saída em cada tratamento foram determinadas. Essa etapa foi realizada no levantamento de dados a partir de trabalho realizado na área experimental e da literatura. Outro aspecto importante para o diagrama é a definição de limites do sistema para identificar todos os importantes fluxos de entrada e saída que cruzam as fronteiras do sistema.

No segundo passo realizou-se a conversão de cada linha dos fluxos de entrada do diagrama em uma linha de cálculo de avaliação de energia, ou seja, corresponde a análise dos componentes do diagrama determinando todos os estoques e fluxos em joules, gramas ou dólares, no qual são convertidos para uma mesma unidade (seJ) multiplicando-os por suas respectivas transformidades e, dessa maneira, podem ser comparados em termos de sua capacidade relativa para executar o trabalho dentro do sistema.

Na última etapa realizou-se o cálculo dos índices emergéticos a partir dos indicadores agregados obtidos através da tabela de avaliação de fluxos de energia. Nas equações a seguir são apresentados os indicadores emergéticos propostos por Odum (1996) e modificados por Ortega et al. (2002).

A energia total (Y) constitui todos os fluxos de energia de entrada no sistema provenientes da natureza (I) e da economia (F) equação 8.

$$Y = I + F \quad (8)$$

em que:

Y – Energia total (seJ);

I – Recursos renováveis e não renováveis da natureza (seJ);

F – Recursos renováveis e não renováveis da economia (seJ).

A transformidade solar (Tr) avalia a eficiência do sistema. O menor valor indica maior eficiência de transformação da energia e a maior transformidade indica que o sistema ocupa uma posição superior na hierarquia da energia na biosfera. A transformidade do sistema indica, também, o valor real do produto (ORTEGA et al., 2010) equação 9.

$$Tr = \frac{Y}{E} \quad (9)$$

em que:

Tr – Transformidade solar (seJ J<sup>-1</sup>);

E - Energia produzida (J).

O índice de renovabilidade (R%) é a porcentagem de energia renovável que entra no sistema em relação a energia total. Sistemas com alta renovabilidade prevalecem, no longo prazo em função da maior entrada de recursos renováveis (equação 10).

$$R\% = \frac{100x (R + MR + SR)}{Y} \quad (10)$$

em que:

R% - Renovabilidade (%);

R – Recursos renováveis da natureza (seJ);

MR – Materiais renováveis da economia (seJ);

SR – Serviços renováveis da economia (seJ);

A taxa de rendimento emergético (EYR) indica a habilidade do sistema em explorar os recursos da natureza e disponibilizá-los na forma de produtos, em resposta aos investimentos externos. Quando EYR é igual a um (EYR=1), indica que a energia dos recursos locais é exatamente igual à quantidade de energia que é provida da economia, portanto, o sistema não tem nenhum potencial de contribuição para o crescimento econômico, pequena quando:  $1 < EYR < 2$ ; moderada:  $2 < EYR < 5$ ; e, alta:  $EYR > 5$  (ODUM, 1996, BROWN e ULGIATI, 2004 e ORTEGA, et al., 2002). Equação 11.

$$EYR = \frac{Y}{F} \quad (11)$$

em que:

EYR – Taxa de rendimento emergético;

MN – Materiais não renováveis da economia (seJ);

SN – Serviços não renováveis da economia (seJ).

Já a taxa de investimento emergético (EIR) avalia o uso eficiente da energia dos investimentos em recursos da economia. O menor valor de EIR indica menor gasto

de energia não renovável, principalmente, condição que diminui o custo de produção e propicia melhor desempenho no mercado (ORTEGA et al., 2010) equação 12.

$$EIR = \frac{MN + SN}{R + MR + SR + N} \quad (12)$$

em que:

EIR – Taxa de investimento emergético;

N – Recursos não renováveis da natureza (seJ).

A taxa de intercâmbio emergético (EER) é a razão da energia do produto pela energia do dinheiro. Quando  $EER = 1$ , o produtor e o consumidor obtêm a mesma quantidade de energia, indicando que nenhum parceiro comercial tem vantagem relativa sobre o outro. Quando  $EER < 1$ , o produtor tem vantagem sobre o consumidor e  $EER > 1$ , o produtor perde energia, empobrece, ou seja, a razão emergética é em benefício do consumidor, equação 13 (ODUM, 1996; ORTEGA et al., 2010).

$$EER = \frac{Y}{[(\$) \times \left(\frac{seJ}{\$}\right)]} \quad (13)$$

em que:

EER - Taxa de intercâmbio emergético.

(\\$) - Energia do dinheiro.

O indicador de carga ambiental (ELR) indica o estresse que o sistema exerce sobre o ambiente. Teoricamente,  $ELR = 0$  indica ecossistemas naturais maduros;  $ELR < 2$  indica baixa carga ambiental;  $2 < ELR < 3$  moderadamente baixo;  $3 < ELR < 10$  impacto moderado e  $ELR > 10$  alto estresse ambiental (BROWN e ULGIATI, 2004). Quanto maior a ELR, devido ao uso de recursos não renováveis, maior é a distância entre os sistemas de produção e os ecossistemas locais (equação 14).

$$ELR = \frac{N + SN + MN}{R + SR + MR} \quad (14)$$

em que:

ELR - Carga ambiental.

O índice de sustentabilidade emergética (ESI) avalia a contribuição do sistema para a economia por unidade de carga ambiental. O  $ESI < 1$  indica sistema não sustentável. Sistemas com  $ESI > 1$  contribuem para o crescimento econômico, sem grave perturbação ambiental, porém, valores intermediários ( $1 < ESI < 5$ ) caracterizam sustentabilidade no médio prazo. O  $ESI > 5$  indica sustentabilidade no longo prazo equação 15 (BROWN e ULGIATI, 2004).

$$ESI = \frac{EYR}{ELR} \quad (15)$$

em que:

ESI - Índice de sustentabilidade emergética.

A transformidade econômica (seJ  $\text{\$}^{-1}$ ) foi determinada pela equação 16 (AGOSTINHO, 2008). As transformidades utilizadas foram corrigidas pelo fator 1,68 considerando a energia global equivalente a  $15,83\text{E}24$  seJ ano $^{-1}$  (BROWN e ULGIATI, 2004).

$$EM\$ = \frac{[248,0 + 878,16 \times EXP^{(-1 \times (\frac{ano-1981}{9,49}))}]}{100} \times 1012 \times 1,68 \quad (16)$$

Os fluxos de energia representaram os recursos da natureza renováveis (R), não renováveis (N) e os recursos da economia (materiais e serviços) renováveis e não renováveis (F). Os recursos renováveis podem ser repostos pelo ambiente ao menos na mesma velocidade com que são consumidos, já os recursos não renováveis são explorados sem que haja tempo para sua recuperação pelo ambiente. Os recursos econômicos são provenientes do mercado e possuem valor monetário. E o fluxo de saída (Y) pode representar produtos, processos ou serviços.

Para representação gráfica dos indicadores emergéticos dos diferentes sistemas agrícolas em estudo foi utilizado a ferramenta gráfica (diagrama ternário) descrita por Barrela et al. (2005) e Giannetti et al. (2007), que produz um diagrama triangular equilátero com três variáveis associadas a porcentagens. Desta forma, a soma de R, N e F será sempre 100% e cada vértice do triângulo está associado a um fluxo (R, N e F) e os lados do triângulo representam combinações binárias. As combinações dos três fluxos são representadas por pontos no interior do triângulo e o valor percentual de

cada fluxo é dado pela perpendicular que une o ponto e a lateral oposta ao vértice de interesse.

Para análise dos dados e elaboração dos diagramas ternários foi utilizada a ferramenta XLSTAT® associado ao Microsoft Excel®. Todos os fluxos de energia para cada componente em unidades físicas (joules, gramas, US\$) foram quantificados para área de um hectare e tempo de um ano. Assim, como foram representados na mesma unidade métrica (seJ), o que evita a utilização de métodos de normalização e permite a representação gráfica direta dos resultados.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Diagrama do fluxo de energia

O diagrama sistêmico dos modelos de produção irrigados é mostrado na Figura 23, na qual observa-se todos os fluxos de energia que entram em cada sistema e as interações dos mesmos dentro do sistema. A Figura 23A compreende o modelo de produção convencional sem adubação (S1A0), no qual os recursos renováveis da natureza de entrada foram energia solar, pluviosidade, vento e água potável. Já os recursos da economia que representam os materiais e os serviços foram sementes, defensivos agrícolas, energia elétrica, mão-de-obra familiar e auxiliar, além dos trabalhos das máquinas e implementos agrícolas.

Os recursos da economia entram no sistema na forma de custo monetário para adquirir os insumos e serviços necessários ao processo de produção. A irrigação compreende um processo de interligação dentro cadeia de produção entre a água potável e a delimitação do sistema.

Segundo Cavalett et al. (2006) a energia solar, vento e a pluviosidade são considerados como fluxos renováveis climatológicos no sistema, uma vez que esses recursos são co-produtos de processos acoplados para geração de outros recursos, como a água potável, irrigação.

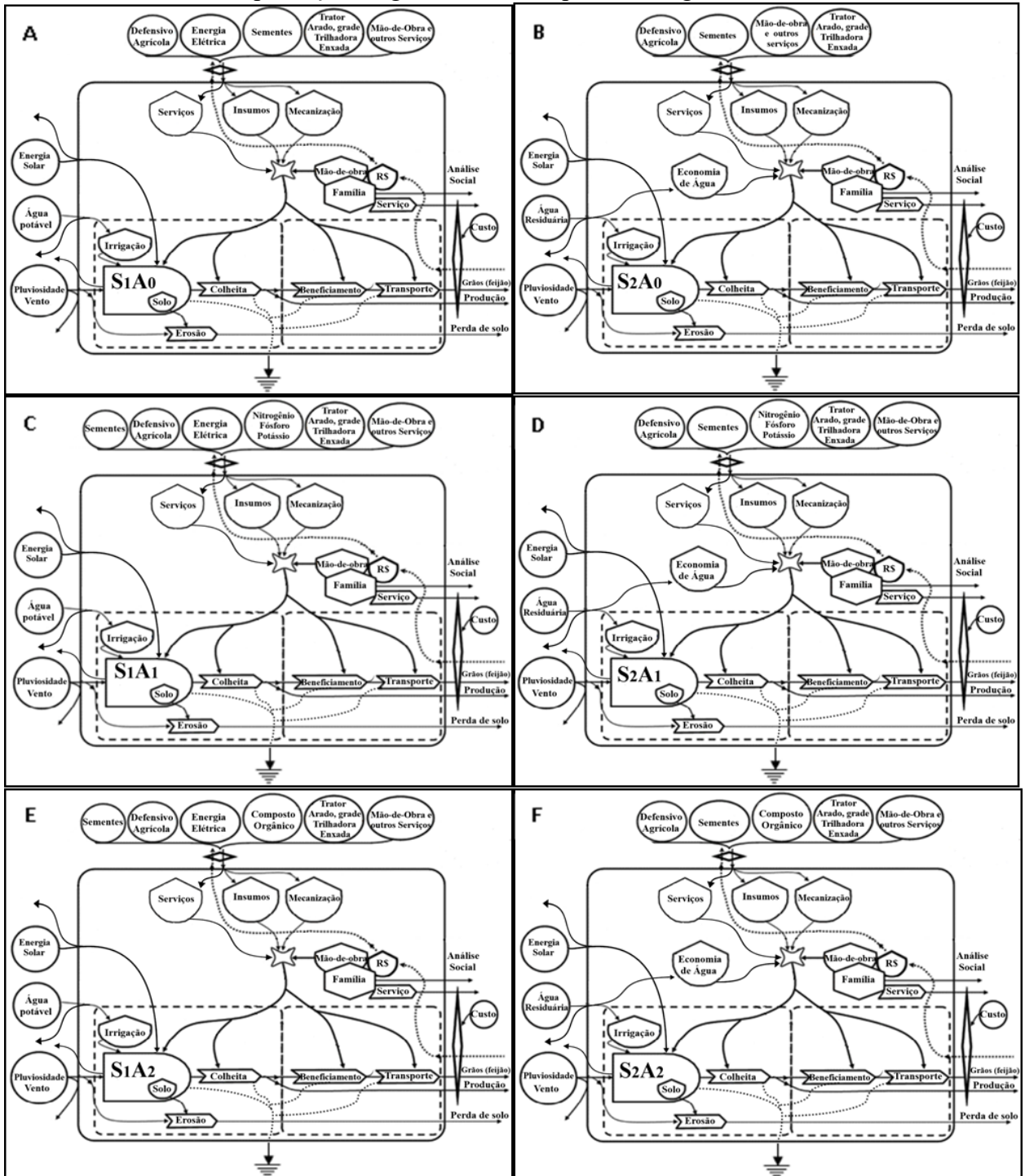
Todos os recursos renováveis da natureza e da economia e os recursos não renováveis da natureza e também da economia são direcionados através da fronteira do sistema, no qual interagem dentro do processo de produção e a saída constitui um produto (grãos de feijão). Os únicos processos dentro da delimitação da fronteira são a irrigação, a colheita e a erosão do solo. Os seguimentos beneficiamento e transporte já fazem parte de outra demarcação de sistema dentro do universo do modelo de produção.

No sistema de produção renovável sem adubação (S2A0), as principais diferenças em relação ao sistema (S1A0) constituem no recurso renovável de entrada, água residuária, além de não utilizar energia elétrica no seu processo de produção, uma vez que todo o sistema foi acionado através da energia solar fotovoltaica (Figura 23B).

A grande quantidade de recursos da economia provenientes dos serviços de mão-de-obra e insumos como nitrogênio, fósforo e potássio caracterizou o sistema de produção convencional com adubação mineral (S1A1) conforme pode ser visualizado na Figura 23C. Já o sistema renovável com adubação mineral (S2A1) apresentou também as entradas de fertilizantes químicos, porém em menores quantidades quando

comparados ao sistema S1A1 devido à utilização da água residuária como recurso renovável de entrada ao invés da água potável, além de não utilizar o serviço de eletricidade (Figura 23D).

**Figura 23** - Diagramas dos fluxos de energia provenientes da natureza e da economia nos diferentes sistemas produção irrigados no município de Tianguá - CE



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os últimos dois diagramas dos modelos de produção convencional com adubação orgânica (S1A2) Figura 23E e renovável com adubação orgânica (S2A2)

Figura 23F apresentam em comum o composto orgânico como principal insumo de entrada que caracterizou esses dois sistemas e os diferenciam dos demais modelos de produção. No S1A2 foi utilizado como recurso hídrico a água potável para irrigação da cultura e o conjunto de bombeamento acionado com energia elétrica da rede. Já no S2A2 foi utilizado como fonte hídrica a água residuária (efluente doméstico tratado) para irrigação do feijão e a motobomba acionada com energia solar fotovoltaica.

Os três diagramas dos modelos renováveis (S2A0, S2A1 e S2A2) que utilizaram água residuária, Figuras 23B, 23D e 23F, respectivamente apresentam um seguimento a mais em relação aos sistemas convencionais (S1A0, S1A1 e S1A2), Figuras 23A, 23C e 23E, respectivamente. Esse seguimento intitulado como economia de água constitui em uma reserva energética dentro do sistema, uma vez que utilizou o efluente doméstico tratado. Essa poupança de água potável contribui positivamente para o fluxo de energia desses modelos no balanço de entrada e saída no processo de produção.

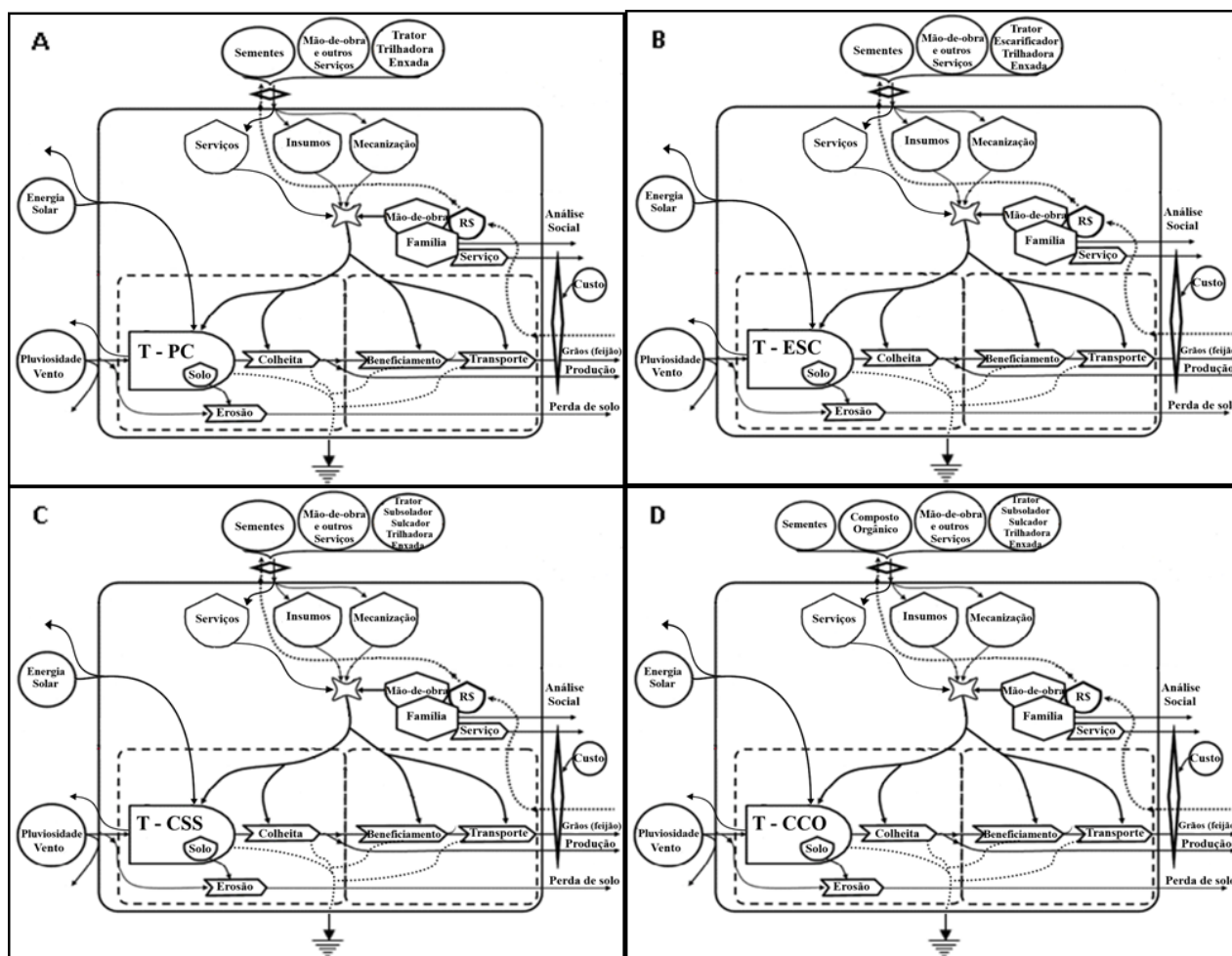
Os modelos (S2A0, S2A1 e S2A2) em função da característica de interação de mais um componente renovável são denominados sistemas auto-catalíticos, pois possui capacidade para aumentar a energia disponível em função de suas estruturas internas (o estoque de água).

Os diagramas sistêmicos dos modelos de produção de feijão em sequeiro são mostrados na Figura 24. Ambos diferenciam-se dos cultivos irrigados em função dos menores recursos não renováveis da economia de entrada, além de não utilizar a irrigação no seu processo de produção.

Os recursos renováveis da natureza foram todos iguais nos quatro processos de produção. Os serviços com mão-de-obra familiar e auxiliar diferiram quantitativamente em função de maiores processos energéticos dentro do sistema. E as entradas dos serviços como mecanização também foram diferentes devido à característica de preparo do solo de cada modelo de produção em sequeiro.

O diagrama do modelo de produção em sequeiro sem preparo do solo (T-PC) apresentou o menor fluxo de energia de entrada e saída em função dos menores recursos da economia utilizados, principalmente insumos e serviços de mecanização (Figura 24A). Já o modelo de produção em sequeiro com preparo do solo com escarificador apresenta este implemento como diferencial de entrada no processo de geração de um produto (Figura 24B).

**Figura 24** - Diagramas dos fluxos de energia provenientes da natureza e da economia nos diferentes sistemas produção em sequeiro no município de Quixeramobim – CE



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os dois últimos diagramas dos modelos de produção em sequeiro (T-CSS) Figura 24C e (T-CCO) Figura 24D apresentam os mesmos implementos de entrada para preparo do solo, o subsolador e o sulcador. A diferença principal do sistema T-CCO em relação aos demais processos de produção exclusivamente dependente da pluviosidade (T-PC, T-ESS e T-CSS) constitui a entrada de composto orgânico.

Para Ortega et al. (2008) a sobrevivência do sistema depende da qualidade das interações, uma vez que os consumidores não podem destruir a base que os sustenta (produtores) se não o sistema colapsa. Além disso, o metabolismo dos ecossistemas tem uma dinâmica especial, a produção ocorre lentamente e o consumo se realiza em um pulso mais rápido.

### 3.2 Emergia

Pela análise de emergia do sistema de produção convencional sem adubação (S1A0) no cultivo do feijão irrigado percebeu-se que os recursos da natureza renováveis e não renováveis de entrada representaram aproximadamente 22% da emergia total que foi  $3,39E+16$  seJ  $ha^{-1} ano^{-1}$ . O recurso hídrico (água potável) representou mais da metade da emergia proveniente dos recursos da natureza 12,83% (Tabela 46).

**Tabela 46** - Avaliação emergética do feijão irrigado em sistema de produção convencional sem adubação (S1A0) no município de Tianguá - CE

Descrição	Valor	Unid.	FR	Tr.	Unid.	Emergia (seJ $ha^{-1} ano^{-1}$ )			US\$	Part. (%)
						R	NR	Total		
1. Energia solar	1,51E+11	J $ha^{-1} ano^{-1}$	1,0	1,00E+00	seJ $J^{-1}$	1,51E+11	0,00E+00	1,51E+11	0,03	0,00
2. Pluviosidade	2,27E+09	J $ha^{-1} ano^{-1}$	1,0	3,06E+04	seJ $J^{-1}$	6,95E+13	0,00E+00	6,95E+13	15,56	0,21
3. Vento	1,26E+08	J $ha^{-1} ano^{-1}$	1,0	2,45E+03	seJ $J^{-1}$	3,09E+11	0,00E+00	3,09E+11	0,07	0,00
4. Água potável (irrigação)	1,58E+10	J $ha^{-1} ano^{-1}$	1,0	2,75E+05	seJ $J^{-1}$	4,35E+15	0,00E+00	4,35E+15	973,04	12,83
5. Evapotranspiração	9,25E+10	J $ha^{-1} ano^{-1}$	1,0	3,04E+04	seJ $J^{-1}$	2,81E+15	0,00E+00	2,81E+15	629,73	8,30
Recursos renováveis (R)						7,23E+15	0,00E+00	7,23E+15	1618,43	21,34
6. Erosão	1,51E+09	J $ha^{-1} ano^{-1}$	0,0	1,24E+05	seJ $J^{-1}$	0,00E+00	1,87E+14	1,87E+14	41,93	0,55
Recursos não renováveis (N)						0,00E+00	1,87E+14	1,87E+14	41,93	0,55
$I = R + N$						7,23E+15	1,87E+14	7,41E+15	1660,37	21,89
Serviços (S)										
7. Mão-de-obra familiar	7,53E+08	J $ha^{-1} ano^{-1}$	0,90	1,85E+07	seJ $J^{-1}$	1,25E+16	1,39E+15	1,39E+16	3119,67	41,13
8. Mão-de-obra auxiliar	1,26E+08	J $ha^{-1} ano^{-1}$	0,60	1,85E+07	seJ $J^{-1}$	1,40E+15	9,32E+14	2,33E+15	522,02	6,88
Serviços renováveis (SR)						1,39E+16	2,33E+15	1,63E+16	3641,69	48,01
9. Energia elétrica	5,27E+09	J $ha^{-1} ano^{-1}$	0,50	5,64E+05	seJ $J^{-1}$	1,49E+15	1,49E+15	2,97E+15	665,63	8,77
10. Mecanização	1,23E+02	US\$ $ha^{-1} ano^{-1}$	0,01	4,47E+12	seJ $US\$^{-1}$	4,47E+12	5,46E+14	5,50E+14	123,18	1,62
11. Transporte	1,36E+01	US\$ $ha^{-1} ano^{-1}$	0,01	4,47E+12	seJ $US\$^{-1}$	4,47E+12	6,01E+13	6,45E+13	14,45	0,19
Serviços não renováveis (SN)						1,50E+15	2,09E+15	3,59E+15	803,26	10,59
$S = SR + SN$						1,54E+16	4,42E+15	1,98E+16	4444,94	58,60
Materiais (M)										
12. Sementes	1,57E+01	US\$ $ha^{-1} ano^{-1}$	1,0	4,47E+12	seJ $US\$^{-1}$	7,02E+13	0,00E+00	7,02E+13	15,72	0,21
Materiais renováveis (MR)						7,02E+13	0,00E+00	7,02E+13	15,72	0,21
13. Formicida	1,00E+00	kg $ha^{-1} ano^{-1}$	0,05	1,48E+12	seJ $kg^{-1}$	7,40E+10	1,41E+12	1,48E+12	0,33	0,00
14. Sacos	4,72E+00	US\$ $ha^{-1} ano^{-1}$	0,01	4,47E+12	seJ $US\$^{-1}$	2,11E+11	2,09E+13	2,11E+13	4,72	0,06
15. Equipamentos e peças	1,35E+03	US\$ $ha^{-1} ano^{-1}$	0,05	4,47E+12	seJ $US\$^{-1}$	3,02E+14	5,73E+15	6,04E+15	1351,60	17,82
16. Depreciações	1,08E+02	US\$ $ha^{-1} ano^{-1}$	0,05	4,47E+12	seJ $US\$^{-1}$	2,41E+13	4,59E+14	4,83E+14	108,13	1,43
Materiais não renováveis (MN)						3,26E+14	6,21E+15	6,54E+15	1464,78	19,31
$M = MR + MN$						3,96E+14	6,21E+15	6,61E+15	1480,50	19,52
$F = M + S$						1,58E+16	1,06E+16	2,65E+16	5925,45	78,11
<b>Y. Emergia</b>						<b>2,31E+16</b>	<b>1,08E+16</b>	<b>3,39E+16</b>	<b>7585,81</b>	<b>100</b>
<b>O. Emergia</b>						<b>9,34E+08</b>				

Com relação aos recursos da economia, estes corresponderam a 78% do balanço energético total no sistema de produção S1A0. Os serviços contribuíram com 58% para os recursos da economia, enquanto os materiais foram equivalentes a 20%. A grande quantidade de recursos provenientes da economia na forma de serviços e insumos afeta negativamente a energia do sistema, no qual impulsiona a elevação das transformações energéticas dentro do processo de produção resultando em um gasto maior de energia na geração de um produto.

