

THIAGO BANA SCHUBA

ENERGIA INCORPORADA NA CADEIA PRODUTIVA DE SUÍNOS NO
OESTE DO PARANÁ

CASCVEL
PARANÁ – BRASIL
MARÇO – 2019

THIAGO BANA SCHUBA

**ENERGIA INCORPORADA NA CADEIA PRODUTIVA DE SUÍNOS NO
OESTE DO PARANÁ**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia de Energia na Agricultura da Universidade Estadual do Oeste do Paraná para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Energia na Agricultura.

Orientador: Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza

CASCADEL
PARANÁ – BRASIL
MARÇO – 2019

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Schuba, Thiago Bana

Energia incorporada na cadeia produtiva de suínos no Oeste do Paraná / Thiago Bana Schuba; orientador(a), Samuel Nelson Melegari de Souza, 2019.
59 f.

Dissertação (mestrado), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, 2019.

1. balanço energético. 2. energia embutida. 3. ciclo de vida. I. de Souza, Samuel Nelson Melegari. II. Título.

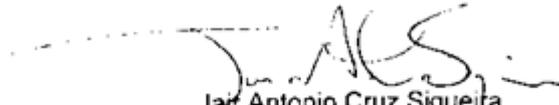
THIAGO BANA SCHUBA

Energia incorporada na cadeia produtiva de suínos no Oeste do Paraná

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia. Linha de pesquisa Fontes Renováveis e Racionalização de Energia Na Agroindústria e Agricultura. APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:



Orientador(a) - Samuel Nelson Melegari de Souza
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Jair Antonio Cruz Siqueira
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Valdemir Aleixo
Pontifícia Universidade Católica do Paraná – Campus Toledo (PUCPR)

Cascavel, 20 de março de 2019

Dedico este trabalho aos meus queridos e amáveis pais, Marcos Antonio Schuba e Eolanda Bana Schuba.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por iluminar o meu caminho, assim como pela oportunidade concedida nesta etapa da minha vida.

Agradeço aos meus pais, que sempre proporcionaram condições para meu crescimento pessoal e profissional, me orientando com disciplina e caráter, oferecendo muito amor, apoio e incentivo.

A minha família, que sempre me apoiou e incentivou não só nesta etapa, mas como em toda a minha vida acadêmica.

A todos os meus amigos que estiveram sempre ao meu lado e mostraram sempre o seu companheirismo e apoio em todos os momentos, principalmente meus colegas de sala, colegas de movimento estudantil, professores e colegas de trabalho. Cada um com sua característica específica pôde somar na minha vida.

A Universidade Estadual do Oeste do Paraná campus Cascavel a qual junto com meu orientador professor Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza, fizeram com que esse trabalho fosse possível de ser realizado com sucesso.

A Vanderléia Schmidt sempre disposta na assistência do programa.

Agradeço também a todos os professores que ao longo dessa caminhada me instigaram a viver um pouco mais disto tudo.

Aos colegas de turma por todos os anos de estudos e companheirismo, por compartilharem suas experiências e ajudarem a melhorar forma de enxergar muitas coisas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Matriz Elétrica Brasileira em 2017.....	5
Figura 2 – Fluxo de energia elétrica do Brasil no ano de 2017.	6
Figura 3 – Evolução da produção de soja no Estado do Paraná, região oeste paranaense e microrregião de Toledo.....	7
Figura 4 – Evolução da produção de milho no Estado do Paraná, região oeste paranaense e microrregião de Toledo.....	7
Figura 5 – Evolução do efetivo do rebanho de suínos no Estado do Paraná, região oeste paranaense e microrregião de Toledo.	8
Figura 6 – Sistema de Produção de Grãos localizado no Município de Tupãssi/PR.	13
Figura 7 – Sistema de Criação de Suínos localizado no Município de Toledo/PR.	14

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Informações das máquinas e implementos utilizados nas operações das culturas da soja e do milho.....	36
Tabela 2 – Informações sobre a mão de obra utilizada nas operações agrícolas da cultura do milho em 2016, 2017 e 2018	37
Tabela 3 – Informações sobre a mão de obra utilizada nas operações agrícolas da cultura da soja em 2017, 2018 e 2019	38
Tabela 4 – Insumos agrícolas utilizados na implantação e condução do milho na área experimental em 2016, 2017 e 2018	38
Tabela 5 – Insumos agrícolas utilizados na implantação e condução da soja na área experimental em 2017, 2018 e 2019	39
Tabela 6 – Informações sobre os combustíveis e lubrificantes utilizados nas operações agrícolas da cultura do milho em 2016, 2017 e 2018.....	40
Tabela 7 – Informações sobre os combustíveis e lubrificantes utilizados nas operações agrícolas da cultura da soja em 2017, 2018 e 2019.....	41
Tabela 8 – Análise de energia do SPG para a safra 2016 da cultura do milho	42
Tabela 9 – Análise de energia do SPG para a safra 2017 da cultura do milho	42
Tabela 10 – Análise de energia do SPG para a safra 2018 da cultura do milho	43
Tabela 11 – Análise de energia do SPG para a safra 2017 da cultura da soja	44
Tabela 12 – Análise de energia do SPG para a safra 2018 da cultura da soja	44
Tabela 13 – Análise de energia do SPG para a safra 2019 da cultura da soja	45
Tabela 14 – Informações sobre a mão de obra utilizada nas atividades relativas ao trato, ao manejo e engorda dos suínos para o abate	47
Tabela 15 – Insumos suinícolas utilizados nas atividades relativas ao trato, ao manejo e engorda dos suínos para o abate no.....	48
Tabela 16 – Análise de energia do SCS para o lote de maio/2017 a agosto/2017 ...	50
Tabela 17 – Análise de energia do SCS para o lote de outubro/2017 a janeiro/2018	50
Tabela 18 – Análise de energia do SCS para o lote de janeiro/2018 a abril/2018	51
Tabela 19 – Análise de energia do SCS para o lote de abril/2018 a julho/2018	51

SCHUBA, Thiago Bana. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, fevereiro de 2019.
Energia Incorporada na cadeia produtiva de suínos no Oeste do Paraná.
Professor orientador Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza.

RESUMO

A região Oeste do Paraná apresenta-se entre as principais forças motrizes econômicas na produção agropecuária, principalmente se tratando da cadeia produtiva de suínos. Dada a importância desta região para o desenvolvimento econômico do país e a demanda de energia utilizada para transformação de matéria-prima em produtos, este estudo teve por objetivo estimar a energia incorporada na cadeia produtiva de suínos na região oeste do Paraná. A pesquisa foi conduzida em 03 (três) áreas que caracterizam o cenário regional da cadeia produtiva de suínos, sendo: Sistema de Produção de Grãos (SPG); Fábrica de Ração (FR); e Sistema de Criação de Suínos (SCS). Para a estimativa associou-se sua dimensão física, originando assim o quantitativo que foi multiplicado pelo respectivo índice de incorporação de energia sendo transformados em unidade de energia. Os dados convertidos a unidades energéticas foram considerados pelo seu tipo ou composição, quantificando a energia dos fluxos do sistema. Cada um dos valores determinados por meio do fluxo de materiais foi atribuído seu respectivo conteúdo de energia, possibilitando determinar a energia consumida, a energia produzida e os indicadores de eficiência energética, que são: EROI (*energy return over investment*); Balanço de energia (BE); e a Energia Incorporada (EI). O SPG e a FR resultaram em valores de EROI abaixo de 1 comprovando retorno sobre a energia investida. O mesmo seguiu-se para os valores referentes ao BE, que representaram ganho líquido perante as operações realizadas nos sistemas. A EI nos grãos colhidos resultou os valores de 3,42 MJ kg⁻¹ para a cultura da soja e de 1,89 MJ kg⁻¹ para a cultura do milho. Já a EI na ração fabricada foi de 0,17 MJ kg⁻¹ produzida. O EROI resultante da média das energias consumidas e produzidas no SCS foi de 4,68, não havendo retorno energético sobre a energia investida. O BE foi de -4.205,50 GJ lote⁻¹ e a EI na ração fabricada foi 43,11 MJ kg⁻¹.

Este trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

PALAVRAS-CHAVE: balanço energético; energia embutida; ciclo de vida.

SCHUBA, Thiago Bana. State University of Western Paraná, february 2019. **Incorporated energy in the pig production chain in Western Paraná.** Teacher mentor Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza.

ABSTRACT

The western region of Paraná is among the main economic driving forces in agricultural production, especially in the pig production chain. Given the importance of this region for the economic development of the country and the energy demand used to transform raw material into products, this study aimed to estimate the energy incorporated in the pork production chain in the western region of Paraná. The research was conducted in 03 (three) areas that characterize the regional scenario of the production chain of pigs, being: Grain Production System (GSP); Feed Factory (FR); and Pig Breeding System (SCS). For the estimation, its physical dimension was associated, thus giving rise to the quantity that was multiplied by the respective rate of incorporation of energy being transformed into unit of energy. The data converted to energy units were considered by their type or composition, quantifying the energy of the system flows. Each of the values determined through the flow of materials was assigned its respective energy content, making it possible to determine the energy consumed, the energy produced and the energy efficiency indicators, which are: EROI (energy return over investment); Energy balance (BE); and Embedded Energy (EI). The SPG and FR resulted in EROI values below 1 confirming return on invested energy. The same was followed for the values referring to the BE, which represented a net gain compared to the operations performed on the systems. The EI in the harvested grains resulted in the values of 3.42 MJ kg^{-1} for the soybean crop and 1.89 MJ kg^{-1} for the maize crop. The EI in the manufactured ration was 0.17 MJ kg^{-1} produced. The EROI resulting from the average energy consumed and produced in the SCS was 4.68, with no energy return on the energy invested. The BE was $-4.205.50 \text{ GJ lot}^{-1}$ and the EI in the manufactured feed was 43.11 MJ kg^{-1} .