Os serviços renováveis contribuíram com 48%, sendo que somente a mão-de-obra familiar correspondeu a 41% e o restante 7% da mão-de-obra auxiliar. Já os serviços não renováveis foram equivalentes a 10,59%, sendo que a maior contribuição foi da energia elétrica 8,77%. Os materiais não renováveis retrataram 19,31% da energia total no processo de produção, sendo a maior parcela 17,82% referente aos equipamentos, manutenções e peças utilizados no sistema agrícola S1A0.

A energia disponível de saída foi  $9,34E+08 \text{ J ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  considerando a produção da cultura e o valor energética do feijão-caupi. Em termos econômicos observou-se um valor total de  $7.585,81 \text{ US\$ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , no qual simboliza um custo de produção do feijão irrigado de  $8,77 \text{ US\$ kg}^{-1}$  considerando somente a integração dos recursos renováveis e não renováveis da economia.

No sistema de produção convencional com adubação mineral (S1A1) no cultivo do feijão irrigado, o fluxo energético total foi  $3,80E+16 \text{ seJ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , sendo superior ao modelo convencional sem adubação (S1A0) devido a maior entrada de recursos da economia, em que representaram um percentual acima de 80% (Tabela 47).

As entradas dos recursos da natureza corresponderam a 19,52% da energia total, sendo que a água potável apresentou maior contribuição 11,44%. Dentre os recursos da economia, os serviços representaram a maior parcela 62,61%, em que somente os serviços renováveis simbolizaram 53%, no qual novamente a mão-de-obra familiar impulsionou significativamente o fluxo de energia com uma participação de 36,93% e entre os serviços não renováveis, a eletricidade apresentou maior percentual 7,83%.

Comportamento semelhante foi observado por Ortega et al. (2010) na análise de energia de diferentes sistemas de produção de olerícolas sob manejo orgânico, em que a maior contribuição foi referente à mão-de-obra na energia total variando de 70 a 90% e que o uso intensivo da mão-de-obra familiar, principalmente foi uma característica dos sistemas estudados.

**Tabela 47** - Avaliação emergética do feijão irrigado em sistema de produção convencional com adubação mineral (S1A1) no município de Tianguá - CE

Descrição	Valor	Unid.	FR	Tr.	Unid.	Energia (seJ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )			US\$	Part. (%)
						R	NR	Total		
1. Energia solar	1,51E+11	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	1,00E+00	seJ J <sup>-1</sup>	1,51E+11	0,00E+00	1,51E+11	0,03	0,00
2. Pluviosidade	2,27E+09	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	3,06E+04	seJ J <sup>-1</sup>	6,95E+13	0,00E+00	6,95E+13	15,56	0,18
3. Vento	1,26E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	2,45E+03	seJ J <sup>-1</sup>	3,09E+11	0,00E+00	3,09E+11	0,07	0,00
4. Água potável (irrigação)	1,58E+10	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	2,75E+05	seJ J <sup>-1</sup>	4,35E+15	0,00E+00	4,35E+15	973,04	11,44
5. Evapotranspiração	9,25E+10	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	3,04E+04	seJ J <sup>-1</sup>	2,81E+15	0,00E+00	2,81E+15	629,73	7,41
Recursos renováveis (R)						7,23E+15	0,00E+00	7,23E+15	1618,43	19,03
6. Erosão	1,51E+09	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,0	1,24E+05	seJ J <sup>-1</sup>	0,00E+00	1,87E+14	1,87E+14	41,93	0,49
Recursos não renováveis (N)						0,00E+00	1,87E+14	1,87E+14	41,93	0,49
<i>I = R + N</i>						7,23E+15	1,87E+14	7,41E+15	1660,37	19,52
Serviços (S)										
7. Mão-de-obra familiar	8,79E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,9 0	1,85E+07	seJ J <sup>-1</sup>	1,46E+16	1,63E+15	1,63E+16	3641,69	42,82
8. Mão-de-obra auxiliar	2,09E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,6 0	1,85E+07	seJ J <sup>-1</sup>	2,32E+15	1,55E+15	3,87E+15	865,88	10,18
Serviços renováveis (SR)						1,70E+16	3,17E+15	2,01E+16	4507,57	53,01
9. Energia elétrica	5,27E+09	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,5 0	5,64E+05	seJ J <sup>-1</sup>	1,49E+15	1,49E+15	2,97E+15	665,63	7,83
10. Mecanização	1,37E+02	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,0 1	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	6,13E+12	6,07E+14	6,13E+14	137,27	1,61
11. Transporte	1,36E+01	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,0 1	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	6,07E+11	6,01E+13	6,07E+13	13,59	0,16
Serviços não renováveis (SN)						1,49E+15	2,15E+15	3,65E+15	816,49	9,60
<i>S = SR + SN</i>						1,84E+16	5,33E+15	2,38E+16	5324,06	62,61
Materiais (M)										
12. Sementes	1,57E+01	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	7,02E+13	0,00E+00	7,02E+13	15,72	0,18
Materiais renováveis (MR)						7,02E+13	0,00E+00	7,02E+13	15,72	0,18
13. Nitrogênio	2,00E+01	kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,0 5	6,38E+12	seJ kg <sup>-1</sup>	6,38E+12	1,21E+14	1,28E+14	28,58	0,34
14. Fósforo	8,00E+01	kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,0 5	3,90E+09	seJ kg <sup>-1</sup>	1,56E+10	2,96E+11	3,12E+11	0,07	0,00
15. Potássio	2,00E+01	kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,0 5	1,74E+12	seJ kg <sup>-1</sup>	1,74E+12	3,31E+13	3,48E+13	7,79	0,09
16. Formicida	1,00E+00	kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,0 5	1,48E+12	seJ kg <sup>-1</sup>	7,40E+10	1,41E+12	1,48E+12	0,33	0,00
17. Sacos	7,23E+00	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,0 1	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	3,23E+11	3,20E+13	3,23E+13	7,23	0,09
18. Equipamentos e peças	1,35E+03	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,0 5	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	3,02E+14	5,73E+15	6,04E+15	1351,60	15,89
19. Depreciações	1,08E+02	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,0 5	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	2,41E+13	4,59E+14	4,83E+14	108,13	1,27
Materiais não renováveis (MN)						3,34E+14	6,38E+15	6,71E+15	1503,73	17,68
<i>M = MR + MN</i>						4,05E+14	6,38E+15	6,78E+15	1519,45	17,87
<i>F = M + S</i>						1,89E+16	1,17E+16	3,06E+16	6843,51	80,48
<b>Y. Emergia</b>						<b>2,61E+16</b>	<b>1,19E+16</b>	<b>3,80E+16</b>	<b>8503,87</b>	<b>100</b>
<b>O. Energia</b>						<b>1,85E+09</b>				

Os materiais foram equivalentes a 17,87% e novamente os insumos não renováveis mostraram maior parcela como a aquisição do equipamento de irrigação que

representou 15,89%. Além dos fertilizantes químicos (nitrogênio, fósforo e potássio) que caracterizaram esse sistema.

A energia de saída  $1,85E+09 \text{ J ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  foi superior ao sistema convencional sem adubação (S1A0) em função da maior produção verificada nesse sistema de cultivo. Em relação ao aspecto econômico observou-se um valor total de  $8.503,87 \text{ US\$ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , no qual evidência um custo de produção do feijão irrigado de  $5,12 \text{ US\$ kg}^{-1}$  considerando todas as entradas dos recursos renováveis e não renováveis da economia.

A energia do modelo de produção convencional com adubação orgânica (S1A2) é apresentado na Tabela 48. Verificou-se que de forma semelhante aos modelos convencionais irrigados S1A0 e S1A1, os recursos provenientes da economia representaram maior fluxo de energia dentro do sistema, no qual foram aproximadamente 82% da energia total  $4,09E+16 \text{ seJ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ .

Lu et al. (2006) na avaliação emergética no cultivo irrigado de arroz, vegetais e na rotação das culturas arroz e vegetais na China verificaram que os três sistemas eram altamente dependentes de energia proveniente da economia, o que representaram mais de 83% do fluxo emergético total.

O recurso renovável de maior contribuição foi novamente a água potável 10,63% enquanto da economia foram os serviços 53,31% com destaque para a mão-de-obra familiar 34%. Os materiais contribuíram com 28,55% com destaque para o insumo que caracteriza esse modelo de produção, o composto orgânico que representou 12,38%.

A produção energética foi  $1,30E+09 \text{ J ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  maior em relação ao sistema S1A0 e menor em comparação ao sistema S1A1 em função da oscilação da produtividade entre os dois sistemas.

O custo emergético total de produção foi  $9.155,16 \text{ US\$ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , bem maior que os outros dois sistemas convencionais (S1A0 e S1A1) devido ao custo com o composto orgânico. Dessa forma, o custo de produção de um quilograma de feijão irrigado foi  $7,97 \text{ US\$ kg}^{-1}$  considerando apenas as entradas dos recursos renováveis e não renováveis da economia.

**Tabela 48** - Avaliação emergética do feijão irrigado em sistema de produção convencional com adubação orgânica (S1A2) no município de Tianguá - CE

Descrição	Valor	Unid.	FR	Tr.	Unid.	Emergia (seJ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )			US\$	Part. (%)
						R	NR	Total		
1. Energia solar	1,51E+11	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	1,00E+00	seJ J <sup>-1</sup>	1,51E+11	0,00E+00	1,51E+11	0,03	0,00
2. Pluviosidade	2,27E+09	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	3,06E+04	seJ J <sup>-1</sup>	6,95E+13	0,00E+00	6,95E+13	15,56	0,17
3. Vento	1,26E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	2,45E+03	seJ J <sup>-1</sup>	3,09E+11	0,00E+00	3,09E+11	0,07	0,00
4. Água potável (irrigação)	1,58E+10	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	2,75E+05	seJ J <sup>-1</sup>	4,35E+15	0,00E+00	4,35E+15	973,04	10,63
5. Evapotranspiração	9,25E+10	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	3,04E+04	seJ J <sup>-1</sup>	2,81E+15	0,00E+00	2,81E+15	629,73	6,88
Recursos renováveis (R)						7,23E+15	0,00E+00	7,23E+15	1618,43	17,68
6. Erosão	1,51E+09	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,0	1,24E+05	seJ J <sup>-1</sup>	0,00E+00	1,87E+14	1,87E+14	41,93	0,46
Recursos não renováveis (N)						0,00E+00	1,87E+14	1,87E+14	41,93	0,46
<i>I = R + N</i>						7,23E+15	1,87E+14	7,41E+15	1660,37	18,14
Serviços (S)										
7. Mão-de-obra familiar	8,16E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,90	1,85E+07	seJ J <sup>-1</sup>	1,36E+16	1,51E+15	1,51E+16	3380,68	36,93
8. Mão-de-obra auxiliar	1,67E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,60	1,85E+07	seJ J <sup>-1</sup>	1,85E+15	1,24E+15	3,09E+15	691,88	7,56
Serviços renováveis (SR)						1,54E+16	2,75E+15	1,82E+16	4072,56	44,48
9. Energia elétrica	5,27E+09	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,5	5,64E+05	seJ J <sup>-1</sup>	1,49E+15	1,49E+15	2,97E+15	665,63	7,27
10. Mecanização	1,29E+02	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,01	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	5,76E+12	5,70E+14	5,76E+14	128,96	1,41
11. Transporte	1,36E+01	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,01	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	6,07E+11	6,01E+13	6,07E+13	13,59	0,15
Serviços não renováveis (SN)						1,49E+15	2,12E+15	3,61E+15	808,18	8,83
<i>S = SR + SN</i>						1,69E+16	4,86E+15	2,18E+16	4880,73	53,31
Materiais (M)										
12. Composto orgânico	1,13E+03	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,6	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	3,04E+15	2,02E+15	5,06E+15	1133,25	12,38
13. Sementes	1,57E+01	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	7,02E+13	0,00E+00	7,02E+13	15,72	0,17
Materiais renováveis (MR)						3,11E+15	2,02E+15	5,13E+15	1148,97	12,55
14. Formicida	1,00E+00	kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,05	1,48E+12	seJ kg <sup>-1</sup>	7,40E+10	1,41E+12	1,48E+12	0,33	0,00
15. Sacos	5,03E+00	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,01	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	2,25E+11	2,22E+13	2,25E+13	5,03	0,05
16. Equipamentos e peças	1,35E+03	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,05	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	3,02E+14	5,73E+15	6,04E+15	1351,60	14,76
17. Depreciações	1,08E+02	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,05	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	2,41E+13	4,59E+14	4,83E+14	108,13	1,18
Materiais não renováveis (MN)						3,26E+14	6,22E+15	6,54E+15	1465,09	16,00
<i>M = MR + MN</i>						3,43E+15	8,24E+15	1,17E+16	2614,06	28,55
<i>F = M + S</i>						2,04E+16	1,31E+16	3,35E+16	7494,80	81,86
<b>Y. Emergia</b>						<b>2,76E+16</b>	<b>1,33E+16</b>	<b>4,09E+16</b>	<b>9155,16</b>	<b>100</b>
<b>O. Energia</b>						<b>1,30E+09</b>				

A investigação emergética no sistema de produção renovável sem adubação (S2A0) mostrou que em torno de 65% da emergia total correspondeu aos recursos renováveis da natureza, o que contribuiu positivamente para a sustentabilidade de produção desse sistema (Tabela 49).

**Tabela 49** - Avaliação emergética do feijão irrigado no sistema de produção renovável sem adubação (S2A0) no município de Tianguá - CE

Descrição	Valor	Unid.	FR	Tr.	Unid.	Emergia (seJ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )			US\$	Part. (%)
						R	NR	Total		
1. Energia solar	1,51E+11	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	1,00E+00	seJ J <sup>-1</sup>	1,51E+11	0,00E+00	1,51E+11	0,03	0,00
2. Pluviosidade	2,27E+09	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	3,06E+04	seJ J <sup>-1</sup>	6,95E+13	0,00E+00	6,95E+13	15,56	0,07
3. Vento	1,26E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	2,45E+03	seJ J <sup>-1</sup>	3,09E+11	0,00E+00	3,09E+11	0,07	0,00
4. Água residuária (irrigação)	1,58E+10	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	3,80E+06	seJ J <sup>-1</sup>	6,00E+16	0,00E+00	6,00E+16	13445,67	61,93
5. Evapotranspiração	9,25E+10	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	3,04E+04	seJ J <sup>-1</sup>	2,81E+15	0,00E+00	2,81E+15	629,73	2,90
Recursos renováveis (R)						6,29E+16	0,00E+00	6,29E+16	14091,07	64,90
6. Erosão	1,51E+09	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,0	1,24E+05	seJ J <sup>-1</sup>	0,00E+00	1,87E+14	1,87E+14	41,93	0,19
Recursos não renováveis (N)						0,00E+00	1,87E+14	1,87E+14	41,93	0,19
<i>I = R + N</i>						6,29E+16	1,87E+14	6,31E+16	14133,00	65,10
Serviços (S)										
7. Mão-de-obra familiar	7,53E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,90	1,85E+07	seJ J <sup>-1</sup>	1,25E+16	1,39E+15	1,39E+16	3119,67	14,37
8. Mão-de-obra auxiliar	1,26E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,60	1,85E+07	seJ J <sup>-1</sup>	1,40E+15	9,32E+14	2,33E+15	522,02	2,40
Serviços renováveis (SR)						1,39E+16	2,33E+15	1,63E+16	3641,69	16,77
9. Mecanização	1,38E+02	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,01	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	6,17E+12	6,11E+14	6,17E+14	138,18	0,64
10. Transporte	1,36E+01	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,01	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	6,07E+11	6,01E+13	6,07E+13	13,59	0,06
Serviços não renováveis (SN)						6,78E+12	6,71E+14	6,78E+14	151,77	0,70
<i>S = SR + SN</i>						1,39E+16	3,00E+15	1,69E+16	3793,46	17,47
Materiais (M)										
11. Sementes	1,57E+01	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	7,02E+13	0,00E+00	7,02E+13	15,72	0,07
Materiais renováveis (MR)						7,02E+13	0,00E+00	7,02E+13	15,72	0,07
12. Formicida	1,00E+00	kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,05	1,48E+12	seJ kg <sup>-1</sup>	7,40E+10	1,41E+12	1,48E+12	0,33	0,00
13. Sacos	7,23E+00	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,01	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	3,23E+11	3,20E+13	3,23E+13	7,23	0,03
14. Equipamentos e peças	3,54E+03	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,05	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	7,91E+14	1,50E+16	1,58E+16	3541,60	16,31
15. Depreciações	2,19E+02	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,05	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	4,90E+13	9,31E+14	9,80E+14	219,45	1,01
Materiais não renováveis (MN)						8,40E+14	1,60E+16	1,68E+16	3768,61	17,36
<i>M = MR + MN</i>						9,10E+14	1,60E+16	1,69E+16	3784,33	17,43
<i>F = M + S</i>						1,49E+16	1,90E+16	3,38E+16	7577,79	34,90
E. Benéfica	3,15E+03	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	8,80E+11	seJ m <sup>-3</sup>	2,77E+15	0,00E+00	2,77E+15	621,21	2,86
<b>Y. Emergia</b>						<b>7,78E+16</b>	<b>1,92E+16</b>	<b>9,97E+16</b>	<b>21710,78</b>	<b>100</b>
<b>O. Emergia</b>						<b>1,91E+09</b>				

A emergia total foi 9,97E+16 seJ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> superior aos sistemas convencionais de produção (S1A0, S1A1 e S1A2) em função da transformidade energética de um recurso em particular, a água residuária (efluente doméstico tratado) que impulsionou um maior fluxo de emergia dentro do sistema. Porém, o mesmo é um

recurso considerado renovável, o que não afetou de forma expressiva os indicadores emergéticos.

O recurso renovável de maior contribuição foi à água residuária 62,93% em função da maior intensidade energética (transformidade) desse recurso. Os serviços e materiais representaram em torno de 18% cada, sendo que a mão-de-obra familiar como serviço renovável foi equivalente a 14,37% e dentre os serviços não renováveis, o destaque foi à mecanização com 0,64% já que este sistema não utilizou energia elétrica. Em relação aos materiais da economia, as aquisições do sistema de irrigação e do sistema solar fotovoltaico apresentaram maior parcela de entrada 16,31% do total.

A energia total de saída  $1,91E+09 \text{ J ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  foi superior aos sistemas convencionais sem adubação (S1A0), com adubação mineral (S1A1) e com adubação orgânica (S1A2) devido à maior produção da cultura nesse sistema. Outro recurso de saída importante no sistema renovável sem adubação (S2A0) foi a energia benéfica proveniente do uso da água residuária que constituiu uma economia de água dentro do sistema afetando positivamente os indicadores de sustentabilidade.

O custo emergético total do sistema foi  $21.710,78 \text{ US\$ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , bem maior em relação aos sistemas convencionais (S1A0, S1A1 e S1A2) devido ao custo emergético da água residuária em função da sua alta transformidade, além da aquisição do sistema de bombeamento solar fotovoltaico. Dessa maneira, o custo de produção de um quilograma de feijão irrigado foi  $5,02 \text{ US\$ kg}^{-1}$  considerando somente as entradas dos recursos renováveis e não renováveis da economia, ou seja, as entradas monetárias.

A energia total de  $1,01E+17 \text{ seJ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  no sistema renovável com adubação mineral (S2A1) foi superior aos sistemas convencionais (S1A0, S1A1 e S1A2) e ao renovável sem adubação (S2A0). De maneira semelhante ao sistema renovável S2A0, os recursos renováveis também corresponderam a maior parcela 62,5% (Tabela 50).

A água residuária utilizada para irrigação da cultura representou aproximadamente 60% da energia total. Com relação aos recursos da economia, os serviços foram em torno de 20%, em que novamente a mão-de-obra familiar refletiu maior participação 16% e nos materiais a maior contribuição foi proveniente da aquisição de equipamentos. Os fertilizantes químicos não impulsionaram significativamente os fluxos de energia em função da pequena quantidade utilizada nesse modelo de produção.

**Tabela 50** - Avaliação emergética do feijão irrigado no sistema de produção renovável com adubação mineral (S2A1) no município de Tianguá - CE

Descrição	Valor	Unid.	FR	Tr.	Unid.	Energia (seJ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )			US\$	Part. (%)
						R	NR	Total		
1. Energia solar	1,51E+11	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	1,00E+00	seJ J <sup>-1</sup>	1,51E+11	0,00E+00	1,51E+11	0,03	0,00
2. Pluviosidade	2,27E+09	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	3,06E+04	seJ J <sup>-1</sup>	6,95E+13	0,00E+00	6,95E+13	15,56	0,07
3. Vento	1,26E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	2,45E+03	seJ J <sup>-1</sup>	3,09E+11	0,00E+00	3,09E+11	0,07	0,00
4. Água residuária (irrigação)	1,58E+10	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	3,80E+06	seJ J <sup>-1</sup>	6,00E+16	0,00E+00	6,00E+16	13445,7	59,52
5. Evapotranspiração	9,25E+10	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	3,04E+04	seJ J <sup>-1</sup>	2,81E+15	0,00E+00	2,81E+15	629,73	2,79
Recursos renováveis (R)						6,29E+16	0,00E+00	6,29E+16	14091,1	62,37
6. Erosão	1,51E+09	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,0	1,24E+05	seJ J <sup>-1</sup>	0,00E+00	1,87E+14	1,87E+14	41,93	0,19
Recursos não renováveis (N)						0,00E+00	1,87E+14	1,87E+14	41,93	0,19
<i>I = R + N</i>						6,29E+16	1,87E+14	6,31E+16	14133,0	62,56
Serviços (S)										
7. Mão-de-obra familiar	8,79E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,90	1,85E+07	seJ J <sup>-1</sup>	1,46E+16	1,63E+15	1,63E+16	3641,69	16,12
8. Mão-de-obra auxiliar	2,09E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,60	1,85E+07	seJ J <sup>-1</sup>	2,32E+15	1,55E+15	3,87E+15	865,88	3,83
Serviços renováveis (SR)						1,70E+16	3,17E+15	2,01E+16	4507,57	19,95
9. Mecanização	1,41E+02	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,01	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	6,28E+12	6,22E+14	6,28E+14	140,70	0,62
10. Transporte	1,36E+01	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,01	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	6,07E+11	6,01E+13	6,07E+13	13,59	0,06
Serviços não renováveis (SN)						6,89E+12	6,82E+14	6,89E+14	154,29	0,68
<i>S = SR + SN</i>						1,70E+16	3,85E+15	2,08E+16	4661,86	20,64
Materiais (M)										
11. Sementes	1,57E+01	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	7,02E+13	0,00E+00	7,02E+13	15,72	0,07
Materiais renováveis (MR)						7,02E+13	0,00E+00	7,02E+13	15,72	0,07
12. Nitrogênio	6,00E+00	kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,05	6,38E+12	seJ kg <sup>-1</sup>	1,91E+12	3,64E+13	3,83E+13	8,57	0,04
13. Fósforo	5,20E+01	kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,05	3,90E+09	seJ kg <sup>-1</sup>	1,01E+10	1,93E+11	2,03E+11	0,05	0,00
14. Potássio	9,00E+00	kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,05	1,74E+12	seJ kg <sup>-1</sup>	7,83E+11	1,49E+13	1,57E+13	3,51	0,02
15. Formicida	1,00E+00	kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,05	1,48E+12	seJ kg <sup>-1</sup>	7,40E+10	1,41E+12	1,48E+12	0,33	0,00
16. Sacos	7,86E+00	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,01	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	3,51E+11	3,47E+13	3,51E+13	7,86	0,03
17. Equipamentos e peças	3,54E+03	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,05	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	7,91E+14	1,50E+16	1,58E+16	3541,60	15,68
18. Depreciações	2,19E+02	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,05	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	4,90E+13	9,31E+14	9,80E+14	219,45	0,97
Materiais não renováveis (MN)						8,43E+14	1,60E+16	1,69E+16	3781,37	16,74
<i>M = MR + MN</i>						9,13E+14	1,60E+16	1,70E+16	3797,09	16,81
<i>F = M + S</i>						1,79E+16	1,99E+16	3,78E+16	8458,95	37,44
E. Benéfica	3,15E+03	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	8,80E+11	seJ m <sup>-3</sup>	2,77E+15	0,00E+00	2,77E+15	621,21	2,75
<b>Y. Energia</b>						<b>8,08E+16</b>	<b>2,01E+16</b>	<b>1,01E+17</b>	<b>22591,9</b>	<b>100</b>
<b>O. Energia</b>						<b>2,07E+09</b>				

De maneira semelhante ao sistema renovável S2A0, esse sistema também possui uma energia benéfica de saída em função da utilização do efluente doméstico tratado. A energia total disponível foi  $2,09E+09 \text{ J ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  considerando o valor energético da cultura e sua produção.

Em termos econômicos, o custo total do sistema foi  $22.591,9 \text{ US\$ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , bem maior em relação aos sistemas convencionais (S1A0, S1A1 e S1A2) e ao sistema renovável sem adubação devido ao custo emergético da água residuária, além da aquisição do sistema solar fotovoltaico. Desse modo, o custo de produção do feijão irrigado foi  $5,21 \text{ US\$ kg}^{-1}$  considerando apenas as entradas dos recursos renováveis e não renováveis da economia.

A água residuária como recurso renovável da natureza proporcionou maior fluxo de energia no sistema de produção renovável com adubação orgânica (S2A2), em que representou aproximadamente 60% da energia total (Tabela 51). Desse modo, o processo de geração do produto decorre em sua maioria de transformações energéticas provenientes da natureza.

A energia total foi  $1,00E+17 \text{ seJ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , sendo que a participação proveniente da natureza foi 62,85% enquanto a economia representou 37,15%. Os serviços renováveis tiveram maior contribuição 18,11% enquanto os materiais não renováveis foram 16,76% com destaque para a aquisição de equipamentos.

O custo emergético total do sistema S2A2 foi  $22.485,5 \text{ US\$ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , superior aos sistemas convencionais (S1A0, S1A1 e S1A2) e ao sistema renovável sem adubação (S2A0) devido ao custo emergético da água residuária e da aquisição do sistema solar fotovoltaico e do composto orgânico em relação a este último. O custo de produção do feijão irrigado foi  $5,08 \text{ US\$ kg}^{-1}$  considerando apenas as entradas dos recursos renováveis e não renováveis da economia.

Os três sistemas renováveis no cultivo do feijão irrigado S2A0, S2A1 e S2A2 em função do recurso hídrico de entrada (efluente doméstico tratado) apresentaram maiores fluxo de energia em função da maior intensidade energética desse recurso.

Além da maior utilização de recursos renováveis da natureza, os sistemas renováveis apresentaram outra diferença em comparação aos sistemas convencionais em relação à energia de saída, uma vez que nos modelos S1A0, S1A1 e S1A2 a energia disponível correspondeu apenas ao balanço proveniente da produção da cultura, já nos modelos S2A0, S2A1 e S2A2, além dessa energia procedente da cultura possuem uma

energia benéfica resultante da economia de água devido ao uso de efluente doméstico tratado.

**Tabela 51** - Avaliação emergética do sistema de produção renovável com adubação orgânica (S2A2) no feijão irrigado em Tianguá - CE

Descrição	Valor	Unid.	FR	Tr.	Unid.	Energia (seJ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )			US\$	Part. (%)
						R	NR	Total		
1. Energia solar	1,51E+11	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	1,00E+00	seJ J <sup>-1</sup>	1,51E+11	0,00E+00	1,51E+11	0,03	0,00
2. Pluviosidade	2,27E+09	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	3,06E+04	seJ J <sup>-1</sup>	6,95E+13	0,00E+00	6,95E+13	15,56	0,07
3. Vento	1,26E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	2,45E+03	seJ J <sup>-1</sup>	3,09E+11	0,00E+00	3,09E+11	0,07	0,00
4. Água residuária (irrigação)	1,58E+10	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	3,80E+06	seJ J <sup>-1</sup>	6,00E+16	0,00E+00	6,00E+16	13445,7	59,80
5. Evapotranspiração	9,25E+10	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	3,04E+04	seJ J <sup>-1</sup>	2,81E+15	0,00E+00	2,81E+15	629,73	2,80
Recursos renováveis (R)						6,29E+16	0,00E+00	6,29E+16	14091,1	62,67
6. Erosão	1,51E+09	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,0	1,24E+05	seJ J <sup>-1</sup>	0,00E+00	1,87E+14	1,87E+14	41,93	0,19
Recursos não renováveis (N)						0,00E+00	1,87E+14	1,87E+14	41,93	0,19
<i>I = R + N</i>						6,29E+16	1,87E+14	6,31E+16	14133,0	62,85
Serviços (S)										
7. Mão-de-obra familiar	8,16E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,90	1,85E+07	seJ J <sup>-1</sup>	1,36E+16	1,51E+15	1,51E+16	3380,68	15,03
8. Mão-de-obra auxiliar	1,67E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,60	1,85E+07	seJ J <sup>-1</sup>	1,85E+15	1,24E+15	3,09E+15	691,88	3,08
Serviços renováveis (SR)						1,54E+16	2,75E+15	1,82E+16	4072,56	18,11
9. Mecanização	1,41E+02	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,01	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	6,30E+12	6,24E+14	6,30E+14	141,13	0,63
10. Transporte	1,36E+01	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,01	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	6,07E+11	6,01E+13	6,07E+13	13,59	0,06
Serviços não renováveis (SN)						6,91E+12	6,84E+14	6,91E+14	154,72	0,69
<i>S = SR + SN</i>						1,54E+16	3,43E+15	1,89E+16	4227,28	18,80
Materiais (M)										
11. Composto orgânico	3,40E+02	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,6	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	9,11E+14	6,07E+14	1,52E+15	339,97	1,51
12. Sementes	1,57E+01	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	7,02E+13	0,00E+00	7,02E+13	15,72	0,07
Materiais renováveis (MR)						9,81E+14	6,07E+14	1,59E+15	355,69	1,58
13. Formicida	1,00E+00	kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,05	1,48E+12	seJ kg <sup>-1</sup>	7,40E+10	1,41E+12	1,48E+12	0,33	0,00
14. Sacos	8,18E+00	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,01	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	3,65E+11	3,62E+13	3,65E+13	8,18	0,04
15. Equipamentos e peças	3,54E+03	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,05	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	7,91E+14	1,50E+16	1,58E+16	3541,60	15,75
16. Depreciações	2,19E+02	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,05	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	4,90E+13	9,31E+14	9,80E+14	219,45	0,98
Materiais não renováveis (MN)						8,40E+14	1,60E+16	1,68E+16	3769,56	16,76
<i>M = MR + MN</i>						1,82E+15	1,66E+16	1,84E+16	4125,25	18,35
<i>F = M + S</i>						1,73E+16	2,00E+16	3,73E+16	8352,53	37,15
E. Benéfica	3,15E+03	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	8,80E+11	seJ m <sup>3</sup>	2,77E+15	0,00E+00	2,77E+15	621,21	2,76
<b>Y. Energia</b>						<b>8,02E+16</b>	<b>2,02E+16</b>	<b>1,00E+17</b>	<b>22485,5</b>	<b>100</b>
<b>O. Energia</b>						<b>2,10E+09</b>				

Pela análise de energia do sistema de produção em sequeiro sem preparo do solo (T-PC) verificou-se que os recursos da economia apresentaram maiores participações na energia total desse sistema de cultivo 76,66%. Entretanto, a maior parcela de entrada foi corresponde aos serviços renováveis 73,57%, o que não afetou a sustentabilidade desse modelo de produção (Tabela 52).

**Tabela 52** - Avaliação emergética do sistema de produção de feijão em sequeiro sem preparo do solo (T-PC) no município de Quixeramobim - CE

Descrição	Valor	Unid.	FR	Tr.	Unid.	Energia (seJ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )			US\$	Part. (%)	
						R	NR	Total			
1. Energia solar	1,63E+11	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	1,00E+00	seJ J <sup>-1</sup>	1,63E+11	0,00E+00	1,63E+11	0,03	0,00	
2. Pluviosidade	1,55E+10	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	3,06E+04	seJ J <sup>-1</sup>	4,74E+14	0,00E+00	4,74E+14	101,56	3,00	
3. Vento	7,69E+07	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	2,45E+03	seJ J <sup>-1</sup>	1,88E+11	0,00E+00	1,88E+11	0,04	0,00	
4. Evapotranspiração	1,02E+11	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	3,04E+04	seJ J <sup>-1</sup>	3,10E+15	0,00E+00	3,10E+15	663,98	19,63	
Recursos renováveis (R)						3,58E+15	0,00E+00	3,58E+15	765,62	22,64	
5. Erosão	8,87E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,0	1,24E+05	seJ J <sup>-1</sup>	0,00E+00	1,10E+14	1,10E+14	23,55	0,70	
Recursos não renováveis (N)						0,00E+00	1,10E+14	1,10E+14	23,55	0,70	
<i>I = R + N</i>						3,58E+15	1,10E+14	3,69E+15	789,17	23,34	
Serviços (S)											
6. Mão-de-obra familiar	5,02E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,90	1,85E+07	seJ J <sup>-1</sup>	8,36E+15	9,29E+14	9,29E+15	1988,65	58,81	
7. Mão-de-obra auxiliar	1,26E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,60	1,85E+07	seJ J <sup>-1</sup>	1,40E+15	9,32E+14	2,33E+15	499,14	14,76	
Serviços renováveis (SR)						9,76E+15	1,86E+15	1,16E+16	2487,79	73,57	
8. Transporte	8,65E+01	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,01	4,67E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	4,04E+12	4,00E+14	4,04E+14	86,46	2,56	
Serviços não renováveis (SN)						4,04E+12	4,00E+14	4,04E+14	86,46	2,56	
<i>S = SR + SN</i>						9,76E+15	2,26E+15	1,20E+16	2574,25	76,12	
Materiais (M)											
9. Sementes	1,57E+01	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	4,67E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	7,34E+13	0,00E+00	7,34E+13	15,72	0,46	
Materiais renováveis (MR)						7,34E+13	0,00E+00	7,34E+13	15,72	0,46	
10. Sacos	2,52E+00	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,01	4,67E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	1,18E+11	1,17E+13	1,18E+13	2,52	0,07	
Materiais não renováveis (MN)						1,18E+11	1,17E+13	1,18E+13	2,52	0,07	
<i>M = MR + MN</i>						7,35E+13	1,17E+13	8,52E+13	18,24	0,54	
<i>F = M + S</i>						9,83E+15	2,27E+15	1,21E+16	2592,49	76,66	
<b>Y. Energia</b>						<b>1,34E+16</b>	<b>2,38E+15</b>	<b>1,58E+16</b>	<b>3381,67</b>	<b>100</b>	
<b>O. Energia</b>						<b>6,37E+08</b>					

A energia total foi 1,58E+16 seJ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, sendo inferior a todos os sistemas de cultivo irrigados devido a menor quantidade de recursos de entrada nesse sistema, além de menores processos energéticos dentro do sistema, como exemplo, a irrigação.

Os recursos da natureza foram equivalentes a 23,34% enquanto, dentre os recursos da economia, a mão-de-obra familiar de forma semelhante aos sistemas irrigados apresentou alta participação 58,81% na energia total.

A energia disponível de saída foi  $6,37E+08 \text{ J ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  encontrando-se inferior aos modelos de produção irrigados em função dos menores valores de produção da cultura. Com relação ao aspecto econômico, o custo total do sistema T-PC foi  $3.381,67 \text{ US\$ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , bem inferior aos sistemas irrigados devido ao menor custo emergético de entrada de materiais. O custo de produção do quilograma de feijão foi  $5,62 \text{ US\$ kg}^{-1}$  considerando apenas as entradas dos recursos renováveis e não renováveis da economia.

Comportamento semelhante ao sistema T-PC foi observado no sistema de produção em sequeiro T-ESS, tanto em relação a energia total quanto a participação dos recursos da economia que foram superiores a 75% nesse modelo de cultivo que utilizou escarificador no preparo do solo (Tabela 53).

A mão-de-obra familiar como serviço renovável proveniente da economia representou aproximadamente 60% da energia total  $1,60E+16 \text{ seJ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  enquanto os serviços não renováveis, a mecanização refletiu apenas 1,33%. Dessa maneira fica evidente que o sistema de sequeiro T-ESS apresenta baixo fluxo de energia procedente da natureza e alto fluxo proveniente da economia, o que torna o sistema altamente dependente de recursos externos.

A produção energética foi  $8,81E+08 \text{ J ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , na qual encontra-se superior ao sistema de cultivo em sequeiro sem preparo (T-PC) em função do maior rendimento da cultura, uma vez que o preparo do solo com escarificador favoreceu a infiltração e o armazenamento de água no solo, o que contribuiu nos parâmetros de produção da cultura.

Em termos econômicos observou-se um valor total de  $3.431,89 \text{ US\$ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , no qual simboliza um custo de produção de feijão de  $4,14 \text{ US\$ kg}^{-1}$  sendo inferior ao sistema T-PC devido a maior produtividade da cultura nesse sistema de cultivo.

**Tabela 53** - Avaliação emergética do sistema de produção de feijão em sequeiro utilizando escarificador no preparo do solo (T-ESS) em Quixeramobim - CE

Descrição	Valor	Unid.	FR	Tr.	Unid.	Energia (seJ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )			US\$	Part. (%)	
						R	NR	Total			
1. Energia solar	1,63E+11	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	1,00E+00	seJ J <sup>-1</sup>	1,63E+11	0,00E+00	1,63E+11	0,03	0,00	
2. Pluviosidade	1,55E+10	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	3,06E+04	seJ J <sup>-1</sup>	4,74E+14	0,00E+00	4,74E+14	101,56	2,96	
3. Vento	7,69E+07	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	2,45E+03	seJ J <sup>-1</sup>	1,88E+11	0,00E+00	1,88E+11	0,04	0,00	
4. Evapotranspiração	1,02E+11	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	3,04E+04	seJ J <sup>-1</sup>	3,10E+15	0,00E+00	3,10E+15	663,98	19,35	
Recursos renováveis (R)						3,58E+15	0,00E+00	3,58E+15	765,62	22,31	
5. Erosão	1,02E+09	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,0	1,24E+05	seJ J <sup>-1</sup>	0,00E+00	1,26E+14	1,26E+14	27,08	0,79	
Recursos não renováveis (N)						0,00E+00	1,26E+14	1,26E+14	27,08	0,79	
<i>I = R + N</i>						3,58E+15	1,26E+14	3,70E+15	792,70	23,10	
Serviços (S)											
6. Mão-de-obra familiar	5,02E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,90	1,85E+07	seJ J <sup>-1</sup>	8,36E+15	9,29E+14	9,29E+15	1988,65	57,95	
7. Mão-de-obra auxiliar	1,26E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,60	1,85E+07	seJ J <sup>-1</sup>	1,40E+15	9,32E+14	2,33E+15	499,14	14,54	
Serviços renováveis (SR)						9,76E+15	1,86E+15	1,16E+16	2487,79	72,49	
8. Mecanização	4,58E+01	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,01	4,67E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	2,14E+12	2,12E+14	2,14E+14	45,75	1,33	
9. Transporte	8,65E+01	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,01	4,67E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	4,04E+12	4,00E+14	4,04E+14	86,46	2,52	
Serviços não renováveis (SN)						6,17E+12	6,11E+14	6,17E+14	132,21	3,85	
<i>S = SR + SN</i>						9,76E+15	2,47E+15	1,22E+16	2620,00	76,34	
Materiais (M)											
10. Sementes	1,57E+01	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	4,67E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	7,34E+13	0,00E+00	7,34E+13	15,72	0,46	
Materiais renováveis (MR)						7,34E+13	0,00E+00	7,34E+13	15,72	0,46	
11. Sacos	3,46E+00	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,01	4,67E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	1,62E+11	1,60E+13	1,62E+13	3,46	0,10	
Materiais não renováveis (MN)						1,62E+11	1,60E+13	1,62E+13	3,46	0,10	
<i>M = MR + MN</i>						7,36E+13	1,60E+13	8,96E+13	19,18	0,56	
<i>F = M + S</i>						9,84E+15	2,49E+15	1,23E+16	2639,18	76,90	
<b>Y. Energia</b>						<b>1,34E+16</b>	<b>2,61E+15</b>	<b>1,60E+16</b>	<b>3431,89</b>	<b>100</b>	
<b>O. Energia</b>									<b>8,81E+08</b>		

Pela avaliação emergética do sistema de cultivo em sequeiro com preparo do solo com subsolador e sulcador (T-CSS) observou-se que em torno de 80% da energia total desse sistema foi procedente dos recursos da economia. Os serviços renováveis novamente apresentaram maior contribuição 74,70% com destaque para a mão-de-obra familiar 59,72% enquanto o serviço de mecanização representou 2,45% sendo superior aos sistemas de sequeiro T-PC e T-ESS (Tabela 54).

Em relação aos recursos renováveis da natureza, este apresentou participação aproximadamente 20%, semelhante aos sistemas de sequeiro sem preparo do solo (T-PC) e com preparo por meio do escarificador (T-ESS).

**Tabela 54** - Avaliação emergética do sistema de produção de feijão em sequeiro utilizando subsolador e sulcador no preparo do solo (T - CSS) em Quixeramobim - CE

Descrição	Valor	Unid.	FR	Tr.	Unid.	Energia (seJ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )			US\$	Part. (%)	
						R	NR	Total			
1. Energia solar	1,63E+11	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	1,00E+00	seJ J <sup>-1</sup>	1,63E+11	0,00E+00	1,63E+11	0,03	0,00	
2. Pluviosidade	1,55E+10	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	3,06E+04	seJ J <sup>-1</sup>	4,74E+14	0,00E+00	4,74E+14	101,56	2,61	
3. Vento	7,69E+07	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	2,45E+03	seJ J <sup>-1</sup>	1,88E+11	0,00E+00	1,88E+11	0,04	0,00	
4. Evapotranspiração	1,02E+11	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	3,04E+04	seJ J <sup>-1</sup>	3,10E+15	0,00E+00	3,10E+15	663,98	17,08	
Recursos renováveis (R)						3,58E+15	0,00E+00	3,58E+15	765,62	19,70	
5. Erosão	6,82E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,0	1,24E+05	seJ J <sup>-1</sup>	0,00E+00	8,46E+13	8,46E+13	18,11	0,47	
Recursos não renováveis (N)						0,00E+00	8,46E+13	8,46E+13	18,11	0,47	
<i>I = R + N</i>						3,58E+15	8,46E+13	3,66E+15	783,73	20,16	
Serviços (S)											
6. Mão-de-obra familiar	5,86E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,90	1,85E+07	seJ J <sup>-1</sup>	9,76E+15	1,08E+15	1,08E+16	2321,41	59,72	
7. Mão-de-obra auxiliar	1,47E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,60	1,85E+07	seJ J <sup>-1</sup>	1,63E+15	1,09E+15	2,72E+15	582,33	14,98	
Serviços renováveis (SR)						1,14E+16	2,17E+15	1,36E+16	2903,75	74,70	
8. Mecanização	9,52E+01	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,01	4,67E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	4,45E+12	4,40E+14	4,45E+14	95,19	2,45	
9. Transporte	8,65E+01	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,01	4,67E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	4,04E+12	4,00E+14	4,04E+14	86,46	2,22	
Serviços não renováveis (SN)						8,48E+12	8,40E+14	8,48E+14	181,65	4,67	
<i>S = SR + SN</i>						1,14E+16	3,01E+15	1,44E+16	3085,40	79,37	
Materiais (M)											
10. Sementes	1,57E+01	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	4,67E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	7,34E+13	0,00E+00	7,34E+13	15,72	0,40	
Materiais renováveis (MR)						7,34E+13	0,00E+00	7,34E+13	15,72	0,40	
11. Sacos	2,52E+00	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,01	4,67E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	1,18E+11	1,17E+13	1,18E+13	2,52	0,06	
Materiais não renováveis (MN)						1,18E+11	1,17E+13	1,18E+13	2,52	0,06	
<i>M = MR + MN</i>						7,35E+13	1,17E+13	8,52E+13	18,24	0,47	
<i>F = M + S</i>						1,15E+16	3,02E+15	1,45E+16	3103,64	79,84	
<b>Y. Energia</b>						<b>1,50E+16</b>	<b>3,11E+15</b>	<b>1,82E+16</b>	<b>3887,37</b>	<b>100</b>	
<b>O. Energia</b>						<b>9,61E+08</b>					

Verificou-se que o fluxo de energia total foi maior em comparação aos modelos T-PC e T-ESS em função da componente que caracteriza esse modelo, ou seja, maiores serviços de mecanização (subsolagem e sulcamento), o que proporcionou maior fluxo emergético 9,61E+08 J ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

Barros, Pacheco e Carvalho (2017) na análise de energia no cultivo do milho em três sistemas de preparo do solo: sem preparo, preparo convencional e plantio direto nos trópicos semiáridos em Aracaju-SE, observaram que a intensificação de preparo de solo aumenta a energia de entrada no sistema de produção, sendo que no

preparo do solo convencional com aração e gradagem proporcionou maior fluxo emergético em relação aos sistemas sem preparo e plantio direto (preparo reduzido).

De maneira semelhante, o custo econômico também foi superior 3.887,37 US\$ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> devido aos maiores recursos da economia de entrada, principalmente os serviços de mecanização.

Considerando apenas os recursos renováveis e não renováveis da economia que efetivamente correspondem a custos monetários de entrada, o custo de produção do quilograma de feijão foi 8,30 US\$ kg<sup>-1</sup> sendo superior aos sistemas T-PC e T-ESS devido ao maior custo com recursos da economia, principalmente a mecanização, além do menor rendimento da cultura nesse sistema de cultivo.

Percebeu-se que o processo de preparo do solo por meio do subsolador e do sulcador não proporcionou aumento significativo no rendimento da cultura, sendo inferior ao sistema de preparo com uso do escarificador.

Ambas as operações de subsolagem e escarificação realizam a ruptura de camadas de solo compactadas, o que melhorar o processo de infiltração de água no solo, porém a operação de subsolagem é realizada em maiores profundidades em relação à escarificação e provavelmente houve ruptura de camadas mais profundas proporcionando infiltração em maiores profundidade, o que diminuiu o armazenamento de água na zona radicular da cultura afetando diretamente o seu rendimento e consequentemente o custo de produção por unidade da cultura.

A energia total no sistema de produção em sequeiro com preparo do solo com subsolador e sulcador, além da adição de composto orgânico (T-CCO) foi 2,46E+16 seJ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, em que apresenta-se superior aos demais sistemas de produção em sequeiro em consequência do insumo de entrada que caracteriza em esse sistema, uma vez que somente o composto orgânico representou 21,5% do fluxo emergético total (Tabela 55).

O sistema mostrou-se altamente dependente dos recursos da economia, já que este correspondeu a 85,3% da energia total. A mão-de-obra como em todos os sistemas apresentou maior parcela, aproximadamente 60% enquanto a mecanização foi em torno de 2%.

**Tabela 55** - Avaliação emergética do sistema de produção de feijão em sequeiro utilizando subsolador e sulcador no preparo do solo e adição adubação orgânica (T-CCO) no município de Quixeramobim - CE

Descrição	Valor	Unid.	FR	Tr.	Unid.	Energia (seJ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )			US\$	Part. (%)	
						R	NR	Total			
1. Energia solar	1,63E+11	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	1,00E+00	seJ J <sup>-1</sup>	1,63E+11	0,00E+00	1,63E+11	0,03	0,00	
2. Pluviosidade	1,55E+10	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	3,06E+04	seJ J <sup>-1</sup>	4,74E+14	0,00E+00	4,74E+14	101,56	1,93	
3. Vento	7,69E+07	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	2,45E+03	seJ J <sup>-1</sup>	1,88E+11	0,00E+00	1,88E+11	0,04	0,00	
4. Evapotranspiração	1,02E+11	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	3,04E+04	seJ J <sup>-1</sup>	3,10E+15	0,00E+00	3,10E+15	663,98	12,61	
Recursos renováveis (R)						3,58E+15	0,00E+00	3,58E+15	765,62	14,54	
5. Erosão	3,41E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,0	1,24E+05	seJ J <sup>-1</sup>	0,00E+00	4,23E+13	4,23E+13	9,05	0,17	
Recursos não renováveis (N)						0,00E+00	4,23E+13	4,23E+13	9,05	0,17	
<i>I = R + N</i>						3,58E+15	4,23E+13	3,62E+15	774,68	14,71	
Serviços (S)											
6. Mão-de-obra familiar	6,28E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,90	1,85E+07	seJ J <sup>-1</sup>	1,05E+16	1,16E+15	1,16E+16	2487,79	47,25	
7. Mão-de-obra auxiliar	1,67E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,60	1,85E+07	seJ J <sup>-1</sup>	1,85E+15	1,24E+15	3,09E+15	661,56	12,56	
Serviços renováveis (SR)						1,23E+16	2,40E+15	1,47E+16	3149,36	59,81	
8. Mecanização	1,03E+02	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,01	4,67E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	4,79E+12	4,74E+14	4,79E+14	102,52	1,95	
9. Transporte	8,65E+01	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,01	4,67E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	4,04E+12	4,00E+14	4,04E+14	86,46	1,64	
Serviços não renováveis (SN)						8,83E+12	8,74E+14	8,83E+14	188,98	3,59	
<i>S = SR + SN</i>						1,23E+16	3,27E+15	1,56E+16	3338,34	63,40	
Materiais (M)											
10. Composto orgânico	1,13E+03	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,6	4,67E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	3,17E+15	2,11E+15	5,29E+15	1132,08	21,50	
11. Sementes	1,57E+01	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	1,0	4,67E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	7,34E+13	0,00E+00	7,34E+13	15,72	0,30	
Materiais renováveis (MR)						3,25E+15	2,11E+15	5,36E+15	1147,80	21,80	
12. Sacos	4,41E+00	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	0,01	4,67E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	2,06E+11	2,04E+13	2,06E+13	4,41	0,08	
Materiais não renováveis (MN)						2,06E+11	2,04E+13	2,06E+13	4,41	0,08	
<i>M = MR + MN</i>						3,25E+15	2,14E+15	5,38E+15	1152,21	21,88	
<i>F = M + S</i>						1,56E+16	5,41E+15	2,10E+16	4490,55	85,29	
<b>Y. Emergia</b>						<b>1,91E+16</b>	<b>5,45E+15</b>	<b>2,46E+16</b>	<b>5265,22</b>	<b>100</b>	
<b>O. Energia</b>						<b>1,12E+09</b>					

Barros et al. (2017) comparando três sistemas de preparo do solo: convencional, plantio direto e sem preparo no cultivo do milho em sequeiro na região Nordeste do Brasil verificaram que apesar das diferenças em cada sistema, a produção de milho em sequeiro mostrou-se altamente dependente dos recursos da economia. Estes representaram 82% do fluxo total de energia nos sistemas analisados.

A energia de saída 1,12E+09 J ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> foi superior aos demais sistemas de sequeiro sem preparo do solo (T-PC) com preparo com escarificador (T-ESS) e com

subsolador e sulcador (T-CSS) em virtude do aumento de produção do feijão nesse sistema de cultivo.

Já no processo de preparo do solo por meio do subsolador e do sulcador com adição de matéria orgânica houve incremento significativo no rendimento da cultura, visto que adição de matéria orgânica melhorou a estrutura solo, o que favoreceu retenção e armazenamento de água na zona radicular da cultura.

O custo emergético total de produção foi 5.265,22 US\$ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> sendo maior que os demais cultivos em sequeiro em razão do custo de entrada do composto orgânico nesse modelo de produção. Desse modo, o custo econômico considerando o balanço de entrada de energia no sistema para produzir um quilograma de feijão foi equivalente a 5,52 US\$ kg<sup>-1</sup> considerando-se apenas os recursos renováveis e não renováveis da economia.

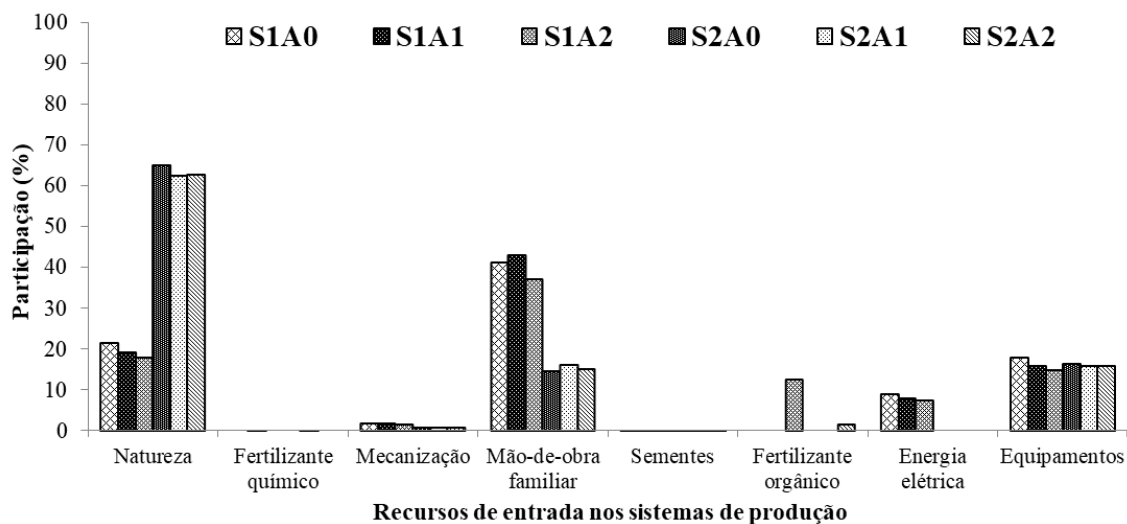
Os recursos não renováveis da natureza de entrada em todos os sistemas agrícolas irrigados e em sequeiro foi tipicamente a perda de solo devido à erosão. A perda de solo de 2,3 T ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> nos cultivos irrigados foi igual, visto que a condições que afetam o processo de erosão foram iguais em todos os modelos irrigados.