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Finance Code 001.

KEYWORDS: energetic balance; embodied energy; life cycle.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos	2
1.1.1. Objetivo geral	2
1.1.2. Objetivo específico	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Matriz energética	4
2.2. Cadeia produtiva de suínos na Região Oeste do Paraná	6
2.3. Análise de fluxos de energia na cadeia produtiva de suínos	9
2.3.1. Fluxo de materiais	9
2.3.2. Determinação da entrada de energia (EE)	10
2.3.3. Determinação da saída de energia (ES)	10
2.3.4. Indicadores de eficiência energética	11
3. MATERIAL E MÉTODOS	13
3.1. Caracterização do cenário	13
3.2. Descrição do conjunto de operações no SPG	16
3.2.1. Semeadura e adubação	17
3.2.2. Aplicação de defensivos agrícolas	18
3.2.3. Colheita	18
3.3. Fluxo de materiais no sistema de produção de grãos	19
3.3.1. Mão de obra	19
3.3.2. Insumos agrícolas	20
3.3.3. Máquinas e implementos	21
3.3.4. Combustível e lubrificantes	22
3.3.5. Fluxos de energia no SPG	23
3.4. Fábrica de ração	26
3.4.1. Operações avaliadas	26
3.4.2. Fluxos de energia na FR	26
3.5. Sistema de Criação de Suínos	29
3.5.1. Operações avaliadas	29
3.5.2. Fluxo de materiais no SCS	29
3.5.3. Mão de obra	29
3.5.4. Insumos suinícolas	30
3.5.5. Fluxos de energia no SCS	32
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
4.1. Fluxos de energia no SPG	36
4.2. Fluxos de energia na FR	46
4.3. Fluxos de energia no SCS	47
5. CONCLUSÕES	53
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54

1. INTRODUÇÃO

A necessidade em se produzir alimentos para atender a demanda crescente da população (FAO, 2018), reflete na necessidade por inovações tecnológicas no setor agropecuário, assim como, maior quantidade de energia nos sistemas de produção (HALL, 2004; MUSANGO; BRENT, 2011).

Esse aumento na energia requerida é suprido pelo uso de energia fóssil, tendo em vista uma maior utilização de insumos como fertilizantes, defensivos, máquinas e equipamentos (ASSENHEIMER; CAMPOS; JÚNIOR, 2009).

Determinar a melhor estratégia de manejo dos sistemas agrícolas depende da análise das condições ambientais específicas, bem como dos dados de balanços energéticos e econômicos. Assim, um dos instrumentos básicos capazes de maximizar os ganhos energéticos é o melhor conhecimento da relação produção/consumo de energia na produção agrícola, tanto quanto a sua análise econômica (PIMENTEL, 1980; CARMO et al., 1988; COMITRE, 1993; CAMPOS et al., 2009).

Com o passar do tempo, novas formas de estimar a produção e o consumo de energia nas operações que compõem os sistemas agrícolas, foram observadas por Mesquita, Roessing e Gazziero (1981), Bueno, Campos, Alessandro e Campos, Aloísio (2000), Zanini et al. (2003), Assenheimer, Campos e Júnior (2009), Romanelli e Milan (2010), Houshyar, Wu e Chen (2018) os quais reforçaram a viabilidade deste processo.

De acordo com Campos, Alessandro e Campos, Aloísio (2004), a energia e produção de alimentos estão inter-relacionadas, sendo qualquer impacto no preço do petróleo transmitido ao longo da cadeia produtiva.

No que diz respeito a cadeia produtiva de suínos, está é totalmente dependente da energia investida no cultivo de grãos, devido à utilização de insumos, o emprego de máquinas, a infraestrutura, o posterior beneficiamento e fabricação da ração, a energia consumida e os gastos com mão de obra (CAMARGO et al., 2018; WIEDEMANN; WATSON, 2018).

Devido à importância da cadeia produtiva de suínos na economia brasileira, em especial na Região Oeste do Paraná, a falta de índices energéticos referentes a utilização de insumos, o emprego de máquinas, a infraestrutura e os gastos com mão de obra no setor, justifica-se determinar novos indicadores de energia incorporada.

Ainda, a importância da pesquisa deve-se a necessidade de dados, além da produtividade obtida e pela relação custo pelo lucro, observando outras variáveis e critérios capazes de identificar sua demanda total e eficiência refletida pelo ganho líquido de energia e pela relação saída/entrada, além, da quantidade necessária para produzir um quilograma de produto.

Portanto, a quantificação da energia incorporada consiste em traduzir em unidades energéticas os fatores de produção e consumos intermediários que tornem viável a construção de indicadores, comparáveis entre si e que, a partir de um quadro teórico, permitam intervir no sistema, visando melhorar a sua eficiência.

1.1 Objetivos

1.1.1. Objetivo geral

O presente trabalho tem por objetivo estimar a energia incorporada na cadeia produtiva de suínos na Região Oeste do Paraná.

1.1.2. Objetivo específico

Para cumprir com o objetivo geral, é proposto a divisão dos objetivos específicos em três partes, sendo sistema de produção de grãos, processo de fabricação de ração e sistema de criação de suínos, que são:

- Estimar a produção de grãos, de ração e de suínos quanto a demanda e disponibilização de energia;
- Estimar o consumo energético das variáveis (mão de obra, sementes, fertilizantes, defensivos agrícolas, máquinas e implementos, combustíveis e lubrificantes) envolvidas no sistema de produção de grãos, (energia elétrica) envolvida no processo de fabricação de ração e (mão de obra, ração, energia elétrica, água, insumos veterinários e construções) envolvidas no sistema de criação de suínos;
- Estimar a energia consumida na cadeia produtiva de suínos;
- Estimar a energia produzida na cadeia produtiva de suínos;
- Estimar o retorno em energia sobre energia investida na cadeia

produtiva de suínos;

- Calcular o balanço energético na cadeia produtiva de suínos;
- Estimar a energia incorporada na cadeia produtiva de suínos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Matriz energética

Juntamente com a previsão de serem atingidos os 11,2 bilhões em população mundial no final do século XXI, observa-se a previsão do aumento da demanda por alimentos (FAO, 2018), do desenvolvimento tecnológico, e o consequente aumento do consumo de energia (HALL, 2004; MUSANGO; BRENT, 2011; UNFPA-ONU, 2011).

Nas últimas décadas ocorreu uma mudança na maneira do uso das fontes renováveis, devido ao desenvolvimento de tecnologias de conversão. De acordo com REN 21 (2016) as fontes fósseis representam a maior parte do fornecimento de energia na média mundial. Exemplifica-se esse fato com a crescente preocupação com o ambiente e os impactos da alta taxa de utilização de combustíveis fósseis.

O Brasil se encontra em situação diferente dos demais países. De acordo com relatório do Balanço Energético Nacional (BEN, 2017), o Brasil aumentou sua participação em fontes renováveis na sua matriz elétrica de 75,5% em 2015 para 81,7% em 2016, composta basicamente pela geração hidráulica, biomassa e eólica. Este crescimento deve-se em grande parte às usinas e pequenas centrais hidroelétricas.

A Matriz Elétrica Brasileira (MEB) é composta por diversas fontes, sendo a hidráulica a mais representativa e responsável por mais da metade de nossa geração. A diversificação de fontes de geração é considerada um fator nevrálgico, pois significa maior independência energética de outros países, além de se traduzir em maior segurança no sistema elétrico (BEM, 2017).

Observa-se na Figura 1 que, a matriz elétrica brasileira é predominantemente hidráulica, que representa 65,2%, seguida pelo gás natural, que representa 10,5%, utilizado nas termoeletricas, a qual serve de *backup* do sistema elétrico para quando os reservatórios das hidroelétricas se encontram em níveis baixos.

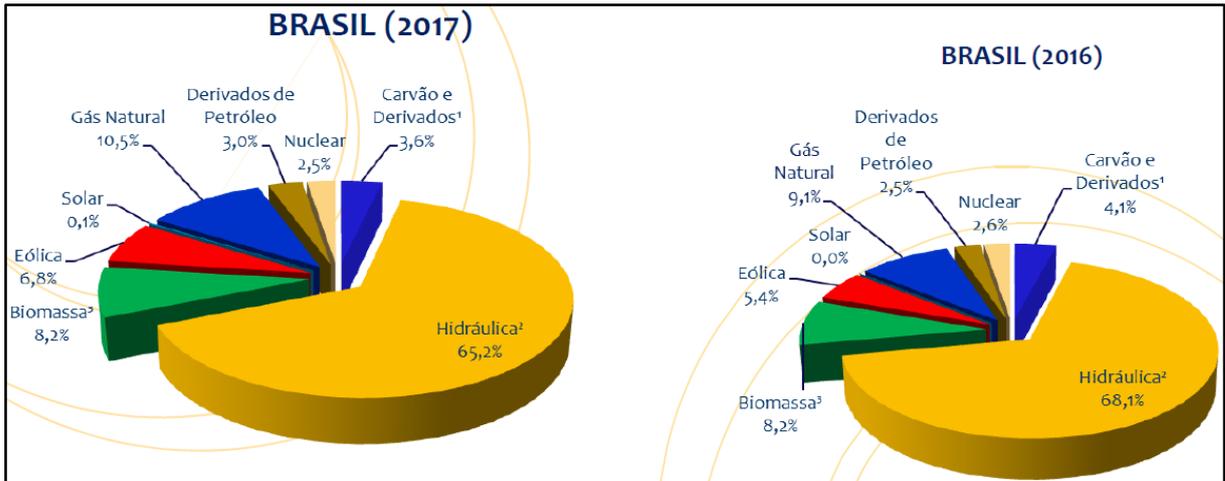


Figura 1 – Matriz Elétrica Brasileira em 2017.
Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2018).