Já nos sistemas em sequeiro a perda de solo variou de 0,52 a 1,56 T ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> em função dos diferentes tipos de preparo do solo. Os sistemas de produção baseados em práticas de manejo e conversação do solo e mobilizações reduzidas de solo apresentaram melhores desempenhos. O ordenamento da menor perda de solo para maior foi T-CCO = 0,52 < T-CSS = 1,04 < T-PC = 1,35 < T-ESS = 1,56 < sistemas irrigados = 2,3 T ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

Ghaley e Porter, (2013) observaram maiores taxas de erosão em cultivos anuais em sistemas convencionais de produção de trigo, nos quais as operações e exposição do solo favoreceu o processo de erosão em comparação com um modelo de agroecossistema (CFE), onde a integração de culturas anuais, árvores e trevo melhoraram a cobertura do solo e reduziu a necessidade de operações agrícolas, reduzindo a exposição do solo ao processo erosivo. Assim sendo, a entrada de energia devido à erosão do solo no trigo convencional foi maior 4,97E+09 J ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> em comparação sistema alternativo CFE que foi 2.45E+09 J ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

A entrada de energia proveniente dos recursos da natureza foi maior nos sistemas de produção renováveis irrigados em comparação aos sistemas convencionais irrigados (Figura 25). Os serviços de mão-de-obra familiar foram maiores nos sistemas convencionais, sendo que nos modelos que utilizaram fertilizante químico tiveram uma participação maior devido ao aumento da mão-de-obra nos trabalhos de adubação.

**Figura 25** - Principais recursos renováveis e não renováveis da natureza e da economia de entrada nos sistemas de produção irrigados em Tianguá - CE



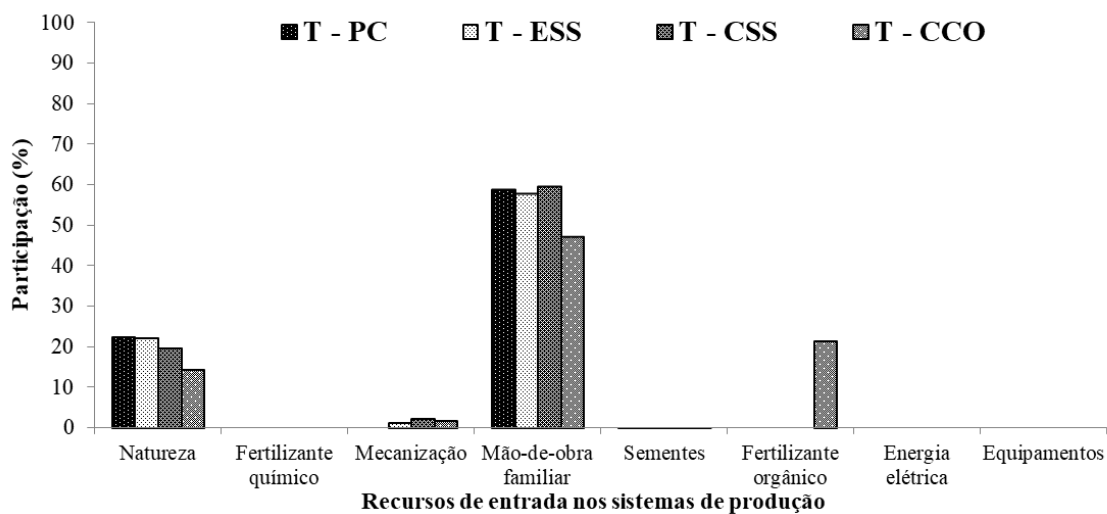
O serviço de eletricidade correspondeu apenas aos modelos convencionais irrigados, já que os renováveis irrigados foram acionados com energia solar fotovoltaica. De modo semelhante, o composto orgânico foi apenas nos tratamentos S2A2 e S1A2, em que neste último afetou significativamente a energia dentro do sistema. Para os materiais a maior entrada foi procedente da aquisição dos equipamentos de irrigação em ambos os sistemas e do sistema de bombeamento solar fotovoltaico nos sistemas renováveis.

No geral observou-se que os recursos da economia apresentaram maiores participações nos modelos que não utilizaram o efluente doméstico tratado, o que afetou de forma expressiva os indicadores de sustentabilidade, uma vez que quanto maior o fluxo de energia resultante de entradas externas (economia) menor o rendimento energético do sistema.

Oliveira et al. (2018) na análise energética de propriedades agropecuárias na região das nascentes do rio Piracicaba no estado de São Paulo constatou que o aumento do uso dos recursos da economia, a renovabilidade diminuiu e o uso de recursos da natureza também diminuiu em relação aos recursos da economia, ou seja, a taxa de rendimento energético (EYR).

Nos modelos de produção em sequeiro comportamento semelhante aos sistemas convencionais irrigados foi observado, no qual os recursos da econômica foram superiores a 70% da entrada de energia nesses sistemas. A maior participação foi da mão-de-obra familiar que apresentou valores acima de 50% enquanto os recursos da natureza foram em torno de 20% (Figura 26).

**Figura 26** - Principais recursos renováveis e não renováveis da natureza e da economia de entrada nos sistemas de produção de sequeiro em Quixeramobim - CE



Ghaley e Porter, (2013) no estudo emergético em dois sistemas de cultivo de trigo na Dinamarca constataram que os recursos comprados (economia) constituíram na maior parte da energia de entrada no cultivo de trigo convencional 97% e no cultivo alternativo CFE 79%, sendo que os serviços representaram a maior contribuição 43,6% do total do fluxo emergético.

Os serviços de mecanização foram maiores à medida que intensificou-se as operações de preparo do solo, sendo maior nos sistemas que utilizaram sulcador e subsoladores nos cultivos (T-CSS e T-CCO). Apenas no modelo T-CCO que houve adição de composto orgânico, este contribuí de forma significativa para o menor rendimento emergético nesse modelo de produção.

### 3.3 Indicadores emergéticos

A taxa de rendimento emergético mostra a capacidade do sistema em explorar os recursos não renováveis da economia. Desse modo, os sistemas de sequeiro e convencional irrigado mostraram menor potencial de contribuição socioeconômico do que os sistemas renováveis irrigados, uma vez que nos modelos irrigados convencionais a EYR média foi 1,24 e nos modelos em sequeiro 1,25 indicando que a energia dos recursos não renováveis da economia é praticamente igual à quantidade de energia que é proveniente do produto final, portanto, esses sistemas apresentam pequeno potencial de contribuição para o crescimento econômico.

Já a EYR média de 2,77 nos sistemas renováveis irrigados indicam uma contribuição socioeconômica maior em função da menor entrada de recursos da economia nesses modelos de produção (Tabela 56).

**Tabela 56** - Indicadores emergéticos dos sistemas de produção convencionais e renováveis irrigados e dos modelos de produção em sequeiro na região Nordeste do Brasil

Indicadores	S1A0	S1A1	S1A2	S2A0	S2A1	S2A2	T-PC	T-ESS	T-CSS	T-CCO
EYR	1,28	1,24	1,22	2,95	2,67	2,69	1,30	1,30	1,25	1,17
ELR	0,44	0,38	0,34	0,22	0,21	0,21	0,03	0,05	0,05	0,04
EIR	0,43	0,38	0,33	0,22	0,21	0,21	0,03	0,04	0,05	0,04
ESI	2,92	3,23	3,61	13,22	12,50	12,57	37,89	26,12	22,82	29,32
EER	3,75	2,13	3,26	5,40	5,03	4,94	2,45	1,80	2,77	2,16

Segundo Chen et al. (2006) para evitar as perdas econômicas, a saída de um sistema deve ser pelo menos igual ao investimento, que é quando a proporção de rendimento emergética é pelo menos igual a 1,0.

Dessa forma verificou-se que os sistemas de produção com água residuária e energia solar fotovoltaica (S2A0, S2A1 e S2A2) apresentaram melhores taxas de rendimento emergético em relação aos sistemas convencionais irrigados (S1A0, S1A1, e S1A2) e em comparação aos cultivos em sequeiro (T-PC, T-ESS, T-CSS e T-CCO) em função do menor fluxo emergético de recursos da economia.

Segundo Queiroz et al. (2000) na análise emergética do Cultivo de Bagre no Alabama, EUA evidenciaram que em sistemas agrícolas convencionais, normalmente intensivos em energia, têm valores de EYR menores que 1,00. Assim sendo, todos os sistemas de cultivo irrigado e em sequeiro no presente estudo foram superiores ao valor destacado pelos autores para sistemas agrícolas convencionais.

Ortega et al. (2001) no cultivo de soja no Brasil observaram valores da taxa de rendimento emergético variando de 1 a 4. Já Panzieri et al. (2000) no sistema de produção de soja na Itália obtiveram taxas de rendimento variando de 1,98 a 2,32.

Com relação à carga ambiental os sistemas em sequeiro evidenciaram menor impacto ambiental em razão da menor energia de entrada proveniente de insumos não renováveis da economia. A base desses sistemas de produção foram os recursos externos, porém constituiu-se basicamente de serviços renováveis, o que não afetou a sustentabilidade ambiental desses sistemas de cultivo.

O valor médio de 0,04 nos sistemas produção em sequeiro mostra menor estresse ambiental comparado aos sistemas irrigados 0,30 visto que quanto maior o valor da ELR maiores serão os impactos ambientais causados pelo sistema de produção,

em função do uso de recursos não renováveis da economia. Segundo a classificação de Brown e Ulgiati (2004), a  $ELR < 2$  indica baixa carga ambiental,  $2 < ELR < 3$ , moderadamente baixo,  $3 < ELR < 10$  moderado e  $ELR > 10$  alta carga ambiental.

A taxa de investimento emergético analisa o uso eficiente da energia dos recursos não renováveis da economia em relação aos recursos renováveis da natureza e da economia, além dos recursos não renováveis da natureza. Dessa forma, o menor valor médio de 0,04 encontrado nos sistemas de sequeiro significa menor gasto de energia não renovável, condição favorável para diminuir o custo de produção. Já nos sistemas irrigados, os tratamentos que utilizaram efluente doméstico tratado e energia solar fotovoltaica apresentaram taxas investimento um pouco melhor em relação aos cultivos convencionais irrigados.

Nakajima e Ortega (2015) no estudo da sustentabilidade de sistemas de produção de horticultura usando a análise emergética verificaram que o aumento de EIR, isto significa maior consumo de insumos da economia e, por consequência menor renovabilidade.

O indicador de sustentabilidade avalia a contribuição do sistema para a economia em relação ao impacto ambiental. De acordo Brown e Ulgiati (2004), o  $ESI < 1$  indica sistema não sustentável, sistemas com  $ESI > 1$  contribuem para o crescimento econômico, sem grave perturbação ambiental, já valores intermediários  $1 < ESI < 5$  caracterizam sustentabilidade no médio prazo e valores de  $ESI > 5$  indica sustentabilidade no longo prazo.

Assim sendo, verificou-se que os sistemas em sequeiro possuem sustentabilidade no longo prazo em função do menor uso de recursos não renováveis. Já os sistemas renováveis irrigados S2A0, S2A1 e S2A2 apresentam sustentabilidade também em longo prazo devido ao maior uso de recursos renováveis, água residuária e menores insumos de entrada (fertilizantes, composto orgânico e serviço de eletricidade) A ESI média de 3,25 nos sistemas convencionais irrigados mostra sustentabilidade em médio prazo.

Gonçalves et al. (2018) quantificaram a sustentabilidade emergética na produção convencional de morango por meio dos indicadores ambientais, no qual verificaram um rendimento em energia (EYR): 1,32; investimento em energia (EIR): 3,08; índice de carga ambiental (ELR): 3,76; índice de sustentabilidade (ESI): 0,35 e Transformidade solar  $8,39E+10^{-8}$  sej  $J^{-1}$ .

Com relação à razão da energia do produto pela energia do dinheiro, bem como a taxa de intercâmbio em ambos os sistemas o consumidor tem vantagem sobre o

produto, visto que a relação emergética é maior que 1,0, indicando que um parceiro comercial tem vantagem relativa sobre o outro, pois quando  $EER < 1$ , o produtor tem vantagem sobre o consumidor, já a  $EER > 1$ , o produtor perde energia, ou seja, a razão emergética é em benefício do consumidor (ORTEGA et al., 2010).

Segundo Fernandes et al., (2006) o índice de intercâmbio emergético avalia se na venda dos produtos, o sistema está remunerando a energia empregada na produção. Pelo valor obtido, observou-se que nos sistemas irrigados, os produtores entregam 4,08 vezes mais energia em produto do que a energia que recebem em forma de dinheiro. Já os produtores dos sistemas em sequeiro entregam 2,29 vezes mais energia em produto do que a energia em forma de dinheiro.

Nos cultivos em sequeiro essa razão foi inferior em virtude do menor fluxo emergético nesses modelos de produção. Já nos cultivos irrigados em função do maior uso de energia no processo produtivo essa relação foi ainda menos favorável ao produtor. E os maiores valores foram nos sistemas renováveis irrigados devido à intensidade energética do efluente doméstico tratado.

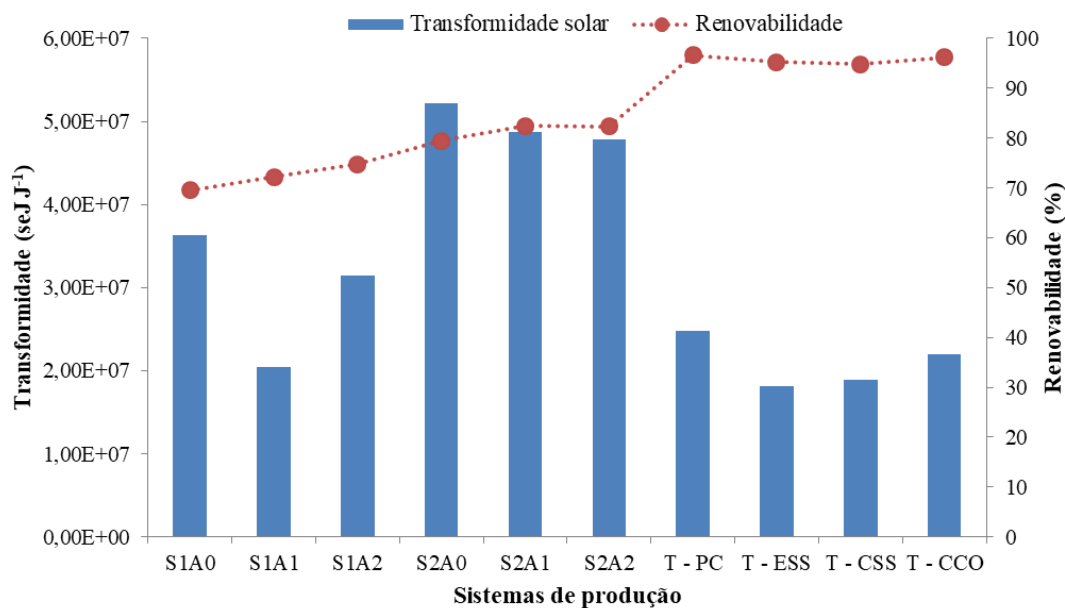
A transformidade solar foi maior nos sistemas renováveis irrigados  $4,95E+07 \text{ seJ J}^{-1}$  em comparação aos sistemas convencionais irrigados  $2,94E+07 \text{ seJ J}^{-1}$  e de sequeiro  $2,09E+07 \text{ seJ J}^{-1}$  em função da intensidade energética de um recurso em particular que caracteriza os sistemas renováveis, a água residuária.

Dessa forma, os menores valores encontrados nos modelos de produção em sequeiro e irrigados convencionais indicam maior eficiência de transformação de energia, uma vez que esse índice indica a eficiência do sistema na produção de um produto pela energia de entrada (Figura 27).

Segundo Pereira e Ortega (2010), quanto maior for a transformidade menos eficiente é o sistema produtivo, uma vez que em cada transformação, quanto maior a energia desprendida no processo de produção, maior será o valor emergético final para a produção agrícola.

Cuvillier (2006) no cultivo de produção de olerícolas em sistemas orgânicos e convencionais obteve valores de transformidades solares em média  $2,37E+5$  e  $6,3E+6 \text{ seJ J}^{-1}$ , respectivamente. Portanto, os valores encontrados nesse estudo encontram-se maiores devido à variação do volume de produto comercializado, bem como a razão da energia produzida ser sensível à quantidade de energia disponível considerada.

**Figura 27** - Transformidade solar e indicador de renovabilidade dos diferentes sistemas de produção irrigados e em sequeiro



O índice de renovabilidade refere-se ao uso de recursos renováveis da natureza e da economia em relação ao fluxo de energia total no sistema, sendo um indicador de sustentabilidade. Assim sendo, verificou-se que os sistemas de sequeiro apresentaram maior percentual de renovabilidade acima de 90%, o que torna estes mais sustentáveis no longo prazo em razão do maior uso de recursos renováveis da natureza e da economia, principalmente os serviços renováveis como a mão-de-obra familiar.

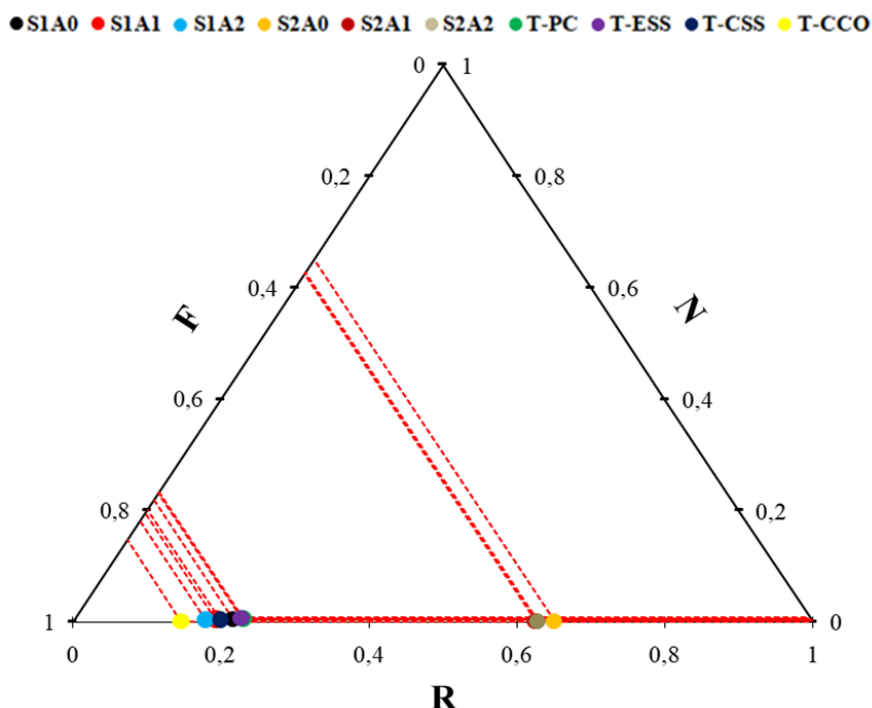
Em relação aos sistemas irrigados, a maior renovabilidade observou-se nos sistemas que utilizaram água residuária e energia solar fotovoltaica (S2A0, S2A1 e S2A2), com valores médios em torno de 80%, já nos sistemas convencionais irrigados (S1A0, S1A1 e S1A2), esse índice foi em média 70%. Essa diferença foi atribuída a maior entrada de recursos renováveis da natureza nos modelos em que houve a interação do efluente doméstico tratado e energia renovável.

Ortega et al. (2010) no estudo de energia em sistemas de produção de olerícolas sob manejo orgânico verificaram que os sistemas estudados apresentaram alta renovabilidade acima de 60%.

Teixeira, Carvalho e Costa (2007) na análise econômica e emergética em um sistema integrado de produção de arroz irrigado em transição para o cultivo orgânico observaram que o sistema em transição, mostra maior competitividade ambiental pela maior taxa de energia produzida (EYR) obtida 17,32 contra 4,4 para o sistema convencional, além da renovabilidade de 97,2% contra 79,9% do sistema convencional.

O diagrama ternário observado na Figura 28 mostra a relação dos recursos renováveis e não renováveis do meio ambiente e da economia de entrada em cada um dos sistemas agrícolas em estudo, por meio deste foi possível obter informações da interação desses diferentes recursos, uma visualização holística do comportamento de cada modelo de produção, no qual pode auxiliar o processo de tomada de decisão, além do mais podem ser úteis para comparar diferentes arranjos ou destacar as principais características dos diferentes sistemas de cultivo.

**Figura 28** - Diagrama ternário de energia da relação entre os recursos renováveis da natureza (R), não renováveis (N) e da economia (F) nos diferentes sistemas de produção irrigados e em sequeiro



Verificou-se que os sistemas agrícolas convencionais irrigados (S1A0, S1A1 e S1A2) e os sistemas de cultivo em sequeiro (T-PC, T-ESS, T-CSS e T-CCO) mostraram-se altamente dependentes de recursos da economia (F) e baixa utilização de recursos renováveis da natureza, o que afetou significativamente o rendimento energético desses sistemas.

Comportamento diferente foi observado nos sistemas de produção renováveis (S2A0, S2A1 e S2A2), onde a maior utilização de recursos renováveis da natureza proporcionou aumento do rendimento energético, embora a transformidade solar nesses modelos tenha sido mais elevada em função da maior intensidade energética (transformidade) da água residuária.

O gasto energético dentro de um sistema é proveniente de recursos renováveis e não renováveis tanto da natureza quanto da economia, no entanto quando

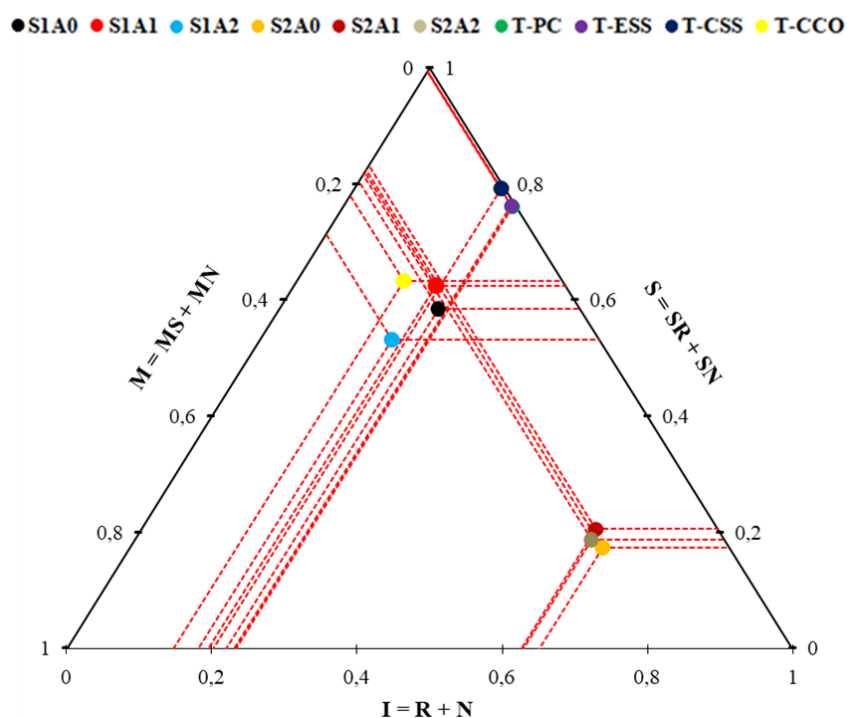
essa intensidade energética é resultante de recursos não renováveis, essa condição ainda é menos favorável em razão da renovabilidade desses recursos. Todavia em qualquer dos casos proporciona menor eficiência energética no processo de produção.

Segundo Ghaley e Porter (2013), os recursos renováveis como sol, vento e água são distribuídos em grandes áreas e têm baixa qualidade de energia. Assim sendo, os insumos energéticos de alta qualidade são importados (economia) para a produção agrícola do sistema por concentrar a energia de baixa qualidade na saída.

Ambos os sistemas de cultivos irrigados e em sequeiro apresentaram baixa utilização dos recursos não renováveis da natureza (N), sendo que nos modelos em sequeiro em função das práticas de preparo e manejo do solo esse percentual foi ainda menor em relação aos modelos irrigados.

Pela relação energética dos recursos da natureza e da economia (serviços e materiais) percebeu-se que os sistemas renováveis irrigados apresentaram melhor desempenho resultante da menor quantidade de energia proveniente de recursos da economia, uma vez que o fluxo de energia de entrada dos serviços e materiais foram menor em relação aos da natureza (Figura 29).

**Figura 29** - Diagrama ternário da relação energética dos recursos renováveis e não renováveis da natureza ( $I = R + N$ ), insumos ( $M = MS + MN$ ) e serviços ( $S = SR + SN$ ) nos diferentes sistemas de cultivos irrigados e em sequeiro



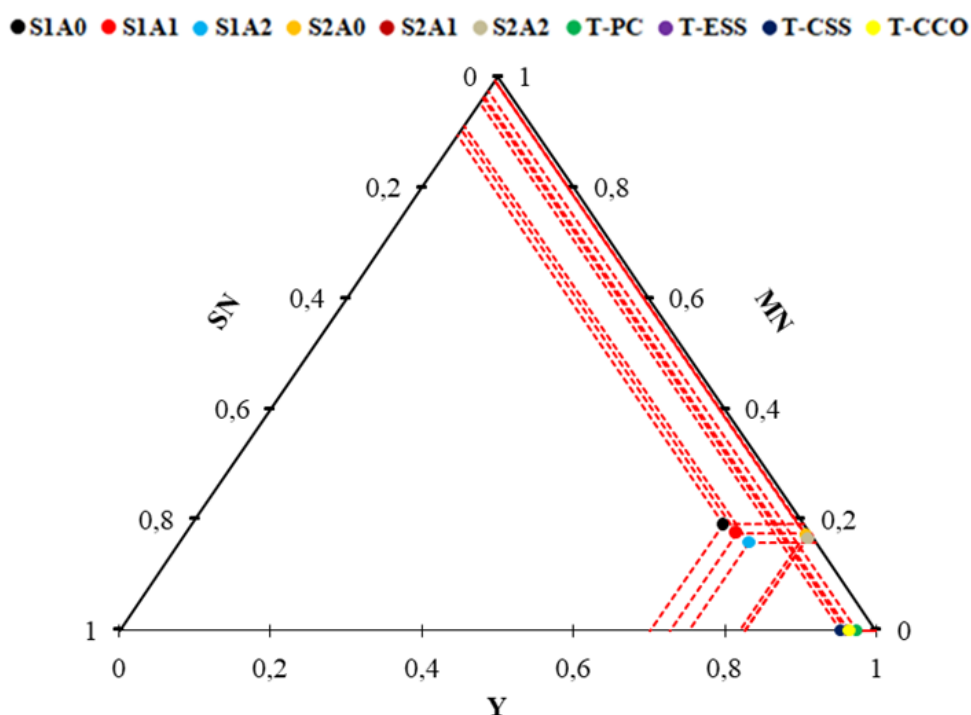
Os sistemas de produção em sequeiro mostraram-se altamente dependentes do fluxo de energia procedente dos serviços, sendo que essa condição não afetou

negativamente os indicadores emergéticos, uma vez que o componente de maior entrada correspondeu à mão-de-obra familiar (serviço renovável), aproximadamente 60%. Esses sistemas também caracterizaram-se pela pequena quantidade de entrada de insumos da economia, condição que causou menor estresse ao meio ambiente e conseqüentemente aumento do índice de sustentabilidade. A exceção ocorreu no sistema T - CCO, em que entrada do composto orgânico (20%) diminuiu a taxa de rendimento emergético nesse sistema, além do aumento da transformidade solar.