A energia em todas as suas formas (mecânica, térmica, radiante, química, nuclear) possui grande importância na sociedade, ela é necessária para a produção de bens e serviços a partir dos recursos naturais, e para o fornecimento de inúmeros serviços da sociedade (HINRICHS; KLEINBACH, 2003).

Nota-se que fatores de ordem política e econômica, contudo, culminaram em instabilidades nos preços de energia e combustível em todo mundo. Após esses marcos históricos, observou-se uma preocupação com a busca por novas fontes de energia, e que atingiu também o setor agropecuário, visto a influência direta da crise nos preços de insumos industrializados (TVERBERG, 2012).

Por meio do fluxo de energia elétrica apresentado na Figura 2, pode-se observar que de toda a energia elétrica interna ofertada, 31,8% é consumida pelo setor industrial, seguido de 21,5% consumida pelo setor residencial. Esse consumo por parte das indústrias é associado a todas as operações necessárias para suportar a fabricação de um produto ou a oferta de um serviço (BOUSTEAD; HANCOCK, 1979).

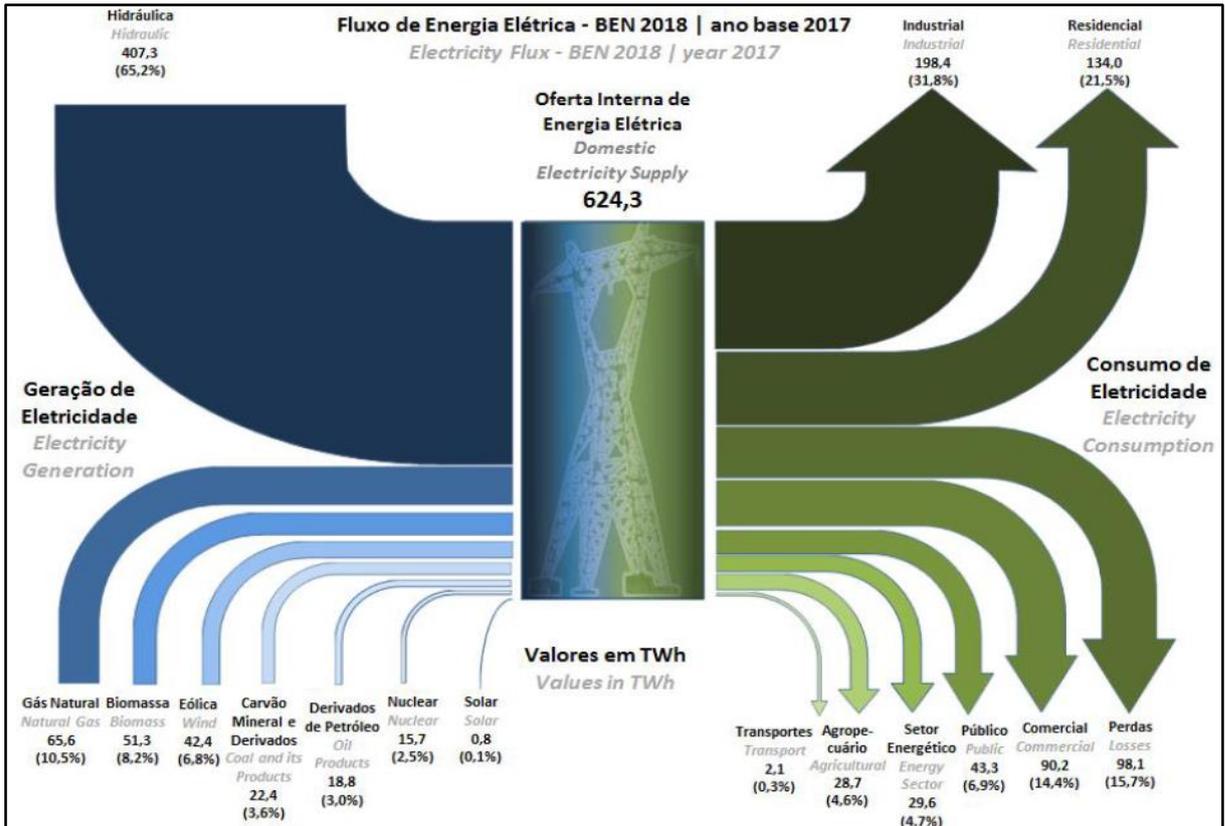


Figura 2 – Fluxo de energia elétrica do Brasil no ano de 2017.

Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2018).

Na agricultura, o aumento da produção está diretamente relacionado com o desenvolvimento de tecnologia, uso mais intenso de insumos e da mecanização. Todos esses insumos, por sua vez, dependem principalmente do uso de energia fóssil, visto que a quantidade de energia usada nas operações depende de outros fatores que não somente a energia contida no combustível, como a energia incorporada na fabricação e distribuição das máquinas, fertilizantes, defensivos, trabalho humano e outros (PIMENTEL, 1980).

Estes fatores refletem também na cadeia produtiva de suínos, visto que a base alimentar da cadeia é resultante da produção de grãos proveniente da agricultura e seu respectivo processo de transformação em fonte nutricional. Sendo assim, a energia, em forma prontamente disponível, ou incorporada em produtos, desempenha importante papel energético para o país.

2.2. Cadeia produtiva de suínos na Região Oeste do Paraná

A Região Oeste do Paraná, onde está localizado o Município de Toledo, apresenta como principal força motriz econômica a produção agropecuária, na

produção de grãos, principalmente soja e milho. Pode se observar a evolução e a representatividade da produção de soja e milho, respectivamente na Figura 3 e 4.

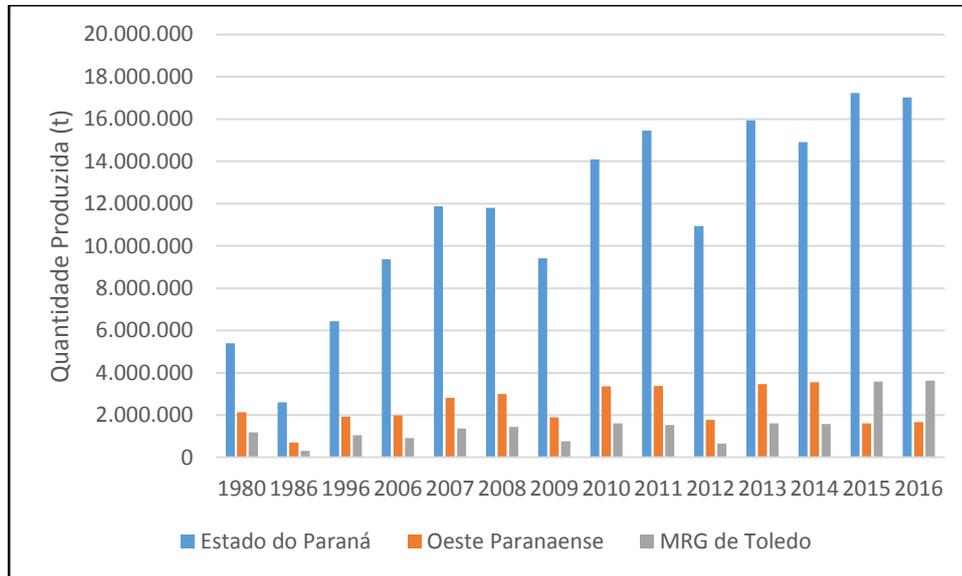


Figura 3 – Evolução da produção de soja no Estado do Paraná, região oeste paranaense e microrregião de Toledo.

Fonte: Adaptado de Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social (2018).

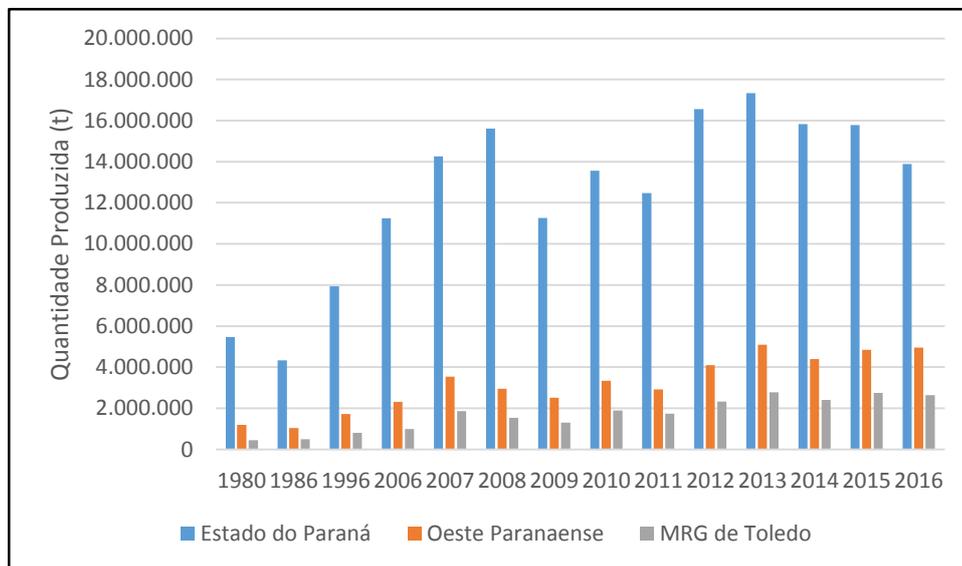


Figura 4 – Evolução da produção de milho no Estado do Paraná, região oeste paranaense e microrregião de Toledo.