Os sistemas de produção convencionais irrigados (S1A0, S1A1 e S1A2) evidenciaram menores taxas de renovabilidade, rendimento emergético, sustentabilidade e maior carga ambiental devido a menor participação dos recursos da natureza no processo de produção. O modelo S1A2 apresentou o menor desempenho em virtude da maior entrada de insumos (composto orgânico) e serviços.

Pelo diagrama ternário da taxa de rendimento emergético constatou-se que os sistemas renováveis irrigados tiveram maior retorno em relação aos investimentos externos não renováveis de entrada (MN e SN). Já os sistemas convencionais irrigados indicaram menor habilidade dos sistemas em explorar os recursos locais e disponibilizá-los na forma de produtos, em resposta aos investimentos externos em função da menor participação dos recursos internos na energia total (Figura 30).

**Figura 30** - Diagrama ternário da energia total (Y) em relação aos recursos não renováveis da economia (MN) e (SN) que expressa à taxa de rendimento emergético (EYR) nos modelos de produção



Segundo Pereira e Ortega (2010), o melhoramento deste índice depende da diminuição na utilização de recursos da economia. Alguns estudos indicam que a adoção de métodos agrícolas mais ecológicos e/ou orgânicos que utilizam menos insumos e reciclam produtos, internos e subprodutos, como as culturas consorciadas (Martin et al. 2006; La Rosa et al. 2008).

Albuquerque et al. (2012) na avaliação emergética da cultura da mamona consorciada com cana-de-açúcar irrigada na região semiárida constataram uma taxa de 1,77 indicando que o sistema apresenta uma contribuição de baixa a moderada de retorno. Essa taxa de rendimento emergético observada encontra-se superior aos modelos em sequeiro (1,25) e convencional irrigado (1,24) e inferior aos sistemas renováveis irrigados (2,77).

Os cultivos em sequeiro apresentaram baixo rendimento emergético devido a sua alta dependência de recursos da economia, principalmente serviços. Apesar da alta renovabilidade desses sistemas, a baixa entrada de recursos renováveis da natureza no fluxo de energia final influenciou de forma expressiva o potencial de contribuição para o crescimento econômico. Para Odum, (1996) a maior valor EYR é um indicador claro da contribuição líquida do sistema para a economia.

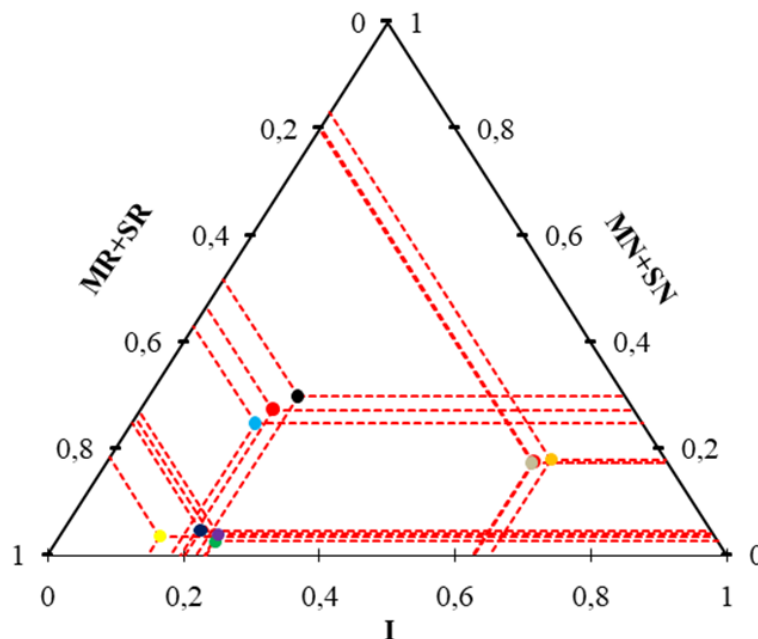
Haden, (2003) no estudo emergético em sistemas agrícolas Dinamarquês no ano de 1936, 1970 e 1999 constatou valores da taxa de rendimento emergético de 1,14, 1,08 e 1,17 respectivamente, estando estes em conformidade com nossos resultados para os sistemas em sequeiro e convencional irrigado.

Para Diemont et al., (2006) a análise emergética demonstrou que os benefícios líquidos dos agroecossistemas diminuíram com a mudança para a agricultura mecanizada devido ao alto consumo de energia e baixa eficiência energética nos modelos de agricultura atual.

O diagrama ternário do índice que mede a proporção entre os recursos não renováveis da economia em relação a energia da natureza (EIR) é mostrado na Figura 31, no qual o menor valor de EIR indica menor consumo de energia não renovável, condição que diminui o custo de produção, uma vez que todos os insumos provenientes da economia constituem custo monetário de entrada no sistema, portanto é um indicador de viabilidade econômica.

**Figura 31** - Diagrama ternário dos recursos não renováveis da economia (MN + SN) em relação aos recursos renováveis e não renováveis da natureza ( $I = R + N$ ) e renováveis da economia (MR + SR) que expressa índice de investimento emergético (EIR) produção

● S1A0 ● S1A1 ● S1A2 ● S2A0 ● S2A1 ● S2A2 ● T-PC ● T-ESS ● T-CSS ● T-CCO



Os sistemas convencionais irrigados demonstraram menor competitividade no mercado, uma vez que a taxa de investimento emergético foi mais elevada 0,38 em função da maior quantidade de recursos não renováveis (serviços e materiais) de entrada, em média 30%. Já os sistemas renováveis irrigados apresentaram menores entradas de serviços e materiais não renováveis, abaixo de 20%, condição que melhorou a taxa de investimento emergético que ficou em torno de 0,21 correspondente ao valor médio.

A co-produção nos sistemas renováveis irrigados devido à utilização do efluente doméstico tratado (economia de água e fertilizantes) e energia solar fotovoltaica (economia de energia elétrica) tornou esses sistemas menos dependentes de insumos da economia.

De acordo com Bastianoni e Marchettini, (2000) o uso de processos ecológicos naturais para manter a complexidade natural podem efetivamente diminuir a necessidade de insumos externos para a produção, o que melhorar os índices de rendimentos emergético, investimento e carga ambiental.

Ortega et al. (2005) constataram valores superiores aos observados nessa pesquisa, em que verificaram em plantações ecológicas e tradicionais de soja taxas de investimento de 0,45 e 0,85, respectivamente.

Nos cultivos em sequeiro a média da taxa de investimento energético foi 0,04 em razão da baixa entrada de recursos da economia não renováveis (MN + SN). Apesar da base dos fluxos energéticos nos sistemas em sequeiro tenha sido da economia, aproximadamente 80%, essa condição não influenciou sua competitividade no mercado devido a maior parcela, acima de 70% serem recursos renováveis da economia (mão-de-obra).

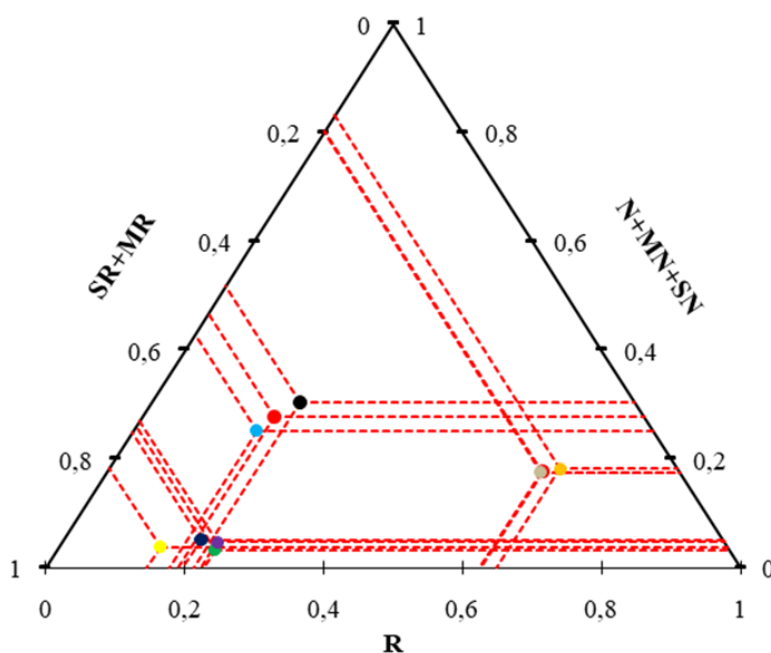
O serviço de mecanização foi a principal entrada de recurso da economia não renovável nos modelos em sequeiro e este apresentou pequena participação em função da própria característica de preparação do solo em cada sistema, reduzido e sem preparo.

Albuquerque et al. (2012) na análise de energia na cultura da mamona consorciada com cana-de-açúcar irrigada na região semiárida obtiveram uma taxa de investimento 1,29 bem superior aos valores constatados nesse estudo. O mesmo atribuiu a grande quantidade de recursos não renováveis da economia de entrada.

Pelo diagrama ternário do indicador de carga ambiental observou-se que este apresenta um comportamento semelhante à taxa de investimento, uma vez que a ELR faz uma relação dos recursos não renováveis da natureza e da economia pelos recursos renováveis tanto natureza quanto da economia muito similar à taxa de investimento energético (Figura 32).

**Figura 32** - Diagrama ternário da relação de todos os recursos não renováveis pelos recursos renováveis que expressa o impacto ambiental (ELR) dos modelos de produção

● SIA0 ● SIA1 ● SIA2 ● S2A0 ● S2A1 ● S2A2 ● T-PC ● T-ESS ● T-CSS ● T-CCO



Assim sendo, os sistemas de produção em sequeiro apresentaram menor impacto ambiental, ainda que a maior entrada de energia tenha sido externa (economia). Porém, 70% dos recursos externos foram serviços renováveis, o que não exerce tanta pressão sobre o meio ambiente. A intensificação de uso da mecanização aumentou o estresse ambiental nesses sistemas.

Os sistemas renováveis irrigados (S2A0, S2A1 e S2A2) apresentaram menor carga ambiental em relação aos convencionais irrigados (S1A0, S1A1 e S1A2) em função da maior entrada de recursos renováveis da natureza (água residuária) e também da menor entrada de recursos não renováveis da economia (fertilizantes químicos, serviço de eletricidade).

Desse modo fica evidente que o aumento na quantidade de recursos não renováveis comprados (economia) aumenta a ELR devido aos seus efeitos adversos no meio ambiente em termos de energia, uso na extração, processamento e transporte até o ponto de consumo (GHALEY E PORTER, 2013).

Totino, (2016) em análise emergética de dois sistemas de produção agrícola na Argentina: chaco seco e pampa ondulado observou maior impacto ambiental com ERL de 2,04 e 1,01 respectivamente.

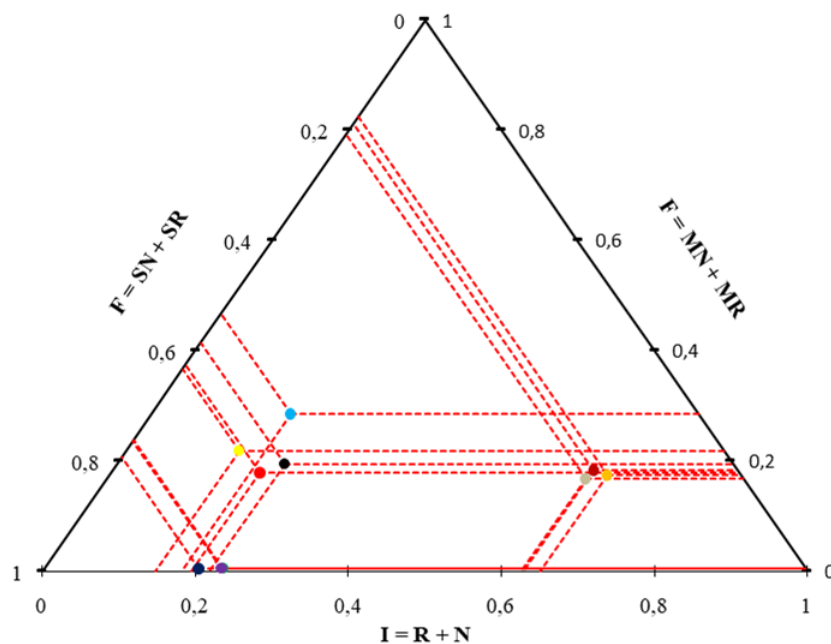
O diagrama ternário do indicador de contribuição do sistema para a economia por unidade de carga ambiental, bem como o índice de sustentabilidade emergética (ESI) mostra que os sistemas agrícolas em sequeiro apresentam-se sustentáveis no longo prazo em função da menor carga ambiental desses cultivos devido à pequena quantidade de insumos não renováveis de entrada (Figura 33).

Dentre os cultivos em sequeiro, o sistema T - CCO apresentou maior participação de materiais (composto orgânico), o que aumentou o fluxo de energia e diminuiu seu rendimento emergético e consequentemente o índice de sustentabilidade.

Em relação aos sistemas convencionais irrigados, o aumento da energia procedente de recursos da economia proporcionou menor rendimento emergético e maior carga ambiental resultando sustentabilidade no médio prazo. Já os sistemas renováveis em razão da grande quantidade de energia oriunda da natureza, o que favoreceu o rendimento emergético e a diminuição da carga ambiental e consequentemente sustentabilidade no longo prazo.

**Figura 33** - Diagrama ternário do índice de sustentabilidade (ESI) dos modelos de produção irrigados e em sequeiro na região Nordeste do Brasil

● SIA0 ● SIA1 ● SIA2 ● S2A0 ● S2A1 ● S2A2 ● T-PC ● T-ESS ● T-CSS ● T-CCO



Gonçalves et al. (2018) na análise de emergia de uma sistema de produção convencional de morango no município de Espírito Santo do Dourado – MG constataram que o sistema convencional mostrou-se muito mais dependente de recursos provenientes da economia (F), ou seja, recursos pagos, comparado com os outros sistemas não convencionais, demonstrando que as lavouras orgânicas utilizam melhor os recursos provenientes do meio ambiente e, portanto, mais sustentáveis.

#### 4. CONCLUSÕES

Os modelos de produção em sequeiro apresentaram melhor balanço de energia em relação aos cultivos irrigados em função da menor entrada de energia no sistema.

Os sistemas renováveis de produção irrigados (S2A0, S2A1 e S2A2) evidenciaram melhor taxa de rendimento energético em comparação aos sistemas convencionais irrigados e em sequeiro.

A menor entrada de recursos não renováveis da economia proporcionou maior sustentabilidade nos modelos de produção em sequeiro (T-PC, T-ESS, T-CSS e T-CCO).

A maior entrada de recursos da natureza (água residuária e energia solar fotovoltaica) promoveu aumento no rendimento energético e na sustentabilidade ambiental dos modelos de produção renováveis

Os cultivos em sequeiro e convencional irrigado mostraram-se altamente dependentes de recursos da economia, principalmente mão-de-obra.

O efluente doméstico tratado proporcionou maior fluxo de energia nos sistemas renováveis irrigados em função da alta intensidade energética desse recurso.

A entrada de recursos da economia nos sistemas agrícolas aumenta a carga ambiental e diminui a renovabilidade.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de efluente doméstico tratado aumenta a produtividade e a rentabilidade econômica da cultura irrigada.

O fluxo energético na agricultura irrigada foi superior em comparação à agricultura de sequeiro em função da maior entrada de recursos não renováveis da economia.

Os sistemas de produção irrigados e em sequeiro contribuíram para o crescimento econômico da região Nordeste com baixa carga ambiental.

A maior eficiência de transformação da energia na cadeia de produtos pode ser alcançada no modelo de produção em sequeiro, devido aos menores valores de entrada de energia para a produção.

Embora a produção de feijão em condições irrigada seja menos sustentável, devido às maiores entradas de recursos não renováveis da economia, o maior rendimento da cultura e os preços mais altos alcançados na comercialização em relação às principais áreas produtoras em sequeiro atenuam os riscos.

## REFERÊNCIAS

- AGOSTINHO, F.; DINIZ, G.; SICHE, R.; ORTEGA, E. The use of emergy assessment and the geographical information system in the diagnosis of small family farms in Brazil. **Ecol. Modelling**, v. 210(1-2), p. 37-57. 2008.
- AGOSTINHO, F.; AMBRÓSIO, L. A.; ORTEGA, E. Assessment of a large watershed in Brazil using emergy evaluation and geographical information system. **Ecol. Modelling** 221(8): 1209- 1220. 2010
- ALBUQUERQUE, R. C.; DANTAS NETO, J.; SILVA NETO, A. G. Avaliação emergética da cultura da mamona consorciada com cana-de-açúcar irrigada em clima semiárido. **Revista Verde** (Mossoró – RN), v. 7, n. 3, p. 156-162, jul-set, 2012.
- BARROS, I.; EDSON PATTO PACHECO, E. P.; H. W. L.; Integrated Emergy and Economic Performance Assessments of Maize Production in Semiarid Tropics: Comparing Tillage Systems. **Journal of Environmental Accounting and Management** 5(3) (2017) 207-229.
- BARRELA, F. A.; ALMEIDA, C. M. V. B.; GIANNETTI, B. F. Ferramenta para tomada de decisão considerando a interação dos sistemas de produção e o meio ambiente. **Revista Produção**, v. 15, n. 1, p. 87-101, 2005.
- BASTIANONI, S.; MARCHETTINI, N. The problem of co-production in environmental accounting by emergy analysis. **Ecol. Model.** 129, 187–193. 2000.
- BROWN, M. T. e ULGIATI, S. Emergy analysis and environmental accounting. **Encyclopedia Energy**, v. 2, p. 329–354. 2004.
- CAVALETT, O.; QUEIROZ, J. F.; ORTEGA, E. Emergy assessment of integrated production systems of grains, pig and fish in small farms in the South Brazil. **Ecol. Model.** 193, 205–224. 2006.
- COPPOLA, F.; BASTIANONI, S.; OSTERGÅRD, H. Sustainability of bioethanol production from wheat with recycled residues as evaluated by Emergy assessment. **Biomass Bioenergy** 33, 1626–1642. 2009.
- CHEN, C W.; CHIANG, W. L.; TSAI, C. H. Fuzzy Lyapunov Method for Stability Conditions of Nonlinear Systems. **Int. J. Artif. Intell. Tools**, 15: 163-171. 2006).
- CUVILLIER, S. **Análise de metodologias de avaliação da sustentabilidade de sistemas agrícolas**. 2006. 176 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro.
- DIEMONT, S. A. W.; MARTIN, J. F.; LEVY-TACHER, S. I. Emergy evaluation of Lacandon Maya indigenous swidden agroforestry in Chiapas, Mexico. **Agroforestry Syst.** 66, 23–42. 2006.
- FONSECA, A. M. P.; MARQUES. C. A. F.; CORREIA, T. P.; CAMPBELL, D. E. Emergy analysis of a silvo-pastoral system, a case study in southern Portugal. **Agroforestry Systems**. Vol.86, nº 6, 2015.

GONÇALVES, L. F.; SILVA, C. C.; OLIVEIRA, J. H.; MOREIRA, L. A. Uso da energia para análise da contabilidade ambiental na produção convencional de morango no município de Espírito Santo do Dourado (MG) **Revista Agroambiental**, Pouso Alegre, v. 10, n. 2, jun. 2018.

GHALEY, B. B. e PORTER, J. R. Emergy synthesis of a combined food and energy production system compared to a conventional wheat (*Triticum aestivum*) production system. **Ecological Indicators**, v. 24, p. 534 - 542. 2013.

GHISELLINI, P.; ZUCARO, A.; VIGLIA, S.; ULGIATI, S. Monitoring and evaluating the sustainability of Italian agricultural system. An emergy decomposition analysis. **Ecological Modelling**. Vol. 271, 132–148. 2014.

GIANNETTI, B. F.; BARRELLA, F. A.; BONILLA, S. H.; ALMEIDA, C. M. V. B. Aplicações do diagrama emergético triangular na tomada de decisão ecoeficiente. **Produção**, v. 17, n. 2, p. 246-262, Maio/Ago. 2007.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. 4 ed. Porto Alegre, Ed. Universitária/UFRGS, 2009.

HADEN, A. C. Emergy Evaluations of Denmark and Danish Agriculture. Thesis/Dissertation 1–102. 2003.

LA ROSA, A. D.; SIRACUSA, G.; CAVALLARO R. Emergy evaluation of Sicilian red orange production. A comparison between organic and conventional farming. **Journal of Cleaner Production**. v.16, p.1907–14.2008.

LU, H. F.; CAMPBELL, D. E.; LI, Z. A.; REN, H. Emergy synthesis of an agro-forest restoration system in lower subtropical China. **Ecological Engineering**, v. 27, p. 175 - 192. 2006.

MARTIN, J. F.; DIEMONT, S. A. W.; POWELL, E.; STANTON, M.; LEVY-TACHER, S. Emergy evaluation of the performance and sustainability of three agricultural systems with different scales and management. **Agric. Ecosyst. Environ.** v. 115, p. 128 - 140. 2006.

NAKAJIMA, E. S.; ORTEGA, E. Exploring the sustainable horticulture productions systems using the emergy assessment to restore the regional sustainability. **Journal of Cleaner Production**, v. 96, p. 531–538, 2015.

NEVES, A. L. R. **Estratégias visando o uso sustentável de água salina em um ciclo de rotação cultural feijão-de-corda/girassol**. 2012. 159 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

ODUM, H. T.; DOHERTY, S. J.; SCATENA, F. N.; KHARECHA, P. Emergy evaluation of reforestation alternatives in Puerto Rico. **Forest Science**, v. 46 (4), p. 521-530. 2000.

ODUM, H. T. **Environmental accounting: emergy and environmental decision making**. New York: John Wiley, 1996. 370 p.

ORTEGA, E.; GUERRA, J. G. M.; ASSIS, R. L. RIBEIRO, R. L. D. Análise emergética de Sistemas de produção de olerícolas sob manejo orgânico. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia** v.3 n.3. 2010.

ORTEGA, E.; CAVALETT, O.; BONIFACIO, R. E WATANABE, M. Brazilian Soybean Production: Emergy analysis with an expanded scope. **Bulletin of Science, Technology & Society**, v. 25, n. 4, p. 1-11. 2005.

ORTEGA, E.; ANAMI, M. H.; DINIZ, G. **Certification of food products using emergy analysis**. In: III BIENNIAL INTERNATIONAL WORKSHOP: ADVANCES IN ENERGY STUDIES, Porto Venere, p. 227-237. 2002.

ORTEGA, E.; MILLER, M.; ANAMI, M. **From emergy analysis to public policy: soybean in Brazil**. In: II BIENNIAL EMERGY ANALYSIS RESEARCH CONFERENCE, Gainesville. Proceeding. p. 77-94. 2001.

OLIVEIRA, M. I. R. Análise emergética de propriedades agropecuárias na região das nascentes do Rio Piracicaba: uma contribuição. Dissertação. Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP : p 191, 2018.

PANZIERI, M.; MARCHETTINI, N. E HALLAM, T. G. 2000. Importance of the *Bradhyrizobium japonicum* symbiosis for the sustainability of a soybean cultivation. **Ecol. Model**, v. 135, p. 301 - 310. 2000.

PEREIRA C. L. F e ORTEGA E. Sustainability of large-scale ethanol production from sugarcane. **Journal of Cleaner Production**. v.18, p. 77-82.2010.

QUEIROZ, J.F.; ORTEGA, E.; BOYD, C. E.; FERRAZ, J.M. uma Visão Geral. **Revista Brasileira de Ecologia**, Rio Claro, São Paulo, Brasil, p.61-70, 2000.

TEIXEIRA, G. G.; CARVALHO, R. V.; COSTA, J. A. V. Análise econômica e emergética em um sistema integrado de produção de arroz irrigado em transição para o cultivo orgânico. **R. Bras. Agrociência**, Pelotas, v.13, n.3, p. 319-324, jul-set, 2007.

TOTINO, M. Síntesis emergética como herramienta de comparación entre dos sistemas de producción agrícola argentinos: chaco seco y pampa ondulada. **Revista Iberoamericana de Economía Ecológica**. Vol. 26, 123-139. 2016.

VEISI, H.; TORBAK, A.; KAMBOZIA, J.; MAHDAVI-DAMGHANI, A.; DEIHIMFARD, R. Emergy evaluation of the performance and sustainability of three agricultural systems: Case of winter wheat, grain corn and spring forage corn in Dezful at Khozestan province, Iran. **Journal of Agroecology**. Vol. 6 (2), 139-160. 2016.

VICENTIN, T. A.; SERAPHIM, O. J.; PRESENÇO, J. F.; HALMEMAN, R. J.; OLIVEIRA JÚNIOR, A. J. Análise do acionamento de motobombas através de sistemas fotovoltaicos. **Energ. Agric. Botucatu**, vol. 31, n.1, p.72-79, janeiro-março, 2016.

ZHAI, X.; ZHAO, H.; GUO, L, FINCH, D. M.; HUANG, D.; LIU, K.; TANG, S.; YANG, Y.; GUO, J.; LI, J.; XIE, S.; WANG, K. The emergy of metabolism in the same ecosystem (maize) under different environmental conditions. **Journal of Cleaner Production**. Vol. 191, 233-239. 2018.

WEI, J.; XIAO, D.; ZENG, H. Sustainable development of an agricultural system under ecological restoration based on Emergy analysis: A case study in northeastern China **International Journal of Sustainable Development & World Ecology**. Vol. 15, 103-112. 2008.

WAURECK, A.; EURICH, J.; WEIRICH NETO, P. H.; ROCHA, C.H. Estudo da sustentabilidade através de índices emergéticos em dois sistemas de produção de trigo. In. Seminário Internacional “Experiência de Agendas 21: Os desafios do Nosso Tempo”. Novembro de 2009. Ponta Grossa – PR, Brasil.

## ANEXO A

### CAPITULO 02: ANÁLISE EMERGÉTICA DE CULTIVOS AGRÍCOLA IRRIGADO E DE SEQUEIRO NO SEMIÁRIDO

#### Apêndice I

Neste apêndice, verificam-se as descrições dos cálculos dos fluxos de energia referenciados na tabela 43 e também são apresentadas informações e referências sobre as transformidades e as frações renováveis utilizadas.

#### Notas da Tabela 43 – Sistema de Produção Irrigado.

**1. Sol.** Foi determinado com base na insolação média anual registrada na região =  $2.936 \text{ h ano}^{-1}$  que corresponde a  $1,81 \text{ kW m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ . Também foi levado em consideração o Albedo = 22 (%) e utilizado os fatores de conversão =  $1000 \text{ J kJ}^{-1}$  e  $10000 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ . Portanto, a Energia (J) = (insolação) x fatores de conversão =  $1,81 \text{ kW m}^{-2} \text{ ano}^{-1} \times (1000 \text{ J kJ}^{-1}) \times (10000 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}) \times ((100-\text{albedo})/100)$  = Energia (J) =  $5,33\text{E}+10 \text{ J ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . Transformidade solar  $1,00\text{E}+00$ , Fração renovável, FR = 1,0.

**2. Precipitação pluviométrica.** O valor da energia da chuva (E), em  $\text{J ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , foi calculado para a precipitação média anual de 810 mm, por meio da equação:  $E (\text{J ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}) = \text{chuva (mm)} * \text{Energia livre de Gibbs (J kg}^{-1}) * 10.000 (\text{m}^2)$ ; portanto,  $E = 810 (\text{mm}) * 5000 (\text{J kg}^{-1}) * 10.000 (\text{m}^2) = 4,05\text{E}+10 \text{ J ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . Transformidade, Tr =  $3,06 \text{ E}+4 \text{ seJ J}^{-1}$  (BROWN e ULGIATI, 2004). Fração renovável, FR = 1 (TAKAHASHI et al., 2008).

**3. Recurso hídrico.** Para o cálculo da energia da água utilizada na irrigação, foi considerada a aplicação da lâmina total por hectare ano durante o cultivo. A equação utilizada:  $E = \text{Quantidade de água (m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}) * 1000 (\text{kg m}^{-3}) * 5000 (\text{J kg}^{-1})$ , portanto:  $E = 37.999,2 (\text{m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}) * 1000 (\text{kg m}^{-3}) * 5000 (\text{J kg}^{-1}) = 1,90\text{E}+11 \text{ J ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . A transformidade, Tr =  $1,76\text{E}+5 \text{ seJ J}^{-1}$  (ODUM, 2000), foi corrigida pelo fator 1,68 (BROWN e ULGIATI, 2004), portanto, Tr =  $1,76\text{E}+5 \text{ seJ J}^{-1} * 1,68 = 2,96\text{E}+5 \text{ seJ J}^{-1}$ . A fração renovável, Fr = 1.

**4. Erosão.** A erosão foi calculada pela equação universal de perdas do solo (USLE),  $E = R. K. L. S. C. P$  (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2008), cujos valores dos fatores foram os seguintes: R = 4,928, K = 0,013; LS = 0,04; C = 0,5429; P = 0,4616. Portanto,  $E = 0,64218 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . Foram consideradas as perdas de matéria orgânica provocada pela erosão do solo, o percentual de matéria orgânica do solo de 0,029 (MOS= 2,9%). Para o cálculo da energia, em  $\text{J ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  foi utilizado a equação:  $E = \text{Perdas (kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}) * \text{MOS (\%)} * 5.400 (\text{kcal kg}^{-1}) * 4186 (\text{J kcal}^{-1})$ ; portanto,  $E = 642,18 * 0,029 * 5400 * 4186 = 4,2\text{E}+8 \text{ J ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . A transformidade, Tr =  $1,24\text{E}+5 \text{ seJ J}^{-1}$  (BROWN e ULGIATI, 2004). A fração renovável, FR = 0.

**5. Mão-de-obra familiar.** A mão-de-obra familiar foi composta por cinco pessoas: os chefes da família (homem e mulher) com idades de entre 19 e 55 anos, mais três filhos com idade entre 5 e 15 anos. Para os adultos, foi considerada a força de trabalho igual a um (1), ou seja, cada adulto corresponde a uma (1) unidade de trabalho (UT) e o trabalho do filho é igual a 0,50 UT. Cada unidade de trabalho (UT) corresponde a 288 dias de trabalho por ano, com jornada média de 8 horas por dia. Para o cálculo da energia da mão-de-obra foi utilizada a equação:  $E (\text{J ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}) = 3,5 (\text{UT}) * 288 (\text{dias ano}^{-1}) * 2500 (\text{kcal. Dia}^{-1}) * 4186 (\text{J kcal}^{-1}) / \text{área (ha)}$ ; portanto, a energia da mão-de-obra familiar:  $E = 2,82\text{E}+09 \text{ J ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ .

A transformidade,  $Tr = 1,85E+7 \text{ seJ J}^{-1}$ , corresponde ao valor da transformidade de  $1,1E+7 \text{ seJ J}^{-1}$  (ODUM, 1996) multiplicado pelo fator de correção 1,68 (BROWN e ULGIATI, 2004). A fração renovável,  $FR = 0,90$  (senso comum), para mão-de-obra da família.

**6. Mão-de-obra especializa.** No perímetro irrigado a assistência técnica realizada por dois técnicos agrícolas da ematerce é feita de forma permanente, portanto, foi contabilizado dois trabalhadores adultos (2 UT),  $E = (J \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}) = 2 \text{ (UT)} * 12 \text{ (dias ano}^{-1}) * 2500 \text{ (kcal. dia}^{-1}) * 4186 \text{ (J kcal}^{-1}) / \text{área (ha)} = 2,51E+08 \text{ J ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . A transformidade,  $Tr = 1,85E+7 \text{ seJ J}^{-1}$ , corresponde ao valor da transformidade de  $1,1E+7 \text{ seJ J}^{-1}$  (ODUM, 1996) multiplicado pelo fator de correção 1,68 (BROWN e ULGIATI, 2004). A fração renovável,  $FR = 0,60$  (TAKAHASHI et al., 2008), para mão-de-obra local.

**7. Mão-de-obra auxiliar.** Foi contabilizada a mão-de-obra de parceiros em serviço temporário, então foi contabilizado o trabalho de três pessoas adultas (3 UT) que trabalharam de forma temporária por um período de 12 dias por ano, portanto, para o cálculo da energia da mão-de-obra auxiliar foi utilizada a equação:  $E (J \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}) = 3 \text{ (UT)} * 12 \text{ (dias ano}^{-1}) * 2500 \text{ (kcal.dia}^{-1}) * 4186 \text{ (J kcal}^{-1}) / \text{Área (ha)} = 3,76E+08 \text{ J ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . A transformidade,  $Tr = 1,85E+7 \text{ seJ J}^{-1}$ , corresponde ao valor da transformidade de  $1,1E+7 \text{ seJ J}^{-1}$  (ODUM, 1996) multiplicado pelo fator de correção 1,68 (BROWN e ULGIATI, 2004). A fração renovável,  $FR = 0,60$  (TAKAHASHI et al., 2008), para mão-de-obra local.

**8. Eletricidade.** A energia elétrica utilizada refere-se ao consumo apenas das motobombas utilizada para a irrigação. Para o cálculo da energia foi utilizada a seguinte equação:  $\text{Energia (J ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}) = \text{Consumo total (kWh ano}^{-1}) * 1000 \text{ (w kW}^{-1}) * 3600 \text{ (s. h}^{-1}) / \text{área (ha)}$ ; portanto,  $\text{Energia} = 17.142 \text{ (kWh ano}^{-1}) * 1000 \text{ (w kW}^{-1}) * 3600 \text{ (s.h}^{-1}) / 1 \text{ (ha)} = 6,17E+10 \text{ J ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . A transformidade,  $Tr = 5,64E+5 \text{ seJ J}^{-1}$ , corresponde ao valor de  $3,36E+5 \text{ seJ J}^{-1}$  (ODUM, 1996) multiplicado pelo fator de correção 1,68 (BROWN e ULGIATI, 2004). A fração renovável,  $FR = 0,50$  (TAKAHASHI et al.; 2008).

**9. Mecanização.** Para a implantação do mamoeiro na área foram contratados os serviços de mecanização para preparo do solo como aração, gradagem, sulcamento, roçagem, pulverização da área de cultivo correspondente a um hectare. O valor total foi R\$ 5.440,00 reais, portanto, foram gastos US\$ 1.743,60 dólares  $\text{ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  ( $\text{US\$ } 1.743,60 = 5.440/3,12$ ). A transformidade,  $Tr = 4,54E+12 \text{ seJ US\$}^{-1}$  (estimado). A fração renovável,  $FR = 0,01$  (ORTEGA et al.; 2002).

**10. Transporte.** O custo com frete foi de R\$ 510,00 reais por ano, portanto, o custo com transporte foi calculado pela equação;  $F = 510,00 \text{ (R\$ ano}^{-1}) / \text{área (ha)} = \text{US\$ } 163,50 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . A transformidade,  $Tr = 4,54E+12 \text{ seJ US\$}^{-1}$  (estimado). A fração renovável,  $FR = 0,01$  (ORTEGA et al., 2002).

**11. Mudas.** O preço das mudas foram US\$ 240,00  $\text{ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . A transformidade,  $Tr = 4,54E+12 \text{ seJ US\$}^{-1}$ . A fração renovável,  $FR = 0,7$  (senso comum).

**12. Esterco.** O preço do esterco foi R\$ 18,00 por  $\text{m}^3$  foram utilizados 14  $\text{m}^3$  por hectare ( $\text{R\$ } 18,00 * 14 \text{ m}^3 = \text{R\$ } 252,00$ ), portanto, o valor emergético;  $E = \text{quantidade (m}^3 \text{ ano}^{-1}) * \text{preço} / \text{área (ha)}$ . Assim sendo,  $E = 14 * \text{R\$ } 18,00/3,12 = 80,77 \text{ US\$ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . A transformidade,  $Tr = 4,54E+12 \text{ seJ US\$}^{-1}$  (estimado). A fração renovável,  $FR = 0,60$  (senso comum).

**13. Calcário.** Foi utilizado 1000  $\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de calcário. A transformidade,  $Tr = 1,00E+12$  (BRANDT e WILLIAMS, 2002). A fração renovável,  $FR = 1,00$ .

**14. Nitrogênio.** Foram aplicadas 10 sacas de 25 kg por hectare, totalizando 250  $\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . A transformidade,  $Tr = 6,38E+12$  (BROWN e ULGIATI, 2004). A fração renovável,  $FR = 1,00$ .

**15. Fósforo.** Foram utilizadas 8 sacas de 25 kg por hectare, totalizando 200  $\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . A transformidade,  $Tr = 3,90E+09$  (BRANDT e WILLIAMS, 2002). A fração renovável,  $FR = 1,00$ .

**16. Potássio.** Foram aplicadas 10 sacas de 25 kg por hectare, totalizando 250 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. A transformidade, Tr = 1,74E+12 (BRANDT e WILLIAMS, 2002). A fração renovável, FR = 1,00.

**17. Inseticida.** Foi utilizado 3 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de inseticida para controle de pragas. A transformidade, Tr = 2,49E+13 (BRANDT e WILLIAMS, 2002). A fração renovável, FR = 0,05.

**O. Energia.** A energia disponível produzida foi calculada com base na produção do mamoeiro comercializada que foi 96.780 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>; e a caloria média para o mamão cru ou valor energético é igual a 401,6 kcal kg<sup>-1</sup>. Portanto, para o cálculo da energia disponível produzida utilizou-se a equação: Energia produzida (J ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) = Produção (kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) \* 401,6 kcal kg<sup>-1</sup> \* 4186 (J kcal), ou seja, E = 96.780 \* 401,6 \* 4.186 = E = 1,63E+11 J ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

## Apêndice II

Neste apêndice, verificam-se as descrições dos cálculos dos fluxos de energia referenciados na tabela 44 e também são apresentadas informações e referências sobre as transformidades e as frações renováveis utilizadas.

### Notas da Tabela 44 – Sistema de Produção de Sequeiro.

**1. Sol.** Foi determinado com base na insolação média anual registrada na região = 3.069 h ano<sup>-1</sup> que corresponde a 1,90 kW m<sup>-2</sup> ano<sup>-1</sup>. Também foi levado em consideração o Albedo = 22 (%) e utilizado os fatores de conversão = 1000 J kJ<sup>-1</sup> e 10000 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>. Portanto, a Energia (J) = (insolação) x fatores de conversão = 1,90 kW m<sup>-2</sup> ano<sup>-1</sup> x (1000 J kJ<sup>-1</sup>) x (10000 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>) x ((100-albedo)/100) = Energia (J) = 5,24E+10 J ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Transformidade solar 1,00E+00, Fração renovável, FR = 1,0.

**2. Precipitação pluviométrica.** O valor da energia da chuva (E), em J ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, foi calculado para a precipitação média anual de 790 mm, por meio da equação: E (J ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) = chuva (mm) \* Energia livre de Gibbs (J kg<sup>-1</sup>) \* 10.000 (m<sup>2</sup>); portanto, E = 790 (mm) \* 5000 (J kg<sup>-1</sup>) \* 10.000 (m<sup>2</sup>) = 3,95E+10 J ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Transformidade, Tr = 3,06 E+4 seJ J<sup>-1</sup> (BROWN e ULGIATI, 2004). Fração renovável, FR = 1 (TAKAHASHI et al., 2008).

**3. Erosão.** A erosão foi calculada pela equação universal de perdas do solo (USLE), E = R. K. L. S. C. P (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2008), cujos valores dos fatores foram os seguintes: R = 6.194,9; K = 0,042; LS = 0,0098; C = 0,20; P = 0,70. Portanto, E = 0,3584 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Para o cálculo da energia, em J ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, referente as perdas de matéria orgânica provocada pela erosão do solo, foi considerado o percentual de matéria orgânica do solo de 0,029 (MOS= 2,9%), e utilizada a equação: E = Perdas (kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) \* MOS (%) \* 5.400 (kcal kg<sup>-1</sup>) \* 4186 (J kcal<sup>-1</sup>); portanto, E = 358,4 \* 0,029 \* 5400 \* 4186 = 2,35E+08 J ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. A transformidade, Tr = 1,24E+5 seJ J<sup>-1</sup> (BROWN e ULGIATI, 2004). A fração renovável, FR = 0.

**4. Mão-de-obra familiar.** A mão-de-obra familiar foi composta por quatro pessoas: os chefes da família (homem e mulher) com idades de entre 19 e 55 anos, mais dois filhos com idade entre 5 e 15 anos. Para os adultos, foi considerada a força de trabalho igual a um (1), ou seja, cada adulto corresponde a uma (1) unidade de trabalho (UT) e o trabalho do filho igual a 0,50 UT cada. Cada unidade de trabalho (UT) corresponde a 77 dias de trabalho por ano, com jornada média de 8 horas por dia. Para o cálculo da energia da mão-de-obra foi utilizada a equação: E (J ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) = 3 (UT) \* 10 (dias ano<sup>-1</sup>) \* 2500 (kcal. Dia<sup>-1</sup>) \* 4186 (J kcal<sup>-1</sup>) / área (ha); portanto, a energia da mão-de-obra familiar: E = 3,13E+08 J ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. A transformidade, Tr = 1,85E+7 seJ J<sup>-1</sup>, corresponde ao valor da transformidade de 1,1E+7 seJ J<sup>-1</sup>

(ODUM, 1996) multiplicado pelo fator de correção 1,68 (BROWN e ULGIATI, 2004). A fração renovável, FR = 0,90 (senso comum) para mão-de-obra da família.

**5. Mão-de-obra auxiliar.** Foi contabilizada a mão-de-obra de parceiros em serviço temporário, então foi contabilizado o trabalho de uma pessoa adulta (1 UT) que trabalhava de forma temporária por um período de 10 dias por ano, portanto, para o cálculo da energia da mão-de-obra auxiliar foi utilizada a equação:  $E \text{ (J ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}) = 1 \text{ (UT)} * 10 \text{ (dias ano}^{-1}) * 2500 \text{ (kcal.dia}^{-1}) * 4186 \text{ (J kcal}^{-1}) / \text{Área (ha)} = 1,04\text{E}+08 \text{ J ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . A transformidade,  $Tr = 1,85\text{E}+7 \text{ seJ J}^{-1}$ , corresponde ao valor da transformidade de  $1,1\text{E}+7 \text{ seJ J}^{-1}$  (ODUM, 1996) multiplicado pelo fator de correção 1,68 (BROWN e ULGIATI, 2004). A fração renovável, FR = 0,60 (TAKAHASHI et al., 2008), para mão-de-obra local.

**6. Mecanização.** Para a implantação da cultura na área foram contratados os serviços de mecanização para preparo do solo como aração, gradagem e pulverização da área de cultivo correspondente a um hectare. O valor total foi R\$ 425,00 reais, portanto, foram gastos US\$ 136,22 dólares  $\text{ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  ( $\text{US\$ } 136,22 = 425/3,12$ ). A transformidade,  $Tr = 4,54\text{E}+12 \text{ seJ US\$}^{-1}$  (estimado). A fração renovável, FR = 0,01 (ORTEGA et al.; 2002).

**7. Transporte.** O custo com frete foi de R\$ 512,00 reais por ano, portanto, o custo com transporte foi calculado pela equação;  $F = 512,00 \text{ (R\$ ano}^{-1}) / \text{área (ha)} = \text{US\$ } 164 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . A transformidade,  $Tr = 4,54\text{E}+12 \text{ seJ US\$}^{-1}$  (estimado). A fração renovável, FR = 0,01 (ORTEGA et al., 2002).

**8. Herbicida.** Foi utilizado  $3 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de herbicida para dessecamento da vegetação. A transformidade,  $Tr = 2,49\text{E}+13$  (BRANDT e WILLIAMS, 2002). A fração renovável, FR = 0,05.

**9. Sementes.** O preço das sementes foram US\$ 29,20  $\text{ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . A transformidade,  $Tr = 5,02397\text{E}+12 \text{ seJ US\$}^{-1}$  (estimado). A fração renovável, FR = 0,23, corresponde ao percentual de renovabilidade de sistemas convencionais de produção de grãos (ORTEGA et al., 2002).

**10. Sacos.** O preço dos sacos plásticos foram US\$ 28,00  $\text{ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . A transformidade,  $Tr = 3,30\text{E}+12 \text{ seJ US\$}^{-1}$  (COELHO et al., 2003). A fração renovável, FR = 0,10.

**O. Energia.** A energia disponível produzida foi calculada com base na produção do sorgo comercializada que foi  $840 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ; e a caloria média para a cultura ou valor energético é igual a  $3.192 \text{ kcal kg}^{-1}$ . Portanto, para o cálculo da energia disponível produzida utilizou-se a equação: Energia produzida ( $\text{J ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) = Produção ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) \*  $3.192 \text{ kcal kg}^{-1}$  \*  $4186 \text{ (J kcal)}$ , ou seja,  $E = 840 * 3.192 * 4.186 = E = 1,12\text{E}+10 \text{ J ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ .

**ANEXO B****CAPITULO 03: SUSTENTABILIDADE ECONÔMICA, AMBIENTAL E SOCIAL  
DE DIFERENTES SISTEMAS ALTERNATIVOS DE PRODUÇÃO****Apêndice I**

Neste apêndice, observam-se as descrições dos cálculos dos fluxos de energia referenciados na tabela 46 correspondente ao sistema convencional irrigado sem adubação (S1A0) e também são apresentadas informações e referências sobre as transformidades e as frações renováveis utilizadas.

<b>Cálculo dos fluxos de energia da Análise Emergética - S1A0</b>			
<b>1. ENERGIA SOLAR</b>	<b>REFERÊNCIAS</b>		
Radiação solar	5,52	kWh m <sup>-2</sup> ano <sup>-1</sup>	
Albedo	24	%	
Fatores de conversão	3,60E+06	J kWh <sup>-1</sup>	
	10000	m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	
Energia solar	1,51E+11	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	1,00E+00	seJ J <sup>-1</sup>	Odum, (1996)
Fração renovável	1,0		
<b>2. PLUVIOSIDADE</b>			
Pluviosidade	0,0453	m <sup>3</sup> m <sup>-2</sup>	
Energia livre de Gibbs	5000	J kg <sup>-1</sup>	
Fator de conversão	10000	m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	
Densidade da água	1000	kg m <sup>-3</sup>	
Energia	2,27E+09	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	3,06E+04	seJ J <sup>-1</sup>	Brown e Ulgiati, (2004)
Fração renovável	1,0		Takahashi et al., (2008)
<b>3. VENTO</b>			
Velocidade média anual	4,51	m s <sup>-1</sup>	
Densidade do ar	1,3	kg m <sup>-3</sup>	Rodríguez et al., 2002
Vento geotrópico	2,71	m s <sup>-1</sup>	Rodríguez et al., 2002
Coefficiente de arrasto	0,001	adimensional	Rodríguez et al., 2002
Fator de conversão	3,15E+07	s ano <sup>-1</sup>	
Energia livre de Gibbs	5000	J kg <sup>-1</sup>	
Energia	1,26E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	2,45E+03	seJ J <sup>-1</sup>	Brandt Williams, (2000)
Fração renovável	1,0		
<b>4. ÁGUA POTÁVEL</b>			
Quantidade de água	3152,2	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Densidade da água	1000	kg m <sup>-3</sup>	
Energia livre de Gibbs	5000	J kg <sup>-1</sup>	
Energia	1,58E+10	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	2,75E+05	seJ J <sup>-1</sup>	Siche et al., 2010

Fração renovável	1,0		
<b>5. EVAPOTRANSPIRAÇÃO</b>			
Evapotranspiração média anual	1849,3	mm ano <sup>-1</sup>	
Volume evapotranspirado	18493,0	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Densidade da água	1000	kg m <sup>-3</sup>	
Energia livre de Gibbs	5000	J kg <sup>-1</sup>	
Energia	9,25E+10	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	3,04E+04	seJ J <sup>-1</sup>	Odum et al., (2000)
Fração renovável	1,0		
<b>6. EROÇÃO DO SOLO</b>			
Perda de solo	2309,92	kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Materia orgânica	0,029		Gliessman et al., (1996)
Fator de conversão	5400	kcal kg <sup>-1</sup>	
	4186	J kcal <sup>-1</sup>	
Energia	1,51E+09	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	1,24E+05	seJ J <sup>-1</sup>	Brown e Ulgiati, (2004)
Fração renovável	0,0		
<b>7. SEMENTES</b>			
Custo das sementes	15,72	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	Ortega et al., (2010)
Fração renovável	0,23		Ortega et al., (2002)
<b>8. DEFENSIVO AGRÍCOLA</b>			
Formicida	1	kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	1,48E+12	seJ kg <sup>-1</sup>	Brown e Arding, (1991)
Fração renovável	0,05		
<b>9. SACOS</b>			
Custo	4,72	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	
Fração renovável	0,1		Coelho et al. (2003)
<b>10. ENERGIA ELÉTRICA</b>			
Consumo de energia	1464,29	kWh ano <sup>-1</sup>	
Fator de conversão	1000	J kW <sup>-1</sup>	
	3600	s h <sup>-1</sup>	
Energia	5,27E+09	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	5,64E+05	seJ J <sup>-1</sup>	Odum, (1996) Brown e Ulgiati, 2004
Fração renovável	0,5		Takahashi et al., 2008
<b>11. MECANIZAÇÃO</b>			
Custo dos serviços	123,41	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	
Fração renovável	0,01		Ortega et al., (2002)
<b>12. TRANSPORTE</b>			
Custo do transporte	13,59	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	
Fração renovável	0,01		Ortega et al., (2002)
<b>13. MÃO-DE-OBRA FAMILIAR</b>			

Número de pessoas da familiar	4	pessoas	2 adultos e 2 crianças
Unidade de trabalho (adulto)	1	UT	
Unidade de trabalho (filho)	0,5	UT	
Dias trabalhados	36	dias ano <sup>-1</sup>	
Fator de conversão	2500	kcal dia <sup>-1</sup>	
	4186	J kcal <sup>-1</sup>	
Energia	7,53E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	1,85E+07	seJ J <sup>-1</sup>	Odum, (1996) Brown e Ulgiati, 2004
Fração renovável	0,90		senso comum

#### 14. MÃO-DE-OBRA AUXILIAR

Número de pessoas da familiar	2	pessoas	adultos
Unidade de trabalho (adulto)	1	UT	
Unidade de trabalho (filho)	0,5	UT	
Dias trabalhados	6	dias ano <sup>-1</sup>	
Fator de conversão	2500	kcal dia <sup>-1</sup>	
	4186	J kcal <sup>-1</sup>	
Energia	1,26E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	1,85E+07	seJ J <sup>-1</sup>	Odum, (1996) Brown e Ulgiati, 2004
Fração renovável	0,60		Takahashi et al., (2008)

#### 15. IRRIGAÇÃO

Volume bombeado	3152,2	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Densidade da água	1000	kg m <sup>-3</sup>	
Energia livre de Gibbs	5000	J kg <sup>-1</sup>	
Energia	1,58E+10	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	2,96E+05	seJ J <sup>-1</sup>	Odum (2000) Brown e Ulgiati (2004)
Fração renovável	1,0		

#### 16. DEPRECIAÇÕES

Custo das depreciações	108,13	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	
Fração renovável	0,05		Ortega et al., (2002)

#### 17. EQUIPAMENTOS E OUTROS MATERIAIS

Custo de peças, ferramentas e equipamentos	1351,60	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	
Fração renovável	0,05		Ortega et al., (2002).

#### 18. ENERGIA PRODUZIDA

Produção comercializada	675,80	kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Energia calorífica média	330	kcal kg <sup>-1</sup>	USDA, (2018)
Fator de conversão	4186	J kcal <sup>-1</sup>	
Energia	9,34E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	

**Apêndice II**

Neste apêndice, verificam-se as descrições dos cálculos dos fluxos de energia referenciados na tabela 47 correspondente ao sistema convencional irrigado com adubação mineral (S1A1) e também são apresentadas informações e referências sobre as transformidades e as frações renováveis utilizadas.