Fonte: Adaptado de Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social (2018).

Em 2017, de acordo com os dados do Departamento de Economia Rural (DERAL), da Secretaria de Estado da Agricultura e Abastecimento (SEAB), o valor bruto da produção agropecuária (VBP) de Toledo fechou em R\$ 2.162.263.535,01, ocupando o primeiro lugar no Estado do Paraná no setor. Desse número, a soja

representa 13,4% e o milho 6% (PARANÁ, 2017).

Após a colheita, os grãos são encaminhados para as Cooperativas, onde passam por um beneficiamento. As cooperativas são encarregadas de retirar as impurezas, os grãos quebrados e fazer a secagem. O processo é necessário para que os grãos sejam padronizados e recebam qualidade para ser processados e servir de alimento para os suínos.

É fato que as atividades relacionadas à suinocultura se destacam por sua importância no âmbito econômico e social, e competitividade no mercado internacional ocupando assim lugar de destaque na matriz produtiva do agronegócio brasileiro (ROPPA, 2002; ABPA, 2016).

No ano de 2017, os animais abatidos no Paraná totalizaram 826.131.095 kg de produção de carne. As exportações somam até o momento 16.297 toneladas. Observa-se na Figura 5 que o Paraná possui um efetivo do rebanho de suínos de 7.131.132 cabeças de suínos, estando em 1º lugar no *ranking* nacional – participação de 17,8% do montante.

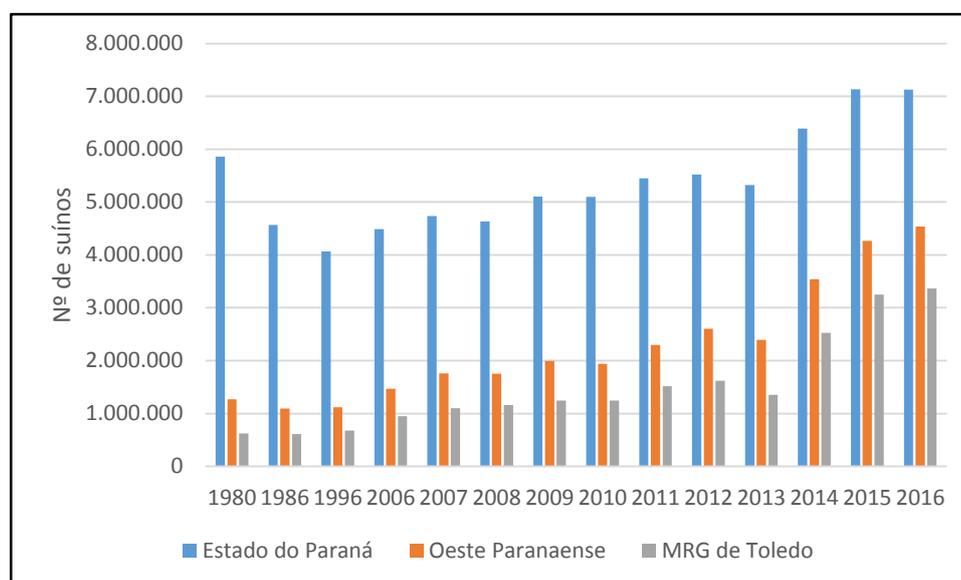


Figura 5 – Evolução do efetivo do rebanho de suínos no Estado do Paraná, região oeste paranaense e microrregião de Toledo.

Fonte: Adaptado de Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social (2018).

Visto a importância da cadeia produtiva de suínos para a região oeste paranaense, deve-se levar em consideração que a quantificação da energia incorporada no sistema consiste em uma ferramenta viável a construção de indicadores, visando melhorar a sua eficiência.

2.3. Análise de fluxos de energia na cadeia produtiva de suínos

O uso de análises energéticas em processos de produção existe há poucas décadas. Inicialmente, essa ferramenta era utilizada para o suporte de decisões específicas, como políticas particulares. Porém a partir da década de 1970, o conceito e prática de desenvolvimento sustentável aumentou nas inúmeras classes de discussão a nível mundial (MUSANGO; BRENT, 2011).

A definição mais utilizada de análises energéticas é aquela proposta pela Federação Internacional de Institutos para Estudos Avançados (IFIAS, 1974), na qual é definida como sendo o processo de determinação de toda a energia requerida diretamente e indiretamente para que um sistema possa produzir um bem ou serviço (HERENDEEN, 2004; FRANZESE et al., 2009; AGOSTINHO; ORTEGA, 2012).

Mesmo com a importância dos parâmetros econômicos em quaisquer sistemas de produção, quando se trata da busca por maior sustentabilidade, juntamente com as análises econômicas, podem-se utilizar as análises de enfoque energético como ferramentas para a definição do comportamento dos sistemas de produção (ORTIZ-CAÑAVATE; HERNANZ, 1999).

Etapas do processo produtivo, representadas pelo uso de fertilizantes, combustível e maquinário têm se tornado gargalos no processo de utilização da energia (CAMPOS, Alessandro; CAMPOS, Aloísio, 2004), e devem ser cuidadosamente avaliados.

Assim, subsídios são adquiridos para a tomada de decisão, com o objetivo principal de promover maior eficiência do uso da energia. As medidas de manejo desse enfoque são locais, pois dependem de inúmeras características, nas quais se incluem até mesmo a extensão do país em questão. Fatores como diferentes formas de conduzir uma mesma cultura ou criação de espécie animal, além de fatores como tipo de solo, relevo, podem representar consideráveis diferenças no consumo de energia (CAMPOS, Alessandro; CAMPOS, Aloisio, 2004).

2.3.1. Fluxo de materiais

O Fluxo de Materiais (FM) é um método que propõe a quantificação da intensidade dos materiais ou insumos utilizados, e que sofrem transformações, e então resultam em outputs deste sistema. Seu uso como ferramenta de análise de

relações entre a sociedade e a natureza, pode ser considerado como uma inter-relação entre economia e ambiente, na qual a economia é um subsistema embutido no ambiente, e dependentes de uma transferência constante de materiais e energia (HINTERBERGER; GILJUM; HAMMER, 2003).

Na aplicação desse método, os fatores apropriados de intensidade material por unidade de massa, são multiplicados por cada insumo usado, contando com a quantidade total de material biótico, abiótico, água e ar que está direta ou indiretamente relacionada com o *output* produzido. O resultado, em termos quantitativos, representa a carga de material utilizada no sistema para produção de determinado produto final ou *output* (CHERUBINI; BARGIGLI; ULGIATI, 2008; ROMANELLI; MILAN, 2010).

Em um sistema de produção, todos os insumos utilizados e produtos finais podem ser expressos em termos energéticos. Além disso, a demanda de energia e a energia disponibilizada são fatores essenciais na determinação da eficiência energética da produção (RATHKE et al., 2007).

2.3.2. Determinação da entrada de energia (EE)

A demanda de energia de um sistema deve ser avaliada de maneira que não considere apenas a energia disponibilizada, como é o caso da eletricidade, combustíveis líquidos, gasosos e sólidos. Deve também ser avaliada em nível que considere a energia incorporada, ou aquela utilizada em processos de produção dos insumos (PARK; HEO, 2007).

2.3.3. Determinação da saída de energia (ES)

A energia de saída, ou potencialmente disponível, pode ser calculada após determinado o produto final, suas características e processo de conversão.

Por exemplo, para calcular a energia potencialmente disponível por meio do processo de cogeração da cana-de-açúcar, deve-se estimar a quantidade de bagaço disponível e características, como umidade, que por sua vez influencia no processo de conversão, a combustão (CORTEZ; LORA; GÓMEZ, 2008).

2.3.4. Indicadores de eficiência energética

A necessidade do uso mais eficiente de recursos energéticos e naturais na produção agrícola e nos diversos sistemas de produção (PIMENTEL, 1984; BORJESSON, 1996; LAL, 2005) culmina na adoção de medidas que promovam o uso mais eficiente da energia nesses sistemas (HINRICHS; KLEINBACH, 2003).

Nesse contexto, destaca-se, além das análises dos fluxos de energia, o uso de indicadores da eficiência energética, que juntos representam ferramenta promissora na análise do uso e esgotamento de recursos, como fontes fósseis, além da possibilidade de uma visão holística ao se analisar políticas mundiais, manejo de recursos naturais e proteção ao ambiente (GIAMPIETRO; CERRETELLI; PIMENTEL, 1992).

Ressalta-se que a eficiência energética pode ser definida como uma maior quantidade de serviços realizada com o mesmo input energético, ou uma menor quantidade de input energético realizando os mesmos serviços (BANAEIAN; ZANGENEH, 2011).

Deve-se confiar em uma série de indicadores de maneira a estimar mudanças na eficiência. No geral, a eficiência energética, que se refere ao uso de menor quantidade de energia para produzir a mesma quantidade de serviços ou produto final (PATTERSON, 1996), pode ser definida como a relação entre a quantidade de energia produzida por um sistema e a quantidade de energia utilizada para produzir esta mesma (relação *output/input*) (AGOSTINHO; ORTEGA, 2012).

A eficiência energética dos agroecossistemas pode ainda ser definida como um dos parâmetros mais consistentes para a sustentabilidade ambiental. Outros fatores, porém, também possuem importância para a avaliação adequada, como o uso de recursos não renováveis e outros danos ambientais que podem advir do processo agrícola (FERRARO JUNIOR, 1999). Portanto, a importância da avaliação da eficiência do uso da energia está na possibilidade de mensuração da capacidade do sistema em transformar um tipo de energia em outro.