<b>Cálculo dos fluxos de energia da Análise Emergética - S1A1</b>			
<b>1. ENERGIA SOLAR</b>			<b>REFERÊNCIAS</b>
Radiação solar	5,52	kWh m <sup>-2</sup> ano <sup>-1</sup>	
Albedo	24	%	
Fatores de conversão	3,60E+06	J kWh <sup>-1</sup>	
	10000	m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	
Energia	1,51E+11	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	1,00E+00	seJ J <sup>-1</sup>	Odum, (1996)
Fração renovável	1,0		
<b>2. PLUVIOSIDADE</b>			
Pluviosidade	0,0453	m <sup>3</sup> m <sup>-2</sup>	
Energia livre de Gibbs	5000	J kg <sup>-1</sup>	
Fator de conversão	10000	m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	
Densidade da água	1000	kg m <sup>-3</sup>	
Energia	2,27E+09	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	3,06E+04	seJ J <sup>-1</sup>	Brown e Ulgiati, (2004)
Fração renovável	1,0		Takahashi et al., (2008)
<b>3. VENTO</b>			
Velocidade média anual	4,51	m s <sup>-1</sup>	
Densidade do ar	1,3	kg m <sup>-3</sup>	Rodríguez et al., 2002
Vento geotrópico	2,71	m s <sup>-1</sup>	Rodríguez et al., 2002
Coefficiente de arrasto	0,001	adimensional	Rodríguez et al., 2002
Fator de conversão	3,15E+07	s ano <sup>-1</sup>	
Energia livre de Gibbs	5000	J kg <sup>-1</sup>	
Energia	1,26E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	2,45E+03	seJ J <sup>-1</sup>	Brandt Williams, (2000)
Fração renovável	1,0		
<b>4. ÁGUA POTÁVEL</b>			
Quantidade de água	3152,2	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Densidade da água	1000	kg m <sup>-3</sup>	
Energia livre de Gibbs	5000	J kg <sup>-1</sup>	
Energia	1,58E+10	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	2,75E+05	seJ J <sup>-1</sup>	Siche et al., 2010
Fração renovável	1,0		
<b>5. EVAPOTRANSPIRAÇÃO</b>			
Evapotranspiração média anual	1849,3	mm ano <sup>-1</sup>	
Volume evapotranspirado	18493,0	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Densidade da água	1000	kg m <sup>-3</sup>	
Energia livre de Gibbs	5000	J kg <sup>-1</sup>	

Energia	9,25E+10	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	3,04E+04	seJ J <sup>-1</sup>	Odum et al., (2000)
Fração renovável	1,0		
<b>6. EROSÃO DO SOLO</b>			
Perda de solo	2309,92	kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Materia orgânica	0,029		Gliessman et al., (1996)
Energia da materia orgânica	5400	kcal kg <sup>-1</sup>	
Fator de conversão	4186	J kcal <sup>-1</sup>	
Energia	1,51E+09	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	1,24E+05	seJ J <sup>-1</sup>	Brown e Ulgiati, (2004)
Fração renovável	0,0		
<b>7. SEMENTES</b>			
Custo das sementes	15,72	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	
Fração renovável	0,23		Ortega et al., (2002)
<b>8. NITROGÊNIO</b>			
Consumo	20	kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	6,38E+12	seJ kg <sup>-1</sup>	Brown e Ulgiati, (2004)
Fração renovável	1,00		
<b>9. FÓSFORO</b>			
Consumo	80	kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	3,90E+09	seJ kg <sup>-1</sup>	Brandt e Williams, (2002)
Fração renovável	1,00		
<b>10. POTÁSSIO</b>			
Consumo	20	kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	1,74E+12	seJ kg <sup>-1</sup>	Brandt e Williams, (2002)
Fração renovável	1,00		
<b>11. DEFENSIVO AGRÍCOLA</b>			
Formicida	1	kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	1,48E+12	seJ kg <sup>-1</sup>	Brown e Arding, (1991)
Fração renovável	0,05		
<b>12. SACOS</b>			
Custo	7,23	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	
Fração renovável	0,1		Coelho et al. (2003)
<b>13. ENERGIA ELÉTRICA</b>			
Consumo de energia	1464,29	kWh ano <sup>-1</sup>	
Fator de conversão	1000	J kW <sup>-1</sup>	
	3600	s h <sup>-1</sup>	
Energia	5,27E+09	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	5,64E+05	seJ J <sup>-1</sup>	Odum (1996) Brown e Ulgiati (2004)
Fração renovável	0,5		Takahashi et al., (2008)
<b>14. MECANIZAÇÃO</b>			
Custo dos serviços	137,27	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	

Fração renovável	0,01		Ortega et al., (2002)
<b>15. TRANSPORTE</b>			
Custo do transporte	13,59	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	
Fração renovável	0,01		Ortega et al., (2002)
<b>16. MÃO-DE-OBRA FAMILIAR</b>			
Número de pessoas da familiar	4	pessoas	2 adultos e 2 crianças
Unidade de trabalho (adulto)	1	UT	
Unidade de trabalho (filho)	0,5	UT	
Dias trabalhados	42	dias ano <sup>-1</sup>	
Fator de conversão	2500	kcal dia <sup>-1</sup>	
	4186	J kcal <sup>-1</sup>	
Energia	8,79E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	1,85E+07	seJ J <sup>-1</sup>	Odum, (1996) Brown e Ulgiati, 2004
Fração renovável	0,90		senso comum
<b>17. MÃO-DE-OBRA AUXILIAR</b>			
Número de pessoas da familiar	2	pessoas	2 adultos
Unidade de trabalho (adulto)	1	UT	
Unidade de trabalho (filho)	0,5	UT	
Dias trabalhados	10	dias ano <sup>-1</sup>	
Fator de conversão	2500	kcal dia <sup>-1</sup>	
	4186	J kcal <sup>-1</sup>	
Energia	2,09E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	1,85E+07	seJ J <sup>-1</sup>	Odum (1996) Brown e Ulgiati (2004)
Fração renovável	0,60		Takahashi et al., (2008)
<b>18. IRRIGAÇÃO</b>			
Volume bombeado	3152,2	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Densidade da água	1000	kg m <sup>-3</sup>	
Energia livre de Gibbs	5000	J kg <sup>-1</sup>	
Energia	1,58E+10	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	2,96E+05	seJ J <sup>-1</sup>	Odum (2000) Brown e Ulgiati (2004)
Fração renovável	1,0		
<b>19. DEPRECIAÇÕES</b>			
Custo das depreciações	108,13	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	
Fração renovável	0,05		Ortega et al., (2002).
<b>20. EQUIPAMENTOS E OUTROS MATERIAIS</b>			
Custo de peças, ferramentas e equipamentos	1351,60	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	
Fração renovável	0,05		Ortega et al., (2002).
<b>21. ENERGIA PRODUZIDA</b>			
Produção comercializada	1336,50	kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Energia calorífica média	330	kcal kg <sup>-1</sup>	USDA, (2018)
Fator de conversão	4186	J kcal <sup>-1</sup>	
Energia	1,85E+09	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	

**Apêndice III**

Neste apêndice, observam-se as descrições dos cálculos dos fluxos de energia referenciados na tabela 48 correspondente ao sistema convencional irrigado com adubação orgânica (S1A2) e também são apresentadas informações e referências sobre as transformidades e as frações renováveis utilizadas.

<b>Cálculo dos fluxos de energia da Análise Emergética - S1A2</b>			
<b>1. ENERGIA SOLAR</b>			<b>REFERÊNCIAS</b>
Radiação solar	5,52	kWh m <sup>-2</sup> ano <sup>-1</sup>	
Albedo	24	%	
Fatores de conversão	3,60E+06	J kWh <sup>-1</sup>	
	10000	m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	
Energia solar	1,51E+11	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	1,00E+00	seJ J <sup>-1</sup>	Odum, (1996)
Fração renovável	1,0		
<b>2. PLUVIOSIDADE</b>			
Pluviosidade	0,0453	m <sup>3</sup> m <sup>-2</sup>	
Energia livre de Gibbs	5000	J kg <sup>-1</sup>	
Fator de conversão	10000	m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	
Densidade da água	1000	kg m <sup>-3</sup>	
Fluxo de energia	2,27E+09	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	3,06E+04	seJ J <sup>-1</sup>	Brown e Ulgiati, (2004)
Fração renovável	1,0		Takahashi et al., (2008)
<b>3. VENTO</b>			
Velocidade média anual	4,51	m s <sup>-1</sup>	
Densidade do ar	1,3	kg m <sup>-3</sup>	Rodríguez et al., 2002
Vento geotrópico	2,71	m s <sup>-1</sup>	Rodríguez et al., 2002
Coefficiente de arrasto	0,001	adimensional	Rodríguez et al., 2002
Fator de conversão	3,15E+07	segundo ano <sup>-1</sup>	
Energia livre de Gibbs	5000	J kg <sup>-1</sup>	
Energia	1,26E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	2,45E+03	seJ J <sup>-1</sup>	Brandt Williams, (2000)
Fração renovável	1,0		
<b>4. ÁGUA POTÁVEL</b>			
Quantidade de água	3152,2	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Densidade da água	1000	kg m <sup>-3</sup>	
Energia livre de Gibbs	5000	J kg <sup>-1</sup>	
Energia	1,58E+10	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	2,75E+05	seJ J <sup>-1</sup>	Siche et al., (2010)
Fração renovável	1,0		
<b>5. EVAPOTRANSPIRAÇÃO</b>			
Evapotranspiração média anual	1849,3	mm ano <sup>-1</sup>	
Volume evapotranspirado	18493,0	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Densidade da água	1000	kg m <sup>-3</sup>	
Energia livre de Gibbs	5000	J kg <sup>-1</sup>	

Energia	9,25E+10	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	3,04E+04	seJ J <sup>-1</sup>	Odum et al., (2000)
Fração renovável	1,0		
<b>6. EROSÃO DO SOLO</b>			
Perda de solo	2309,92	kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Materia orgânica	0,029		Gliessman et al., (1996)
Energia da materia orgânica	5400	kcal kg <sup>-1</sup>	
Fator de conversão	4186	J kcal <sup>-1</sup>	
Energia	1,51E+09	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	1,24E+05	seJ J <sup>-1</sup>	Brown e Ulgiati, (2004)
Fração renovável	0,0		
<b>7. SEMENTES</b>			
Custo das sementes	15,72	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	
Fração renovável	0,23		Ortega et al., (2002)
<b>8. COMPOSTO ORGÂNICO</b>			
Custo do composto	1132,08	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	
Fração renovável	0,6		Ortega et al., (2010)
<b>9. DEFENSIVO AGRÍCOLA</b>			
Formicida	1	kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	1,48E+12	seJ kg <sup>-1</sup>	Brown e Arding, (1991)
Fração renovável	0,05		
<b>10. SACOS</b>			
Custo	5,03	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	
Fração renovável	0,1		Coelho et al. (2003)
<b>11. ENERGIA ELÉTRICA</b>			
Consumo de energia	1464,29	kWh ano <sup>-1</sup>	
Fator de conversão	1000	J kW <sup>-1</sup>	
	3600	s h <sup>-1</sup>	
Energia	5,27E+09	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	5,64E+05	seJ J <sup>-1</sup>	Odum (1996) Brown e Ulgiati (2004)
Fração renovável	0,5		Takahashi et al., (2008)
<b>12. MECANIZAÇÃO</b>			
Custo dos serviços	128,96	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	
Fração renovável	0,01		Ortega et al., (2002)
<b>13. TRANSPORTE</b>			
Custo do transporte	13,59	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	
Fração renovável	0,01		Ortega et al., (2002)
<b>14. MÃO-DE-OBRA FAMILIAR</b>			
Número de pessoas da familiar	4	pessoas	2 adultos e 2 crianças
Unidade de trabalho (adulto)	1	UT	

Unidade de trabalho (filho)	0,5	UT	
Dias trabalhados	39	dias ano <sup>-1</sup>	
Fator de conversão	2500	kcal dia <sup>-1</sup>	
Energia	4186	J kcal <sup>-1</sup>	
Energia	8,16E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	1,85E+07	seJ J <sup>-1</sup>	Odum (1996) Brown e Ulgiati (2004)
Fração renovável	0,90		senso comum
<b>15. MÃO-DE-OBRA AUXILIAR</b>			
Número de pessoas da familiar	2	pessoas	2 adultos
Unidade de trabalho (adulto)	1	UT	
Unidade de trabalho (filho)	0,5	UT	
Dias trabalhados	8	dias ano <sup>-1</sup>	
Fator de conversão	2500	kcal dia <sup>-1</sup>	
Energia	4186	J kcal <sup>-1</sup>	
Energia	1,67E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	1,85E+07	seJ J <sup>-1</sup>	Odum (1996) Brown e Ulgiati (2004)
Fração renovável	0,60		Takahashi et al., 2008
<b>16. IRRIGAÇÃO</b>			
Volume bombeado	3152,2	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Densidade da água	1000	kg m <sup>-3</sup>	
Energia livre de Gibbs	5000	J kg <sup>-1</sup>	
Energia	1,58E+10	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	2,96E+05	seJ J <sup>-1</sup>	Odum (2000) Brown e Ulgiati (2004)
Fração renovável	1,0		
<b>17. DEPRECIAÇÕES</b>			
Custo das depreciações	108,13	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	
Fração renovável	0,05		Ortega et al., (2002).
<b>18. EQUIPAMENTOS E OUTROS MATERIAIS</b>			
Custo de peças, ferramentas e equipamentos	1351,60	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	
Fração renovável	0,05		Ortega et al., (2002).
<b>19. ENERGIA PRODUZIDA</b>			
Produção comercializada	940,00	kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Energia calorífica média	330	kcal kg <sup>-1</sup>	USDA, (2018)
Fator de conversão	4186	J kcal <sup>-1</sup>	
Energia	1,30E+09	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	

#### Apêndice IV

Neste apêndice, observam-se as descrições dos cálculos dos fluxos de energia referenciados na tabela 49 correspondente ao sistema renovável irrigado sem adubação (S2A0) e também são apresentadas informações e referências sobre as transformidades e as frações renováveis utilizadas.

## Cálculo dos fluxos de energia da Análise Emergética - S2A0

1. ENERGIA SOLAR			REFERÊNCIAS
Radiação solar	5,52	kWh m <sup>-2</sup> ano <sup>-1</sup>	
Albedo	24	%	
Fatores de conversão	3,60E+06	J kWh <sup>-1</sup>	
	10000	m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	
Energia solar	1,51E+11	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	1,00E+00	seJ J <sup>-1</sup>	Odum, (1996)
Fração renovável	1,0		
2. PLUVIOSIDADE			
Pluviosidade	0,0453	m <sup>3</sup> m <sup>-2</sup>	
Energia livre de Gibbs	5000	J kg <sup>-1</sup>	
Fator de conversão	10000	m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	
Densidade da água	1000	kg m <sup>-3</sup>	
Fluxo de energia	2,27E+09	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	3,06E+04	seJ J <sup>-1</sup>	Brown e Ulgiati, (2004)
Fração renovável	1,0		Takahashi et al., (2008)
3. VENTO			
Velocidade média anual	4,51	m s <sup>-1</sup>	
Densidade do ar	1,3	kg m <sup>-3</sup>	Rodríguez et al., 2002
Vento geotrópico	2,71	m s <sup>-1</sup>	Rodríguez et al., 2002
Coefficiente de arrasto	0,001	adimensional	Rodríguez et al., 2002
Fator de conversão	3,15E+07	s ano <sup>-1</sup>	
Energia livre de Gibbs	5000	J kg <sup>-1</sup>	
Energia	1,26E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	2,45E+03	seJ J <sup>-1</sup>	Brandt Williams, (2000)
Fração renovável	1,0		
4. ÁGUA RESIDUÁRIA			
Quantidade de água	3152,2	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Densidade da água	1000	kg m <sup>-3</sup>	
Energia livre de Gibbs	5000	J kg <sup>-1</sup>	
Energia	1,58E+10	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	1,56E+05	seJ J <sup>-1</sup>	Borges Junior, (2005)
Fração renovável	1,0		
5. EVAPOTRANSPIRAÇÃO			
Evapotranspiração média anual	1849,3	mm ano <sup>-1</sup>	
Volume evapotranspirado	18493,0	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Densidade da água	1000	kg m <sup>-3</sup>	
Energia livre de Gibbs	5000	J kg <sup>-1</sup>	
Energia	9,25E+10	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	3,04E+04	seJ J <sup>-1</sup>	Odum et al., (2000)
Fração renovável	1,0		
6. EROSAO DO SOLO			
Perda de solo	2309,92	kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Materia orgânica	0,029		Gliessman et al., (1996)

Energia da matéria orgânica	5400	kcal kg <sup>-1</sup>	
Fator de conversão	4186	J kcal <sup>-1</sup>	
Energia	1,51E+09	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	1,24E+05	seJ J <sup>-1</sup>	Brown e Ulgiati, (2004)
Fração renovável	0,0		
<b>7. SEMENTES</b>			
Custo das sementes	15,72	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	Ortega et al., (2010)
Fração renovável	0,23		Ortega et al., (2002)
<b>8. DEFENSIVO AGRÍCOLA</b>			
Formicida	1	kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	1,48E+12	seJ kg <sup>-1</sup>	Brown e Arding, (1991)
Fração renovável	0,05		
<b>9. SACOS</b>			
Custo	7,23	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	
Fração renovável	0,1		Coelho et al. (2003)
<b>10. MECANIZAÇÃO</b>			
Custo dos serviços	138,18	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	
Fração renovável	0,01		Ortega et al., (2002)
<b>11. TRANSPORTE</b>			
Custo do transporte	13,59	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	
Fração renovável	0,01		Ortega et al., (2002)
<b>12. MÃO-DE-OBRA FAMILIAR</b>			
Número de pessoas da familiar	4	pessoas	2 adultos e 2 crianças
Unidade de trabalho (adulto)	1	UT	
Unidade de trabalho (filho)	0,5	UT	
Dias trabalhados	36	dias ano <sup>-1</sup>	
Fator de conversão	2500	kcal dia <sup>-1</sup>	
	4186	J kcal <sup>-1</sup>	
Energia	7,53E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	1,85E+07	seJ J <sup>-1</sup>	Odum, (1996) Brown e Ulgiati, 2004
Fração renovável	0,90		senso comum
<b>13. MÃO-DE-OBRA AUXILIAR</b>			
Número de pessoas da familiar	2	pessoas	2 adultos
Unidade de trabalho (adulto)	1	UT	
Unidade de trabalho (filho)	0,5	UT	
Dias trabalhados	6	dias ano <sup>-1</sup>	
Fator de conversão	2500	kcal dia <sup>-1</sup>	
	4186	J kcal <sup>-1</sup>	
Energia	1,26E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	1,85E+07	seJ J <sup>-1</sup>	Odum, (1996) Brown e Ulgiati, 2004

Fração renovável	0,60		Takahashi et al., 2008
<b>14. IRRIGAÇÃO</b>			
Volume bombeado	3152,2	$\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$	
Densidade da água	1000	$\text{kg m}^{-3}$	
Energia livre de Gibbs	5000	$\text{J kg}^{-1}$	
Energia	1,58E+10	$\text{J ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$	
Transformidade	2,96E+05	$\text{seJ J}^{-1}$	Odum (2000) Brown e Ulgiati (2004)
Fração renovável	1,0		
<b>15. DEPRECIACÕES</b>			
Custo das depreciações	219,45	$\text{US\$ ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$	
Transformidade	4,47E+12	$\text{seJ US\$}^{-1}$	
Fração renovável	0,05		Ortega et al., (2002).
<b>16. EQUIPAMENTOS E OUTROS MATERIAIS</b>			
Custo de peças, ferramentas e equipamentos	3541,60	$\text{US\$ ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$	
Transformidade	4,47E+12	$\text{seJ US\$}^{-1}$	
Fração renovável	0,05		Ortega et al., (2002).
<b>17. ENERGIA PRODUZIDA</b>			
Produção comercializada	1383,10	$\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$	
Energia calorífica média	330	$\text{kcal kg}^{-1}$	USDA, (2018)
Fator de conversão	4186	$\text{J kcal}^{-1}$	
Energia	1,91E+09	$\text{J ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$	
<b>18. ENERGIA BENÉFICA</b>			
Economia de água	3152,2	$\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$	
Transformidade	8,80E+11	$\text{seJ m}^{-3}$	Chen e Chen (2009)
Fração renovável	1,0		

### Apêndice V

Neste apêndice, observam-se as descrições dos cálculos dos fluxos de energia referenciados na tabela 50 correspondente ao sistema renovável irrigado com adubação mineral (S2A1) e também são apresentadas informações e referências sobre as transformidades e as frações renováveis utilizadas.

### Cálculo dos fluxos de energia da Análise Emergética - S2A1

1. ENERGIA SOLAR	REFERÊNCIAS		
Radiação solar	5,52	$\text{kWh m}^{-2} \text{ano}^{-1}$	
Albedo	24	%	
Fatores de conversão	3,60E+06	$\text{J kWh}^{-1}$	
	10000	$\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$	
Energia solar	1,51E+11	$\text{J ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$	
Transformidade	1,00E+00	$\text{seJ J}^{-1}$	Odum, (1996)
Fração renovável	1,0		
<b>2. PLUVIOSIDADE</b>			
Pluviosidade	0,0453	$\text{m}^3 \text{m}^{-2}$	
Energia livre de Gibbs	5000	$\text{J kg}^{-1}$	

Fator de conversão	10000	$\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$	
Densidade da água	1000	$\text{kg m}^{-3}$	
Fluxo de energia	2,27E+09	$\text{J ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$	
Transformidade	3,06E+04	$\text{seJ J}^{-1}$	Brown e Ulgiati, (2004)
Fração renovável	1,0		Takahashi et al., (2008)

### 3. VENTO

Velocidade média anual	4,51	$\text{m s}^{-1}$	
Densidade do ar	1,3	$\text{kg m}^{-3}$	Rodríguez et al., 2002
Vento geotrópico	2,71	$\text{m s}^{-1}$	Rodríguez et al., 2002
Coefficiente de arrasto	0,001	adimensional	Rodríguez et al., 2002
Fator de conversão	3,15E+07	$\text{s ano}^{-1}$	
Energia livre de Gibbs	5000	$\text{J kg}^{-1}$	
Energia	1,26E+08	$\text{J ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$	
Transformidade	2,45E+03	$\text{seJ J}^{-1}$	Brandt Williams, (2000)
Fração renovável	1,0		

### 4. ÁGUA RESIDUÁRIA

Quantidade de água	3152,2	$\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$	
Densidade da água	1000	$\text{kg m}^{-3}$	
Energia livre de Gibbs	5000	$\text{J kg}^{-1}$	
Energia	1,58E+10	$\text{J ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$	
Transformidade	1,56E+05	$\text{seJ J}^{-1}$	Borges Junior, (2005)
Fração renovável	1,0		

### 5. EVAPOTRANSPIRAÇÃO

Evapotranspiração média anual	1849,3	$\text{mm ano}^{-1}$	
Volume evapotranspirado	18493,0	$\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$	
Densidade da água	1000	$\text{kg m}^{-3}$	
Energia livre de Gibbs	5000	$\text{J kg}^{-1}$	
Energia	9,25E+10	$\text{J ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$	
Transformidade	3,04E+04	$\text{seJ J}^{-1}$	Odum et al., (2000)
Fração renovável	1,0		

### 6. EROSIÃO DO SOLO

Perda de solo	2309,92	$\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$	
Materia orgânica	0,029		Gliessman et al., (1996)
Energia da materia orgânica	5400	$\text{kcal kg}^{-1}$	
Fator de conversão	4186	$\text{J kcal}^{-1}$	
Energia	1,51E+09	$\text{J ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$	
Transformidade	1,24E+05	$\text{seJ J}^{-1}$	Brown e Ulgiati, (2004)
Fração renovável	0,0		

### 7. SEMENTES

Custo das sementes	15,72	$\text{US\$ ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$	
Transformidade	4,47E+12	$\text{seJ US\$}^{-1}$	Ortega et al., (2010)
Fração renovável	0,23		Ortega et al., (2002)

### 8. NITROGÊNIO

Consumo	6	$\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$	
---------	---	-------------------------------------	--

Transformidade	6,38E+12	seJ kg <sup>-1</sup>	Brown e Ulgiati, (2004)
Fração renovável	1,00		
<b>9. FÓSFORO</b>			
Consumo	52	kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	3,90E+09	seJ kg <sup>-1</sup>	Brandt e Williams, (2002)
Fração renovável	1,00		
<b>10. POTÁSSIO</b>			
Consumo	9	kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	1,74E+12	seJ kg <sup>-1</sup>	Brandt e Williams, (2002)
Fração renovável	1,00		
<b>11. DEFENSIVO AGRÍCOLA</b>			
Formicida	1	kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	1,48E+12	seJ kg <sup>-1</sup>	Brown e Arding, (1991)
Fração renovável	0,05		
<b>12. SACOS</b>			
Custo	7,86	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	
Fração renovável	0,1		Coelho et al. (2003)
<b>13. MECANIZAÇÃO</b>			
Custo dos serviços	140,7	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	
Fração renovável	0,01		Ortega et al., (2002)
<b>14. TRANSPORTE</b>			
Custo do transporte	13,59	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	
Fração renovável	0,01		Ortega et al., (2002)
<b>15. MÃO-DE-OBRA FAMILIAR</b>			
Número de pessoas da familiar	4	pessoas	2 adultos e 2 crianças
Unidade de trabalho (adulto)	1	UT	
Unidade de trabalho (filho)	0,5	UT	
Dias trabalhados	42	dias ano <sup>-1</sup>	
Fator de conversão	2500	kcal dia <sup>-1</sup>	
	4186	J kcal <sup>-1</sup>	
Energia	8,79E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	1,85E+07	seJ J <sup>-1</sup>	Odum, (1996) Brown e Ulgiati, 2004
Fração renovável	0,90		senso comum
<b>16. MÃO-DE-OBRA AUXILIAR</b>			
Número de pessoas da familiar	2	pessoas	2 adultos
Unidade de trabalho (adulto)	1	UT	
Unidade de trabalho (filho)	0,5	UT	
Dias trabalhados	10	dias ano <sup>-1</sup>	
Fator de conversão	2500	kcal dia <sup>-1</sup>	
	4186	J kcal <sup>-1</sup>	
Energia	2,09E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	

Transformidade	1,85E+07	seJ J <sup>-1</sup>	Odum, (1996) Brown e Ulgiati, 2004
Fração renovável	0,60		Takahashi et al., (2008)
<b>17. IRRIGAÇÃO</b>			
Volume bombeado	3152,2	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Densidade da água	1000	kg m <sup>-3</sup>	
Energia livre de Gibbs	5000	J kg <sup>-1</sup>	
Energia	1,58E+10	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	2,96E+05	seJ J <sup>-1</sup>	Odum (2000) Brown e Ulgiati (2004)
Fração renovável	1,0		
<b>18. DEPRECIACÕES</b>			
Custo das depreciações	219,45	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	
Fração renovável	0,05		Ortega et al., (2002).
<b>19. EQUIPAMENTOS E OUTROS MATERIAIS</b>			
Custo de peças, ferramentas e equipamentos	3541,60	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	
Fração renovável	0,05		Ortega et al., (2002).
<b>20. ENERGIA PRODUZIDA</b>			
Produção comercializada	1502,00	kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Energia calorífica média	330	kcal kg <sup>-1</sup>	USDA, (2018)
Fator de conversão	4186	J kcal <sup>-1</sup>	
Energia	2,07E+09	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
<b>21. ENERGIA BENÉFICA</b>			
Economia de água	3152,2	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	8,80E+11	seJ m <sup>3</sup>	Chen e Chen (2009)
Fração renovável	1,0		

## Apêndice VI

Neste apêndice, observam-se as descrições dos cálculos dos fluxos de energia referenciados na tabela 51 correspondente ao sistema renovável irrigado com adubação orgânica (S2A2) e também são apresentadas informações e referências sobre as transformidades e as frações renováveis utilizadas.