Para a avaliação da eficiência do uso da energia em sistema de produção, utiliza-se os indicadores denominados EROI (*Energy Return Over Investment*), Balanço Energético (BE) e Energia Incorporada (EI).

O EROI é a proporção de energia produzida que é requerida para que ocorra o processo de produção da própria fonte energética. Esse se refere ao ganho líquido

de energia obtido através da energia requerida em um processo, e que também pode ser entendida como “rentabilidade energética” (SILVA; ROMANELLI; REICHARDT 2010).

É um indicador utilizado nas análises energéticas primárias. Para seu cálculo utiliza-se a demanda acumulada de energia ao longo do processo de produção, fornecendo um índice que determina a relação entre a energia obtida (energia contida no produto final) e a quantidade de energia não renovável requerida ao longo de todo o processo (CHERUBINI; STROMANN, 2011).

Por meio do cálculo do EROI, e da mensuração de sua variação ao longo do tempo, obtêm-se um bom indicativo de como a rentabilidade energética de um sistema ou processo está mudando. Portanto, em qualquer sistema de produção de energia, espera-se encontrar um valor de EROI acima de 1,0, caso contrário, estaria sendo usada maior quantidade de energia do que seria retornado, fato que comprovaria a baixa eficiência do sistema.

O balanço energético visa estabelecer os fluxos de energia, identificando a demanda total e eficiência, refletida pelo ganho líquido e pela relação saída/entrada de energia. A utilização do balanço energético pode ser considerada importante ferramenta no auxílio da determinação de novas técnicas e manejo agropecuário, podendo proporcionar economia de energia e aumento de sua eficiência, bem como redução de custos de produção (CAMPOS, Alessandro; CAMPOS, Aloísio, 2004).

Por fim, a Energia incorporada pode ser definida como a quantidade de energia adquirida ou comercial que é requerida direta e indiretamente pelo processo de produção de um bem ou serviço (BROWN; HERENDEEN, 1996; FRANZESE et al., 2009).

Para o seu cálculo, são seguidos basicamente duas etapas: a quantificação (em termos de massa, volume ou energia) de todos os insumos, e sua posterior associação com seus respectivos valores de energia incorporada, que por sua vez representam toda a energia comercial previamente utilizada em seus processos de produção (AGOSTINHO; PEREIRA, 2013).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização do cenário

A pesquisa foi conduzida em 03 (três) áreas que caracterizam o cenário da cadeia produtiva de suínos na região oeste do Estado do Paraná, sendo: Sistema de Produção de Grãos (SPG); Fábrica de Ração (FR); e Sistema de Criação de Suínos (SCS).

O SPG está localizado no Município de Tupãssi/PR (Figura 6), Latitude $24^{\circ}34'29.28''$ S e Longitude $53^{\circ}31'35.95''$, com 32,67 ha de área e altitude de 540 m. O SCS está localizado no Município de Toledo/PR (Figura 7), Latitude $24^{\circ}42'16.08''$ S e $53^{\circ}48'47.08''$ O, com 4,84 ha de área e altitude de 485 m. A FR possui 17,70 ha de área e também está localizada em Toledo/PR – devido ao termo de confidencialidade não será divulgada sua localização.



Figura 6 – Sistema de Produção de Grãos localizado no Município de Tupãssi/PR.



Figura 7 – Sistema de Criação de Suínos localizado no Município de Toledo/PR.

Ambas as propriedades rurais se situam em solo classificado como Latossolo Vermelho Eutroférico (SOARES et al., 2007). O clima é quente e temperado. A classificação do clima é Cfa de acordo com a Köppen e Geiger. A temperatura média na região é de 19.4 °C. Existe uma pluviosidade significativa ao longo do ano, sendo a média anual de 1599 mm para Tupãssi/PR e de 1483 mm para Toledo/PR.

O SPG utiliza em sua totalidade, ao longo dos últimos 20 (vinte) anos, o sistema de plantio direto de sucessão de culturas. A predominância de cultivares precoces, semiprecoces e superprecoce inscritas no Registro Nacional de Cultivares, é mais comumente cultivada naquela região.

A FR é caracterizada pelo desenvolvimento de núcleos, premixes e especialidades para os segmentos de suínos e gado leiteiro e de corte. O processo produtivo se inicia pelo recebimento das matérias primas (MPs) proveniente da produção de soja e milho na região, que é armazenada de acordo com suas características em silos.

Em seguida, são transferidas entre os armazéns e abastecem a moega. Após abastecimento da moega, as MPs passam por uma peneira rotativa para limpeza de impurezas metálicas. Após a passagem pela peneira rotativa são transportadas por elevador de canecas e rosca aos silos de armazenamento.

No misturador há o encontro de todas as matérias primas e a liberação para

o silo de ensaque e a granel. As etapas de produção têm uma pequena variação conforme o tipo de ração ou complexo vitamínico a ser elaborado. Sendo assim, o processo produtivo do empreendimento é dividido em 02 (duas) linhas de produção, que são: Linha 1 – Suínos; e Linha 2 – Bovinos.

O SCS é caracterizado pelo sistema criatório em confinamento do tipo de granja unidade de terminação. Possui Licença de Operação sob nº 104599-R1 concedida pelo Instituto Ambiental do Paraná (IAP) para a atividade específica de suinocultura.

É constituído por 03 (três) barracões construídos em blocos de concreto pré-moldados perfazendo o total de 1.350 m² de área interna das instalações, com capacidade para alojar 1.200 suínos. O telhado é construído de telhas de cimento amianto, suportada por pilares de concreto, com estrutura de cobertura em tesouras de madeira e beiral de 0,7 m.

Os suínos dão entrada nos barracões em média de 50 a 70 dias de vida ou com peso entre 18 a 25 kg, e após engorda, que dura aproximadamente 100 dias, são destinados para abate com peso médio de 110 kg.

A ração é fornecida a granel pela integradora de acordo com a fase de criação, sendo: alojamento (até 20 dias), crescimento (entre 10 e 55 dias), terminação (entre 55 e 86 dias) e final (depois de 85 dias). A ração permanece armazenada em 03 (três) silos com capacidade para 09 (nove) toneladas sendo encaminhada aos animais por meio de cocho automático.

O abastecimento de água nos barracões é proveniente de uma nascente localizada no próprio empreendimento. O sistema de fornecimento de água aos suínos é feito por meio de bebedouros tipo chupeta, sem regulagem de altura. Há um bebedouro para cada 10 suínos.

O efluente gerado nos barracões é manejado na forma líquida e conduzidos por canaletas subterrâneas de tubos de PVC 200 mm e 300 mm com caixa de passagem até o sistema de tratamento, a fim de não receber águas pluviais que promoveriam o aumento do volume do efluente.

O sistema utilizado para o tratamento do efluente é composto por 02 (duas) unidades de armazenamento do tipo lagoa anaeróbia, que operam em série, os quais foram dimensionadas para atender a vazão de 8,4 m³ dia⁻¹ de efluente.

3.2. Descrição do conjunto de operações no SPG

O experimento foi conduzido entre os meses de janeiro de 2016 e fevereiro de 2019. A pesquisa foi realizada em uma área cultivada com Soja SYN1059 e SYN1257 resistente à Roundup® (RR) e Milho DKB 285 PRO 2, no sistema de preparo reduzido do solo, fazendo-se uma análise do processo produtivo e os insumos de produção energética, destinada a quantificar todas as operações realizadas.

Os dados técnicos de produção no cenário são oriundos da prática realizada na propriedade, embasadas em recomendações técnicas feitas pelos profissionais da área de Engenharia Agrônômica da C. Vale – Cooperativa Agroindustrial.

Na cultura analisada assume-se que essas recomendações técnicas propiciam condições ideais de produção, e que, sendo atendidas tais recomendações, obtém-se uma produtividade na média regional.

A partir das exigências físicas dos fatores de produção utilizados, são consideradas como entradas no sistema, a mão-de-obra, combustíveis, máquinas e implementos, fertilizantes, sementes e defensivos agrícolas.

São tomados como saída do sistema em estudo apenas os grãos colhidos. Todas as operações e insumos envolvidos foram dimensionados para o uso por área (ha). O tempo foi determinado pelo ciclo natural da produção do cultivar, que vai desde o preparo do solo para a semeadura, até a completa maturação do grão e sua colheita. São considerados como intrínsecos ao sistema de produção, o solo, a cultura e os subsistema de invasoras, pragas e vetores de doenças.

A cada fluxo de material associou-se sua dimensão física, originando assim o quantitativo que foi multiplicado pelo respectivo índice de incorporação de energia sendo transformados em unidade de energia. Os dados convertidos a unidades energéticas foram considerados pelo seu tipo ou composição, quantificando a energia dos fluxos do sistema.

Para a determinação dos fluxos de energia do sistema de produção de grãos, foram consideradas as operações realizadas no sistema, que abrange: semeadura, pulverização e colheita.

Sendo assim, foram utilizados dados relativos ao maquinário e implementos, capacidade de campo operacional das operações mecanizadas e informações sobre o consumo operacional de combustível. Esses por sua vez, aliados à mão-de-obra utilizada nas operações e aos insumos e sua quantidade aplicada, obtida por meio da

dosagem de insumos recomendada por prescrição agrônômica, representam o Fluxo de Materiais

Por meio dos fluxos de materiais expressos por unidade de área (ha), foi realizada a estimativa do equivalente energético do sistema a fim de determinar a demanda de energia do sistema.