### Cálculo dos fluxos de energia da Análise Emergética - S2A2

1. ENERGIA SOLAR		REFERÊNCIAS
Radiação solar	5,52	kWh m <sup>-2</sup> ano <sup>-1</sup>
Albedo	24	%
Fatores de conversão	3,60E+06	J kWh <sup>-1</sup>
	10000	m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>
Energia solar	1,51E+11	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>
Transformidade	1,00E+00	seJ J <sup>-1</sup>
Fração renovável	1,0	Odum, (1996)
<b>2. PLUVIOSIDADE</b>		

Pluviosidade	0,0453	$\text{m}^3 \text{m}^{-2}$	
Energia livre de Gibbs	5000	$\text{J kg}^{-1}$	
Fator de conversão	10000	$\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$	
Densidade da água	1000	$\text{kg m}^{-3}$	
Fluxo de energia	2,27E+09	$\text{J ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$	
Transformidade	3,06E+04	$\text{seJ J}^{-1}$	Brown e Ulgiati, (2004)
Fração renovável	1,0		Takahashi et al., (2008)
<b>3. VENTO</b>			
Velocidade média anual	4,51	$\text{m s}^{-1}$	
Densidade do ar	1,3	$\text{kg m}^{-3}$	Rodríguez et al., 2002
Vento geotrópico	2,71	$\text{m s}^{-1}$	Rodríguez et al., 2002
Coefficiente de arrasto	0,001	adimensional	Rodríguez et al., 2002
Fator de conversão	3,15E+07	$\text{s ano}^{-1}$	
Energia livre de Gibbs	5000	$\text{J kg}^{-1}$	
Energia	1,26E+08	$\text{J ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$	
Transformidade	2,45E+03	$\text{seJ J}^{-1}$	Brandt Williams, (2000)
Fração renovável	1,0		
<b>4. ÁGUA RESIDUÁRIA</b>			
Quantidade de água	3152,2	$\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$	
Densidade da água	1000	$\text{kg m}^{-3}$	
Energia livre de Gibbs	5000	$\text{J kg}^{-1}$	
Energia	1,58E+10	$\text{J ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$	
Transformidade	1,56E+05	$\text{seJ J}^{-1}$	Borges Junior, (2005)
Fração renovável	1,0		
<b>5. EVAPOTRANSPIRAÇÃO</b>			
Evapotranspiração média anual	1849,3	$\text{mm ano}^{-1}$	
Volume evapotranspirado	18493,0	$\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$	
Densidade da água	1000	$\text{kg m}^{-3}$	
Energia livre de Gibbs	5000	$\text{J kg}^{-1}$	
Energia	9,25E+10	$\text{J ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$	
Transformidade	3,04E+04	$\text{seJ J}^{-1}$	Odum et al., (2000)
Fração renovável	1,0		
<b>6. EROÇÃO DO SOLO</b>			
Perda de solo	2309,92	$\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$	
Materia orgânica	0,029		(Gliessman et al., 1996)
Energia da materia orgânica	5400	$\text{kcal kg}^{-1}$	
Fator de conversão	4186	$\text{J kcal}^{-1}$	
Energia	1,51E+09	$\text{J ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$	
Transformidade	1,24E+05	$\text{seJ J}^{-1}$	Brown e Ulgiati, (2004)
Fração renovável	0,0		
<b>7. SEMENTES</b>			
Custo das sementes	15,72	$\text{US\$ ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$	
Transformidade	4,47E+12	$\text{seJ US\$}^{-1}$	Ortega et al., (2010)
Fração renovável	0,23		Ortega et al., (2002)
<b>8. COMPOSTO ORGÂNICO</b>			

Custo do composto	339,62	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	
Fração renovável	0,6		Ortega et al., (2010)
<b>9. DEFENSIVO AGRÍCOLA</b>			
Formicida	1	kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	1,48E+12	seJ kg <sup>-1</sup>	Brown e Arding, (1991)
Fração renovável	0,05		
<b>10. SACOS</b>			
Custo	8,18	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	
Fração renovável	0,1		Coelho et al. (2003)
<b>11. MECANIZAÇÃO</b>			
Custo dos serviços	141,13	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	
Fração renovável	0,01		Ortega et al., (2002)
<b>12. TRANSPORTE</b>			
Custo do transporte	13,59	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	
Fração renovável	0,01		Ortega et al., (2002)
<b>13. MÃO-DE-OBRA FAMILIAR</b>			
Número de pessoas da familiar	4	peças	2 adultos e 2 crianças
Unidade de trabalho (adulto)	1	UT	
Unidade de trabalho (filho)	0,5	UT	
Dias trabalhados	39	dias ano <sup>-1</sup>	
Fator de conversão	2500	kcal dia <sup>-1</sup>	
	4186	J kcal <sup>-1</sup>	
Energia	8,16E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	1,85E+07	seJ J <sup>-1</sup>	Odum, (1996) Brown e Ulgiati, 2004
Fração renovável	0,90		senso comum
<b>14. MÃO-DE-OBRA AUXILIAR</b>			
Número de pessoas da familiar	2	peças	2 adultos
Unidade de trabalho (adulto)	1	UT	
Unidade de trabalho (filho)	0,5	UT	
Dias trabalhados	8	dias ano <sup>-1</sup>	
Fator de conversão	2500	kcal dia <sup>-1</sup>	
	4186	J kcal <sup>-1</sup>	
Energia	1,67E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	1,85E+07	seJ J <sup>-1</sup>	Odum, (1996) Brown e Ulgiati, 2004
Fração renovável	0,60		Takahashi et al., (2008)
<b>15. IRRIGAÇÃO</b>			
Volume bombeado	3152,2	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Densidade da água	1000	kg m <sup>-3</sup>	
Energia livre de Gibbs	5000	J kg <sup>-1</sup>	
Energia	1,58E+10	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	

Transformidade	2,96E+05	seJ J <sup>-1</sup>	Odum (2000) Brown e Ulgiati (2004)
Fração renovável	1,0		
<b>16. DEPRECIACÕES</b>			
Custo das depreciações	219,45	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	
Fração renovável	0,05		Ortega et al., (2002).
<b>17. EQUIPAMENTOS E OUTROS MATERIAIS</b>			
Custo de peças, ferramentas e equipamentos	3541,60	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	
Fração renovável	0,05		Ortega et al., (2002).
<b>18. ENERGIA PRODUZIDA</b>			
Produção comercializada	1521,00	kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Energia calorífica média	330	kcal kg <sup>-1</sup>	USDA, (2018)
Fator de conversão	4186	J kcal <sup>-1</sup>	
Energia	2,10E+09	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
<b>19. ENERGIA BENÉFICA</b>			
Economia de água	3152,2	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	8,80E+11	seJ m <sup>-3</sup>	Chen e Chen (2009)
Fração renovável	1,0		

## Apêndice VII

Neste apêndice, observam-se as descrições dos cálculos dos fluxos de energia referenciados na tabela 52 correspondente ao sistema sequeiro sem preparo do solo (T - PC) e também são apresentadas informações e referências sobre as transformidades e as frações renováveis utilizadas.

### Cálculo dos fluxos de energia da Análise Emergética (T - PC)

1. ENERGIA SOLAR	REFERÊNCIAS		
Radiação solar	5,97	kWh m <sup>-2</sup> ano <sup>-1</sup>	
Albedo	24	%	
Fatores de conversão	3,60E+06	J kWh <sup>-1</sup>	
	10000	m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	
Energia solar	1,63E+11	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	1,00E+00	seJ J <sup>-1</sup>	Odum, (1996)
Fração renovável	1,0		
<b>2. PLUVIOSIDADE</b>			
Pluviosidade	0,3106	m <sup>3</sup> m <sup>-2</sup>	
Energia livre de Gibbs	5000	J kg <sup>-1</sup>	
Fator de conversão	10000	m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	
Densidade da água	1000	kg m <sup>-3</sup>	
Fluxo de energia	1,55E+10	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	3,06E+04	seJ J <sup>-1</sup>	Brown e Ulgiati, (2004)
Fração renovável	1,0		Takahashi et al., (2008)
<b>3. VENTO</b>			

Velocidade média anual	3,53	$\text{m s}^{-1}$	
Densidade do ar	1,3	$\text{kg m}^{-3}$	Rodríguez et al., 2002
Vento geotrópico	2,12	$\text{m s}^{-1}$	Rodríguez et al., 2002
Coefficiente de arrasto	0,001	adimensional	Rodríguez et al., 2002
Fator de conversão	3,15E+07	segundo ano <sup>-1</sup>	
Energia livre de Gibbs	5000	$\text{J kg}^{-1}$	
Energia	7,69E+07	$\text{J ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$	
Transformidade	2,45E+03	$\text{seJ J}^{-1}$	Brandt Williams, (2000)
Fração renovável	1,0		
<b>4. EVAPOTRANSPIRAÇÃO</b>			
Evapotranspiração média anual	2038,6	$\text{mm ano}^{-1}$	
Volume evapotranspirado	20386,0	$\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$	
Densidade da água	1000	$\text{kg m}^{-3}$	
Energia livre de Gibbs	5000	$\text{J kg}^{-1}$	
Energia	1,02E+11	$\text{J ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$	
Transformidade	3,04E+04	$\text{seJ J}^{-1}$	Odum et al., (2000)
Fração renovável	1,0		
<b>5. EROÇÃO DO SOLO</b>			
Perda de solo	1353,62	$\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$	
Materia orgânica	0,029		Gliessman et al., (1996)
Energia da materia orgânica	5400	$\text{kcal kg}^{-1}$	
Fator de conversão	4186	$\text{J kcal}^{-1}$	
Energia	8,87E+08	$\text{J ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$	
Transformidade	1,24E+05	$\text{seJ J}^{-1}$	Brown e Ulgiati, (2004)
Fração renovável	0,0		
<b>6. SEMENTES</b>			
Custo das sementes	15,72	$\text{US\$ ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$	
Transformidade	4,67E+12	$\text{seJ US\$}^{-1}$	Ortega et al., (2010)
Fração renovável	0,23		Ortega et al., (2002)
<b>7. SACOS</b>			
Custo	2,52	$\text{US\$ ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$	
Transformidade	4,47E+12	$\text{seJ US\$}^{-1}$	
Fração renovável	0,1		Coelho et al. (2003)
<b>8. TRANSPORTE</b>			
Custo do transporte	86,46	$\text{US\$ ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$	
Transformidade	4,67E+12	$\text{seJ US\$}^{-1}$	
Fração renovável	0,01		Ortega et al., (2002)
<b>9. MÃO-DE-OBRA FAMILIAR</b>			
Número de pessoas da familiar	4	pessoas	2 adultos e 2 crianças
Unidade de trabalho (adulto)	1	UT	
Unidade de trabalho (filho)	0,5	UT	
Dias trabalhados	24	$\text{dias ano}^{-1}$	
Fator de conversão	2500	$\text{kcal dia}^{-1}$	
	4186	$\text{J kcal}^{-1}$	

Energia	5,02E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	1,85E+07	seJ J <sup>-1</sup>	Odum, (1996) Brown e Ulgiati, 2004
Fração renovável	0,90		senso comum
<b>10. MÃO-DE-OBRA AUXILIAR</b>			
Número de pessoas da familiar	2	pessoas	2 adultos
Unidade de trabalho (adulto)	1	UT	
Unidade de trabalho (filho)	0,5	UT	
Dias trabalhados	6	dias ano <sup>-1</sup>	
Fator de conversão	2500	kcal dia <sup>-1</sup>	
	4186	J kcal <sup>-1</sup>	
Energia	1,26E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	1,85E+07	seJ J <sup>-1</sup>	Odum, (1996) Brown e Ulgiati, 2004
Fração renovável	0,60		Takahashi et al., (2008)
<b>11. ENERGIA PRODUZIDA</b>			
Produção comercializada	461,41	kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Energia calorífica média	330	kcal kg <sup>-1</sup>	USDA, (2018)
Fator de conversão	4186	J kcal <sup>-1</sup>	
Energia	6,37E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	

### Apêndice VIII

Neste apêndice, observam-se as descrições dos cálculos dos fluxos de energia referenciados na tabela 53 correspondente ao sistema de sequeiro com preparo do solo por meio de escarificador (T – ESS) e também são apresentadas informações e referências sobre as transformidades e as frações renováveis utilizadas.

### Cálculo dos fluxos de energia da Análise Emergética (T - ESC)

1. ENERGIA SOLAR	REFERÊNCIAS		
Radiação solar	5,97	kWh m <sup>-2</sup> ano <sup>-1</sup>	
Albedo	24	%	
Fatores de conversão	3,60E+06	J kWh <sup>-1</sup>	
	10000	m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	
Energia solar	1,63E+11	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	1,00E+00	seJ J <sup>-1</sup>	Odum, (1996)
Fração renovável	1,0		
<b>2. PLUVIOSIDADE</b>			
Pluviosidade	0,3106	m <sup>3</sup> m <sup>-2</sup>	
Energia livre de Gibbs	5000	J kg <sup>-1</sup>	
Fator de conversão	10000	m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	
Densidade da água	1000	kg m <sup>-3</sup>	
Fluxo de energia	1,55E+10	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	3,06E+04	seJ J <sup>-1</sup>	Brown e Ulgiati, (2004)
Fração renovável	1,0		Takahashi et al., (2008)
<b>3. VENTO</b>			
Velocidade média anual	3,53	m s <sup>-1</sup>	

Densidade do ar	1,3	kg m <sup>-3</sup>	Rodríguez et al., 2002
Vento geotrópico	2,12	m s <sup>-1</sup>	Rodríguez et al., 2002
Coefficiente de arrasto	0,001	adimensional	Rodríguez et al., 2002
Fator de conversão	3,15E+07	s ano <sup>-1</sup>	
Energia livre de Gibbs	5000	J kg <sup>-1</sup>	
Energia	7,69E+07	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	2,45E+03	seJ J <sup>-1</sup>	Brandt Williams, (2000)
Fração renovável	1,0		
<b>4. EVAPOTRANSPIRAÇÃO</b>			
Evapotranspiração média anual	2038,6	mm ano <sup>-1</sup>	
Volume evapotranspirado	20386,0	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Densidade da água	1000	kg m <sup>-3</sup>	
Energia livre de Gibbs	5000	J kg <sup>-1</sup>	
Energia	1,02E+11	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	3,04E+04	seJ J <sup>-1</sup>	Odum et al., (2000)
Fração renovável	1,0		
<b>5. EROSIÃO DO SOLO</b>			
Perda de solo	1560,71	kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Materia orgânica	0,029		(Gliessman et al., 1996)
Energia da materia orgânica	5400	kcal kg <sup>-1</sup>	
Fator de conversão	4186	J kcal <sup>-1</sup>	
Energia	1,02E+09	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	1,24E+05	seJ J <sup>-1</sup>	Brown e Ulgiati, (2004)
Fração renovável	0,0		
<b>6. SEMENTES</b>			
Custo das sementes	15,72	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	4,67E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	Ortega et al., (2010)
Fração renovável	0,23		Ortega et al., (2002)
<b>7. SACOS</b>			
Custo	3,46	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	
Fração renovável	0,1		Coelho et al. (2003)
<b>8. MECANIZAÇÃO</b>			
Custo dos serviços	45,75	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	4,67E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	
Fração renovável	0,01		Ortega et al., (2002)
<b>9. TRANSPORTE</b>			
Custo do transporte	86,46	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	4,67E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	
Fração renovável	0,01		Ortega et al., (2002)
<b>10. MÃO-DE-OBRA FAMILIAR</b>			
Número de pessoas da familiar	4	pessoas	2 adultos e 2 crianças
Unidade de trabalho (adulto)	1	UT	
Unidade de trabalho (filho)	0,5	UT	

Dias trabalhados	24	dias ano <sup>-1</sup>	
Fator de conversão	2500	kcal dia <sup>-1</sup>	
	4186	J kcal <sup>-1</sup>	
Energia	5,02E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	1,85E+07	seJ J <sup>-1</sup>	Odum, (1996) Brown e Ulgiati, 2004
Fração renovável	0,90		senso comum

### 11. MÃO-DE-OBRA AUXILIAR

Número de pessoas da familiar	2	pessoas	2 adultos
Unidade de trabalho (adulto)	1	UT	
Unidade de trabalho (filho)	0,5	UT	
Dias trabalhados	6	dias ano <sup>-1</sup>	
Fator de conversão	2500	kcal dia <sup>-1</sup>	
	4186	J kcal <sup>-1</sup>	
Energia	1,26E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	1,85E+07	seJ J <sup>-1</sup>	Odum, (1996) Brown e Ulgiati, 2004
Fração renovável	0,60		Takahashi et al., (2008)

### 12. ENERGIA PRODUZIDA

Produção comercializada	637,47	kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Energia calorífica média	330	kcal kg <sup>-1</sup>	USDA, (2018)
Fator de conversão	4186	J kcal <sup>-1</sup>	
Energia	8,81E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	

### Apêndice IX

Neste apêndice, observam-se as descrições dos cálculos dos fluxos de energia referenciados na tabela 54 correspondente ao sistema de sequeiro com preparo do solo por meio de sulcadores e subsoladores (T - CCS) e também são apresentadas informações e referências sobre as transformidades e as frações renováveis utilizadas.

## Cálculo dos fluxos de energia da Análise Emergética (T - CCS)

### 1. ENERGIA SOLAR

### REFERÊNCIAS

Radiação solar	5,97	kWh m <sup>-2</sup> ano <sup>-1</sup>	
Albedo	24	%	
Fatores de conversão	3,60E+06	J kWh <sup>-1</sup>	
	10000	m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	
Energia solar	1,63E+11	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	1,00E+00	seJ J <sup>-1</sup>	Odum, (1996)
Fração renovável	1,0		

### 2. PLUVIOSIDADE

Pluviosidade	0,3106	m <sup>3</sup> m <sup>-2</sup>	
Energia livre de Gibbs	5000	J kg <sup>-1</sup>	
Fator de conversão	10000	m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	
Densidade da água	1000	kg m <sup>-3</sup>	
Fluxo de energia	1,55E+10	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	3,06E+04	seJ J <sup>-1</sup>	Brown e Ulgiati, (2004)

Fração renovável	1,0		Takahashi et al., (2008)
<b>3. VENTO</b>			
Velocidade média anual	3,53	$\text{m s}^{-1}$	
Densidade do ar	1,3	$\text{kg m}^{-3}$	Rodríguez et al., 2002
Vento geotrópico	2,12	$\text{m s}^{-1}$	Rodríguez et al., 2002
Coefficiente de arrasto	0,001	adimensional	Rodríguez et al., 2002
Fator de conversão	3,15E+07	segundo ano <sup>-1</sup>	
Energia livre de Gibbs	5000	$\text{J kg}^{-1}$	
Energia	7,69E+07	$\text{J ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$	
Transformidade	2,45E+03	$\text{seJ J}^{-1}$	Brandt Williams, (2000)
Fração renovável	1,0		
<b>4. EVAPOTRANSPIRAÇÃO</b>			
Evapotranspiração média anual	2038,6	$\text{mm ano}^{-1}$	
Volume evapotranspirado	20386,0	$\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$	
Densidade da água	1000	$\text{kg m}^{-3}$	
Energia livre de Gibbs	5000	$\text{J kg}^{-1}$	
Energia	1,02E+11	$\text{J ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$	
Transformidade	3,04E+04	$\text{seJ J}^{-1}$	Odum et al., (2000)
Fração renovável	1,0		
<b>5. EROÇÃO DO SOLO</b>			
Perda de solo	1040,47	$\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$	
Materia orgânica	0,029		Gliessman et al., (1996)
Energia da materia orgânica	5400	$\text{kcal kg}^{-1}$	
Fator de conversão	4186	$\text{J kcal}^{-1}$	
Energia	6,82E+08	$\text{J ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$	
Transformidade	1,24E+05	$\text{seJ J}^{-1}$	Brown e Ulgiati, (2004)
Fração renovável	0,0		
<b>6. SEMENTES</b>			
Custo das sementes	15,72	$\text{US\$ ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$	
Transformidade	4,67E+12	$\text{seJ US\$}^{-1}$	Ortega et al., (2010)
Fração renovável	0,23		Ortega et al., (2002)
<b>7. SACOS</b>			
Custo	2,52	$\text{US\$ ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$	
Transformidade	4,47E+12	$\text{seJ US\$}^{-1}$	
Fração renovável	0,1		Coelho et al. (2003)
<b>8. MECANIZAÇÃO</b>			
Custo dos serviços	95,19	$\text{US\$ ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$	
Transformidade	4,67E+12	$\text{seJ US\$}^{-1}$	
Fração renovável	0,01		ORTEGA et al., (2002)
<b>9. TRANSPORTE</b>			
Custo do transporte	86,46	$\text{US\$ ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$	
Transformidade	4,67E+12	$\text{seJ US\$}^{-1}$	
Fração renovável	0,01		Ortega et al., (2002)
<b>10. MÃO-DE-OBRA FAMILIAR</b>			

Número de pessoas da familiar	4	peçoas	2 adultos e 2 crianças
Unidade de trabalho (adulto)	1	UT	
Unidade de trabalho (filho)	0,5	UT	
Dias trabalhados	28	dias ano <sup>-1</sup>	
Fator de conversão	2500	kcal dia <sup>-1</sup>	
	4186	J kcal <sup>-1</sup>	
Energia	5,86E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	1,85E+07	seJ J <sup>-1</sup>	Odum, (1996) Brown e Ulgiati, 2004
Fração renovável	0,90		senso comum

### 11. MÃO-DE-OBRA AUXILIAR

Número de pessoas da familiar	2	peçoas	2 adultos
Unidade de trabalho (adulto)	1	UT	
Unidade de trabalho (filho)	0,5	UT	
Dias trabalhados	7	dias ano <sup>-1</sup>	
Fator de conversão	2500	kcal dia <sup>-1</sup>	
	4186	J kcal <sup>-1</sup>	
Energia	1,47E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	1,85E+07	seJ J <sup>-1</sup>	Odum, (1996) Brown e Ulgiati, 2004
Fração renovável	0,60		Takahashi et al., (2008)

### 12. ENERGIA PRODUZIDA

Produção comercializada	695,75	kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Energia calorífica média	330	kcal kg <sup>-1</sup>	USDA, (2018)
Fator de conversão	4186	J kcal <sup>-1</sup>	
Energia	9,61E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	

## Apêndice X

Neste apêndice, verificam-se as descrições dos cálculos dos fluxos de energia referenciados na tabela 55 correspondente ao sistema de sequeiro com preparo do solo por meio de sulcadores, subsoladores e adição de composto orgânico (T - CCO) e também são apresentadas informações e referências sobre as transformidades e as frações renováveis utilizadas.

### Cálculo dos fluxos de energia da Análise Emergética (T - CCO)

1. ENERGIA SOLAR		REFERÊNCIAS	
Radiação solar	5,97	kWh m <sup>-2</sup> ano <sup>-1</sup>	
Albedo	24	%	
Fatores de conversão	3,60E+06	J kWh <sup>-1</sup>	
	10000	m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	
Energia solar	1,63E+11	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	1,00E+00	seJ J <sup>-1</sup>	Odum, (1996)
Fração renovável	1,0		
2. PLUVIOSIDADE			
Pluviosidade	0,3106	m <sup>3</sup> m <sup>-2</sup>	
Energia livre de Gibbs	5000	J kg <sup>-1</sup>	
Fator de conversão	10000	m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	
Densidade da água	1000	kg m <sup>-3</sup>	

Fluxo de energia	1,55E+10	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	3,06E+04	seJ J <sup>-1</sup>	Brown e Ulgiati, (2004)
Fração renovável	1,0		Takahashi et al., (2008)

### 3. VENTO

Velocidade média anual	3,53	m s <sup>-1</sup>	
Densidade do ar	1,3	kg m <sup>-3</sup>	Rodríguez et al., 2002
Vento geotrópico	2,12	m s <sup>-1</sup>	Rodríguez et al., 2002
Coefficiente de arrasto	0,001	adimensional	Rodríguez et al., 2002
Fator de conversão	3,15E+07	s ano <sup>-1</sup>	
Energia livre de Gibbs	5000	J kg <sup>-1</sup>	
Energia	7,69E+07	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	2,45E+03	seJ J <sup>-1</sup>	Brandt Williams, (2000)
Fração renovável	1,0		

### 4. EVAPOTRANSPIRAÇÃO

Evapotranspiração média anual	2038,6	mm ano <sup>-1</sup>	
Volume evapotranspirado	20386,0	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Densidade da água	1000	kg m <sup>-3</sup>	
Energia livre de Gibbs	5000	J kg <sup>-1</sup>	
Energia	1,02E+11	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	3,04E+04	seJ J <sup>-1</sup>	Odum et al., (2000)
Fração renovável	1,0		

### 5. EROSIÃO DO SOLO

Perda de solo	520,23	kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Materia orgânica	0,029		Gliessman et al., (1996)
Energia da materia orgânica	5400	kcal kg <sup>-1</sup>	
Fator de conversão	4186	J kcal <sup>-1</sup>	
Energia	3,41E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	1,24E+05	seJ J <sup>-1</sup>	Brown e Ulgiati, (2004)
Fração renovável	0,0		

### 6. SEMENTES

Custo das sementes	15,72	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	4,67E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	Ortega et al., (2010)
Fração renovável	0,23		Ortega et al., (2002)

### 7. COMPOSTO ORGÂNICO

Custo do composto	1132,08	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	4,67E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	
Fração renovável	0,6		Ortega et al., (2010)

### 8. SACOS

Custo	4,41	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	4,47E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	
Fração renovável	0,1		Coelho et al. (2003)

### 9. MECANIZAÇÃO

Custo dos serviços	102,52	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	4,67E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	

Fração renovável	0,01		Ortega et al., (2002)
<b>10. TRANSPORTE</b>			
Custo do transporte	86,46	US\$ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	4,67E+12	seJ US\$ <sup>-1</sup>	
Fração renovável	0,01		Ortega et al., (2002)
<b>11. MÃO-DE-OBRA FAMILIAR</b>			
Número de pessoas da familiar	4	pessoas	2 adultos e 2 crianças
Unidade de trabalho (adulto)	1	UT	
Unidade de trabalho (filho)	0,5	UT	
Dias trabalhados	30	dias ano <sup>-1</sup>	
Fator de conversão	2500	kcal dia <sup>-1</sup>	
	4186	J kcal <sup>-1</sup>	
Energia	6,28E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	1,85E+07	seJ J <sup>-1</sup>	Odum, (1996) Brown e Ulgiati, 2004
Fração renovável	0,90		senso comum
<b>12. MÃO-DE-OBRA AUXILIAR</b>			
Número de pessoas da familiar	2	pessoas	2 adultos
Unidade de trabalho (adulto)	1	UT	
Unidade de trabalho (filho)	0,5	UT	
Dias trabalhados	8	dias ano <sup>-1</sup>	
Fator de conversão	2500	kcal dia <sup>-1</sup>	
	4186	J kcal <sup>-1</sup>	
Energia	1,67E+08	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Transformidade	1,85E+07	seJ J <sup>-1</sup>	Odum, (1996) Brown e Ulgiati, 2004
Fração renovável	0,60		Takahashi et al., (2008)
<b>13. ENERGIA PRODUZIDA</b>			
Produção comercializada	813,85	kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Energia calorífica média	330	kcal kg <sup>-1</sup>	USDA, (2018)
Fator de conversão	4186	J kcal <sup>-1</sup>	
Energia	1,12E+09	J ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	