Foi sistematizada a mensuração de tempo demandado para cada operação agrícola em cada parcela, com isso foi levantado a capacidade de campo operacional para o total da área cultivada, com objetivo de determinar o índice das variáveis: mão de obra, sementes, fertilizantes, defensivos, máquinas e implementos, combustíveis e irrigação.

A constituição do conjunto de operações de produção do cultivar, foi caracterizada pelas operações agrícolas, que mostra a sequência de realização das operações desde o preparo do solo para semeadura até a operação de colheita dos grãos.

As operações envolvendo o consumo energético de máquinas e implementos foram divididas em três etapas, sendo elas: semeadura e adubação, aplicação de defensivos agrícolas e colheita.

3.2.1. Semeadura e adubação

Para instalação da cultura da soja, as sementes foram da variedade SYN1059 RR e SYN1257 RR de ciclo precoce na totalidade da área, com poder germinativo de 91%, conforme atestado pelo fabricante. Para instalação da cultura do milho, as sementes foram da variedade Milho DKB 285 PRO 2 de ciclo superprecoce na totalidade da área, com poder germinativo de 93%, conforme atestado pelo fabricante.

Para a operação de semeadura das culturas, foi utilizada uma semeadora-adubadora de precisão acoplada a um trator agrícola. Empregou-se o sistema de disco de corte e haste para o rompimento do solo, juntamente com o sistema de distribuição do fertilizante e o processo de distribuição das sementes, a vácuo.

Para semeadura da cultura da soja, a semeadora foi regulada para que distribuísse 17 sementes por metro linear, com um espaçamento entre linhas de 0,50 m. Foi utilizada como adubação de base inserida no sulco de semeadura uma taxa fixa de 336,39 kg ha⁻¹ de fertilizante. A deposição da semente foi regulada para a profundidade de 0,03 m, enquanto o fertilizante mineral foi regulado a deposição a

profundidade de 0,06 m.

Para semeadura da cultura do milho, a semeadora foi regulada para que distribuísse 3,5 sementes por metro linear. Seguiu-se os mesmos espaçamentos entre linhas e profundidades de semente e adubo, conforme parágrafo supracitado. A adubação de base inserida no sulco de semeadura seguiu uma taxa fixa de 366,97, 336,39 e 321,10 kg ha⁻¹ de fertilizante, respectivamente, referentes aos anos de 2016, 2017 e 2018.

3.2.2. Aplicação de defensivos agrícolas

As culturas de soja e milho competem com outras culturas por água, luz e nutrientes, principalmente nos trinta primeiros dias após a emergência da planta. Após esse período crítico, apresentam um rápido desenvolvimento, o que por si só promove o controle das plantas invasoras (SOARES et al., 2007).

Durante o ciclo das culturas, as operações que englobam a aplicação de defensivos agrícolas, referem-se principalmente ao controle de insetos e pragas, como a lagarta, o percevejo, o pulgão e o ácaro, bem como a aplicação de fungicida para o controle preventivo da ferrugem asiática no estágio produtivo e reprodutivo da planta.

3.2.3. Colheita

Na operação de colheita, pode haver a perda de grãos, que, será pouco expressiva se alguns cuidados forem tomados na condução da cultura e na condução desta operação. Quanto às especificações de desempenho e qualidade do serviço de colheita, as máquinas operam a velocidades de 4,0 a 6,5 km h⁻¹ devido às restrições de relevo, todavia compatível com as recomendações de 3,0 a 7,0 km h⁻¹ para perdas inferiores a 60 kg ha⁻¹ proposto por Mesquita et al. (2001).

Sendo assim, conforme Planilha de Custos de Mecanização Agrícola da Fundação ABC (2018), foi adotado considerando a capacidade de campo operacional de 2,1 ha h⁻¹ (cultura do milho) e 2,5 ha h⁻¹ (cultura da soja). Evita-se assim, que haja perdas desnecessárias, uma vez que a maioria das perdas ocorre nos mecanismos de corte da plataforma.

Após a colheita, os grãos foram transportados ao silo secador da Cooperativa

em caminhão graneleiro com capacidade para 16.000 kg, onde foram pesados, em uma balança eletrônica com capacidade de carga de 100.000 kg com precisão de 10 kg, sofrendo os processos de secagem, limpeza, classificação e certificação das sementes, sendo então os grãos armazenados.

A produção das culturas analisadas foi determinada pela totalidade da colheita obtida, sendo dividida pela área do SPG para obter-se sua produtividade.

A produção em kg foi multiplicada pelo valor energético da semente em MJ kg⁻¹, para ser obtido o equivalente energético. O índice foi baseado em Pimentel (1980), o qual atribuiu às sementes o valor energético correspondente a energia fóssil aplicada em sua produção de 16,74 MJ kg⁻¹.

3.3. Fluxo de materiais no sistema de produção de grãos

As atividades que exigem consumo energético (*input*) na produção agrícola foram calculadas para as seguintes variáveis: mão de obra; sementes; fertilizantes; defensivos agrícolas; máquinas e implementos; e combustíveis e lubrificantes.

3.3.1. Mão de obra

A energia despendida pela mão de obra foi obtida pela Equação 1, a qual relaciona os dados da mão de obra, número de funcionários e a duração da jornada de trabalho, quantidade homem-hora em cada operação, desde o estabelecimento da cultura, manejo de fertilizantes e insumos, aplicação de defensivos, bem como a operação de colheita, por área, observando sempre o índice energético.

$$Em^{\circ} = \sum (H Im^{\circ}) \quad (1)$$

Em que:

Em° = consumo total de energia por hectare para a mão de obra, (MJ ha⁻¹);

H = período de tempo trabalhando em um hectare, (h ha⁻¹);

Im° = índice de gasto de energia, igual a 2,2 MJ h⁻¹.

O coeficiente energético utilizado para a mão de obra foi de 2,2 MJ h⁻¹ (SERRA et al., 1979).

3.3.2. Insumos agrícolas

3.3.2.1. Sementes

Para a determinação da energia referente ao material de propagação, que relaciona a quantidade de semente utilizada, com a energia contida no grão foi utilizado o índice energético adotado para conversão de massa das sementes em energia de 33,44 MJ kg⁻¹ (PIMENTEL, 1973; BUENO, 2002), o qual representa o dobro do custo energético do grão colhido – Equação 2.

$$Es = q ls \quad (2)$$

Em que:

Es = consumo total de energia por hectare para a semente, (MJ ha⁻¹);

q = quantidade de semente utilizada em um hectare, (kg ha⁻¹);

ls = índice de energia da semente, (MJ kg⁻¹).

3.3.2.2. Fertilizantes

A energia demandada pela taxa de aplicação de fertilizantes é fornecida por meio de recomendação técnica especificada, a taxa de aplicação (volume, massa, unidade) por área obtida diretamente. Multiplicando-se cada insumo aplicado pelo seu respectivo valor energético, obtém-se a contribuição de cada insumo a entrada de energia na matriz energética. O valor da energia contido no insumo é em função da quantidade de energia acumulada para sua extração e processamento industrial do nutriente do fertilizante produzido.

Para a estimativa do dispêndio energético com os fertilizantes (Equação 3), foram considerados os coeficientes: 62,49 MJ kg⁻¹ de N (FELIPE JR., 1984); 9,63 MJ kg⁻¹ de P₂O₅ (LOCKERETZ, 1980) e 9,17 MJ kg⁻¹ de K₂O (COX; HARTHINS, 1979; PELLIZZI, 1992).

$$E_f = q_i l_c \quad (3)$$

Em que:

E_f = consumo total de energia por hectare para os fertilizantes, (MJ ha^{-1});

q_i = quantidade do insumo utilizado em um hectare, (kg ha^{-1});

l_c = índice de energia, (MJ kg^{-1}).

Para a determinação dos consumos energéticos com fertilizantes foi considerada a dosagem conforme dados da propriedade e a respectiva formulação do produto, sendo para a cultura da soja o adubo 02-20-18 Topmix – Yara e para a cultura do milho o adubo 08-20-20 – Yara, utilizado em 2016 e o adubo 10-15-15 Topmix – Yara em 2017 e 2018.

3.3.2.3. Defensivos agrícolas

Para a verificação da energia proveniente dos defensivos agrícolas considerou-se o volume do insumo e o respectivo coeficiente energético (Equação 4). Assim sendo, para herbicida (glifosato), foi utilizado o coeficiente energético de $454,20 \text{ MJ kg}^{-1}$ adotado por Fluck e Baird (1980). Ainda, utilizar-se-ão os valores energéticos dos defensivos recomendados por Pimentel (1980), $364,15 \text{ MJ L}^{-1}$ para fungicidas e $92,18 \text{ MJ L}^{-1}$ para inseticidas.

$$E_d = V l_{ed} \quad (4)$$

Em que:

E_d = consumo total de energia por hectare para os defensivos, (MJ ha^{-1});

V = volume do insumo utilizado em um hectare, (L ha^{-1});

l_{ed} = índice energético dos defensivos, (MJ L^{-1}).

3.3.3. Máquinas e implementos

Para a determinação da energia demandada por unidade de área nas

máquinas e implementos foi empregado o método da depreciação material proposto por Romanelli e Milan (2010), em que é relacionada a energia com a capacidade de campo operacional que desempenham nas operações mecanizadas, conforme Equação 5.

$$Dme = \frac{M DEE}{Vu CcO} \quad (5)$$

Em que:

Dme = energia despendida pela depreciação energética de máquinas e implementos, ($MJ ha^{-1}$);

M = massa de máquinas e implementos, (kg);

DEE = demanda específica de energia para máquinas e implementos, ($MJ kg^{-1}$);

Vu = vida útil de máquinas e implementos, (h);

CcO = capacidade de campo operacional, ($ha h^{-1}$).

De acordo com Ulbanere (1988) a demanda específica dos dados da frota se diferenciam entre tratores e colhedoras, apenas pôr os mesmos dependerem da própria força automotriz, o que não ocorre com implementos montados ou de arrasto. Sendo assim, a demanda de energia para serem fabricadas máquinas motoras é de $68,86 MJ kg^{-1}$, enquanto para os outros equipamentos movidos, o valor é de $57,22 MJ kg^{-1}$.

3.3.4. Combustível e lubrificantes

Para a determinação do consumo horário de combustível no conjunto motomecanizado, será levado em consideração o volume de combustível demandado em cada operação. Os gastos referentes ao combustível serão contabilizados por área, incluindo todos os tratos culturais, que vão desde a adubação, semeadura, aplicação de defensivos, operações realizadas com o trato, até a operação de colheita do grão. Assim sendo, utilizar-se-á a Equação 6 para determinação da energia despendida pelo combustível.

$$E_c = V P_{cc} \quad (6)$$

Em que:

E_c = consumo total de energia por hectare para os combustíveis, (MJ ha^{-1});

V = volume de combustível utilizado por área, (L ha^{-1});

P_{cc} = poder calorífico do combustível, (MJ L^{-1}).

Utilizaram-se os valores do poder calorífico do combustível, conforme Balanço Energético Nacional (2017), correspondente a $35,50 \text{ MJ L}^{-1}$, $36,43 \text{ MJ L}^{-1}$, e $33,49 \text{ MJ L}^{-1}$, respectivamente, para o óleo diesel, lubrificantes e graxas.

3.3.5. Fluxos de energia no SPG

Para cada um dos valores determinados por meio do Fluxo de Materiais foi atribuído seu respectivo conteúdo de energia. A associação desses valores resultou na demanda de energia do SPG.

3.3.5.1. Determinação da energia consumida

Com base nos fluxos de energia de mão de obra, sementes, fertilizantes, defensivos agrícolas, depreciação de máquinas e implementos, combustíveis e lubrificantes, determinou-se o fluxo de energia consumida (EC) do SPG, conforme Equação 7.

$$EC = Em^{\circ} + Es + Ef + Ed + Dme + Ec \quad (7)$$

Em que:

EC = energia consumida no sistema, (MJ ha^{-1});

Em° = energia despendida pela mão-de-obra empregada, (MJ ha^{-1});

Es = energia demandada para a produção das sementes, (MJ ha^{-1});

Ef = energia demandada para a fabricação de fertilizantes, (MJ ha^{-1});

Ed = energia demandada para a fabricação de defensivos, (MJ ha^{-1});

D_{me} = energia demandada para a fabricação das máquinas e implementos depreciados ao longo da vida útil, ($MJ\ ha^{-1}$);

E_c = energia demandada pelo consumo das máquinas, ($MJ\ ha^{-1}$);

3.3.5.2. Determinação da energia produzida

A produtividade da cultura foi obtida considerando a produção física dos grãos colhidos, dividindo-se pela área analisada ($kg\ ha^{-1}$). Considerou-se energia produzida (EP) (*outputs*), a produção de grãos obtida multiplicando pelo valor energético da cultura ($16,85\ MJ\ kg^{-1}$), conforme sugerido por Pimentel (1980), apresentado na Equação 8.

$$EP = Prod\ Ind \quad (8)$$

Em que:

EP = energia produzida no sistema, ($MJ\ ha^{-1}$);

Prod = produtividade da colheita obtida, ($kg\ ha^{-1}$);

Ind = valor energético correspondente, ($MJ\ kg^{-1}$).

3.3.5.3. Indicadores de eficiência energética

Com a utilização dos dados de demanda, disponibilização de energia, e produtividade das culturas, determinou-se os indicadores da eficiência energética: EROI (*energy return over investment*); e Balanço de energia. Por fim, ao associar a energia consumida com a produtividade das culturas, obteve-se a Energia incorporada.

3.3.5.4. Determinação da quantidade de energia gasta

Define-se EROI (*energy return over investment*) como a quantidade de energia que é gasta para se produzir uma determinada quantidade de energia (HALL, 2004). Refere-se ao quociente entre energia disponibilizada/demandada em um processo produtivo, podendo ser associado como lucratividade energética.

O índice que determinou o ganho líquido de energia que o SPG obteve durante seu processo de produção pela energia investida foi calculado conforme Equação 9.

$$EROI = \frac{EC}{EP} \quad (9)$$

Em que:

EROI = retorno em energia sobre energia investida, adimensional;

EC = energia consumida no sistema, (MJ ha⁻¹);

EP = energia produzida no sistema, (MJ ha⁻¹).

3.3.5.5. Balanço de energia

Define-se balanço de energia como atividade ou instrumento destinado a contabilizar as energias produzidas e as energias consumidas em determinado sistema de produção (BUENO; CAMPOS; CAMPOS, 2000).

O índice que mede essa relação é a diferença entre energia produzida no sistema (EP) (*output*) e a energia consumida no mesmo (EC) (*input*) – índice denominado balanço de energia (BE). O ganho líquido por área cultivada foi obtido por meio da Equação 10 (SIQUEIRA; GAMERO; BOLLER, 1999).

$$BE = EP - EC \quad (10)$$

Em que:

BE = balanço de energia, (MJ ha⁻¹);

EP = energia produzida no sistema, (MJ ha⁻¹);

EC = energia consumida no sistema, (MJ ha⁻¹).

3.3.5.6. Energia incorporada

A modernização da agricultura está vinculada a diversos fatores, dentre eles a intensificação de produtos obtidos com alto conteúdo energético. Este índice foi obtido relacionando uma energia incorporada por unidade de produto obtido – é a

energia contida nos insumos para a produção de um bem ou produto em (MJ), em relação à quantidade final de produto obtido em quilogramas (kg), conforme Equação 11 (ROMANELLI; RAUCCI, 2011).

$$EI = \frac{EC}{Prod} \quad (11)$$

Em que:

El = energia incorporada, (MJ kg⁻¹);

EC = energia consumida no sistema, (MJ ha⁻¹);

Prod = produtividade da colheita obtida, (kg ha⁻¹).

3.4. Fábrica de ração

3.4.1. Operações avaliadas

O levantamento dos dados referente à fábrica de ração foi realizado por meio da análise de documentos e reuniões com os responsáveis técnicos pelo funcionamento do sistema elétrico, assim como os responsáveis pelo setor administrativo, com relação à energia e a produtividade de ração, sendo disponibilizados o histórico das faturas de energia elétrica entre 01/2018 e 07/2018 e as respectivas quantidades mensais de produção de ração.

3.4.2. Fluxos de energia na FR

O valor determinado por meio do Fluxo de Material foi atribuído conforme seu respectivo conteúdo de energia. Assim sendo, a composição energética relativa ao consumo de energia elétrica foi realizada pelo consumo médio mensal do empreendimento, em kWh, no período avaliado, o qual se relacionou com o coeficiente energético de 3,60 MJ kWh⁻¹ (BEN, 2017) (Equação 12).

$$Ecr = Qe Cee \quad (12)$$

Em que:

Ecr = consumo total de energia por mês, ($MJ \text{ mês}^{-1}$);

Qe = quantidade de energia utilizada referente à produção física mensal de ração, ($KWh \text{ mês}^{-1}$);

Cee = coeficiente energético da energia, ($MJ KWh^{-1}$).

Com base no fluxo de energia, que para este sistema considerou-se apenas a energia elétrica, foi determinado o fluxo de energia consumida (EC) (*inputs*) da fábrica de ração, adaptado da Equação 7 (Equação 13).

$$ECr = Ecr \quad (13)$$

Em que:

ECr = energia consumida no sistema, ($MJ \text{ mês}^{-1}$);

Ecr = consumo total de energia por quantidade de ração fabricada, ($MJ \text{ mês}^{-1}$);

A energia produzida (EP) (*outputs*) foi obtida multiplicando a produção física de ração em kg pelo coeficiente energético de 17 MJ kg^{-1} , preconizado por OETTING (2002), adaptado da Equação 8 (Equação 14).

$$EPr = Qr Cer \quad (14)$$

Em que:

EPr = energia produzida no sistema, ($MJ \text{ mês}^{-1}$);

Qr = quantidade de ração fabricada mensalmente, ($kg \text{ mês}^{-1}$);

Cer = coeficiente energético da ração, ($MJ \text{ kg}^{-1}$).

Com a utilização dos dados de demanda, disponibilização de energia, e produtividade de ração, determinou-se os indicadores da eficiência energética. O retorno em energia sobre energia investida foi obtido por meio da divisão da ECr pela EPr , conforme Equação 15.

$$EROIr = \frac{ECr}{EPr} \quad (15)$$

Em que:

EROIr = retorno em energia sobre energia investida, adimensional;

ECr = energia consumida no sistema, (MJ mês⁻¹);

EPr = energia produzida no sistema, (MJ mês⁻¹).

O índice denominado balanço de energia (BE) foi obtido por meio da Equação 15. Já o índice de energia incorporada foi obtido relacionando uma energia incorporada por unidade de produto obtido, ou seja, é a energia contida no insumo para a produção de um bem ou produto em (MJ), em relação à quantidade final de produto obtido em quilogramas (kg), conforme Equação 16.

$$EIr = \frac{ECr}{Qr} \quad (15)$$

Em que:

EIr = energia incorporada, (MJ kg⁻¹);

ECr = energia consumida no sistema, (MJ mês⁻¹);

Qr = quantidade de ração fabricada mensalmente, (kg mês⁻¹).

$$BEr = EPr - ECr \quad (16)$$

Em que:

BEr = balanço de energia, (MJ mês⁻¹);

EPr = energia produzida no sistema, (MJ mês⁻¹);

ECr = energia consumida no sistema, (MJ mês⁻¹).

3.5. Sistema de Criação de Suínos

3.5.1. Operações avaliadas

A delimitação da pesquisa se deu pelas atividades relativas ao trato, ao manejo e engorda dos suínos para o abate, e ao tratamento do efluente gerado nos barracões. O experimento foi conduzido entre os meses de maio de 2017 e julho de 2018, avaliando dados de 04 (quatro) lotes ou ciclos, desde a chegada dos leitões até a saída para o abate.

Para a determinação dos fluxos de energia do sistema, foram consideradas as operações realizadas no SCS. Sendo assim, foram utilizados dados relativos aos seguintes itens: energia elétrica; ração; água; e insumos veterinários. Esses por sua vez, aliados à mão-de-obra utilizada nas operações diárias e às construções (barracões e sistema de estabilização de efluente), representam o Fluxo de Materiais.

Por meio dos fluxos de materiais expressos por unidade de área, realizou-se a estimativa do equivalente energético do sistema a fim de determinar a demanda de energia do sistema.

3.5.2. Fluxo de materiais no SCS

As atividades que exigem consumo energético (*input*) na produção de suínos foram calculadas para as seguintes variáveis: mão de obra; energia elétrica; ração; água; medicamentos; e construções.

3.5.3. Mão de obra

A energia despendida pela mão de obra foi obtida considerando energia advinda do trabalho realizado pelos funcionários efetivamente utilizada na produção de suínos, conforme Equação 17.

$$Ems^{\circ} = \sum (h Im^{\circ}) \quad (17)$$

Em que:

Ems° = consumo total de energia por lote para a mão de obra, (MJ lote⁻¹);

h = período de tempo trabalhando por lote, (h lote⁻¹);

Im° = índice de gasto de energia, igual a 2,02 MJ h⁻¹.

O coeficiente energético utilizado para a mão de obra foi de 2,2 MJ h⁻¹ (SERRA et al., 1979).

3.5.4. Insumos suinícolas

3.5.4.1. Ração

A energia referente à ração para suínos foi estimada por meio do coeficiente energético de 17 MJ Kg⁻¹, preconizado por Oetting (2002), relacionado com a quantidade média de ração consumida pelos suínos dos lotes acompanhados, conforme Equação 18.

$$Ers = qr Qer \quad (18)$$

Em que:

Ers = consumo total de energia proveniente da ração em um lote, (MJ lote⁻¹);

qr = quantidade de ração utilizada em um lote, (Kg lote⁻¹);

Qer = coeficiente energético da ração, (MJ Kg⁻¹).

3.5.4.2. Energia elétrica

A composição energética relativa ao consumo de energia elétrica foi realizada pelo consumo médio diário do SCS, em kWh, no período avaliado, o qual foi relacionado com o coeficiente energético de 3,60 MJ kWh⁻¹ (BEN, 2017) (Equação 19).

$$Ees = Qes Cee \quad (19)$$

Em que:

Ees = consumo total de energia proveniente do consumo de energia elétrica em um lote, (MJ lote⁻¹);

Qes = quantidade de energia elétrica utilizada em um lote, (KWh lote⁻¹);

Cee = coeficiente energético da energia, (MJ KWh⁻¹).

3.5.4.3. Água

A composição energética relativa ao consumo de água foi estimada por meio do coeficiente energético de 1,02 MJ kg⁻¹ (KHOSHNEVISAN; RAFIEE; OMID; MOUSAZADEH, 2013) de água consumida no SCS, conforme Equação 20.

$$Eas = Qas Ces \quad (20)$$

Em que:

Eas = consumo total de energia proveniente do consumo de água em um lote, (MJ lote⁻¹);

Qas = quantidade de energia elétrica utilizada em um lote, (KWh lote⁻¹);

Ces = coeficiente energético da água, (MJ KWh⁻¹).

3.5.4.4. Insumos veterinários

A energia despendida pelos insumos veterinários foi obtida considerando a Equação 21.

$$Eiv = Viv Ceiv \quad (21)$$

Em que:

Eiv = consumo total de energia por lote para os insumos veterinários, (MJ lote⁻¹);

Viv = volume do insumo veterinário utilizado em um lote, (L lote⁻¹);

$Ceiv$ = coeficiente energético dos insumos veterinários, (MJ L⁻¹).

Os coeficientes energéticos para insumos veterinários foram adaptados da metodologia utilizada por RAMOS et al. (2014), sendo: 4,44 MJ L⁻¹ para antibióticos; e 64,63 MJ L⁻¹ para medicamentos diversos.

3.5.4.5. Construções

A composição energética da construção dos barracões foi estimada de acordo com a área ocupada pelas instalações e o coeficiente energético estabelecido para instalações suinícolas de 956,03 MJ m⁻² (ANGONESE et al., 2006).

Para a composição energética das lagoas de estabilização do efluente foi considerado o coeficiente energético de 2,51 MJ m⁻³ de lagoa construída (SOUZA et al., 2009).

A Equação 22 representa a composição energética das construções existente no sistema.

$$Eco = (Ab Vb) + (Al Vl) \quad (22)$$

Em que:

Eco = consumo total de energia por lote para os defensivos, (MJ lote⁻¹);

Ab = área ocupada pelas instalações em um lote, (m² lote⁻¹);

Vb = valor energético estabelecido para instalações suinícolas, (MJ m⁻²);

Al = área ocupada pelas instalações em um lote, (m³ lote⁻¹);

Vl = valor energético estabelecido para lagoa construída, (MJ m⁻³);

3.5.5. Fluxos de energia no SCS

Para cada um dos valores determinados por meio do Fluxo de Materiais foi atribuído seu respectivo conteúdo de energia. A associação desses valores resultou na demanda de energia do sistema.

3.5.5.1. Determinação da energia consumida

Com base nos fluxos de energia de mão de obra, energia elétrica, ração, água,

insumos veterinários e composição energética das construções, foram determinados os fluxos de energia consumida do sistema, conforme Equação 23.

$$ECs = Ems^{\circ} + Ers + Ees + Eas + Eiv + Eco \quad (23)$$

Em que:

ECs = energia consumida no sistema, (MJ lote⁻¹);

Ems[°] = consumo total de energia por hectare para a mão de obra, (MJ lote⁻¹);

Ers = consumo total de energia proveniente da ração em um lote, (MJ lote⁻¹);

Ees = consumo total de energia proveniente do consumo de energia elétrica em um lote, (MJ lote⁻¹);

Eas = consumo total de energia proveniente do consumo de água em um lote, (MJ lote⁻¹);

Eiv = consumo total de energia por lote para os insumos veterinários, (MJ lote⁻¹);

Eco = consumo total de energia por lote para os defensivos, (MJ lote⁻¹).

3.5.5.2. Determinação da energia produzida

Foi considerada como energia produzida (*outputs*), aquela disponível na forma de suínos para o abate, assumindo 9,21 MJ kg⁻¹ de peso vivo (COMITRE, 1995; QUESADA et al., 1987).

$$EPs = Qs Ces \quad (24)$$

Em que:

EPs = energia produzida no sistema, (MJ lote⁻¹);

Qs = quantidade de suínos por lote, (kg lote⁻¹);

Ces = coeficiente energético do peso vivo do suíno, (MJ kg⁻¹).

3.5.5.3. Indicadores de eficiência energética

Com a utilização dos dados de demanda, disponibilização de energia, e produtividade de suínos, determinou-se os indicadores da eficiência energética: EROI

(*energy return over investment*); e Balanço de energia. Por fim, ao associar a energia consumida pelo sistema de criação de suínos, determinou-se a Energia incorporada.

3.5.5.3.1. Determinação da quantidade de energia gasta

Define-se EROI (*energy return over investment*) como a quantidade de energia que é gasta, para se produzir uma determinada quantidade de energia (HALL, 2004). Refere-se ao quociente entre energia disponibilizada/demandada em um processo produtivo, podendo ser associado como lucratividade energética. O índice para determinação do ganho líquido de energia que o sistema obteve durante seu processo de produção pela energia investida foi calculado conforme Equação 25.

$$EROIs = \frac{ECs}{EPs} \quad (25)$$

Em que:

EROIs = retorno em energia sobre energia investida, adimensional;

ECs = energia consumida no sistema, (MJ lote⁻¹);

EPs = energia produzida no sistema, (MJ lote⁻¹).

3.5.5.3.2. Balanço de energia

O balanço energético foi contabilizado por meio dos fluxos de energia no sistema, onde mensurou-se o valor energético em kg de suínos, identificando assim a energia produzida. Ademais, foi identificada a energia consumida, que é a demanda total de todas as energias gastas incorporadas no SCS, como: mão de obra; energia elétrica; ração; água; medicamentos; e construções.

O índice que mede essa relação é a diferença entre energia útil que é produzida no sistema (EPs) (*output*) e a energia cultural que é consumida no mesmo (ECs) (*input*) – índice denominado balanço de energia (BEs). O ganho líquido foi obtido por meio da adaptação da Equação 11 (SIQUEIRA; GAMERO; BOLLER, 1999), conforme Equação 26.

$$BEs = EPs - ECs \quad (26)$$

Em que:

BEs = balanço de energia, (MJ mês⁻¹);

EPs = energia produzida no sistema, (MJ lote⁻¹);

ECs = energia consumida no sistema, (MJ lote⁻¹).

3.5.5.3.3. Energia incorporada

Este índice foi obtido relacionando a energia incorporada por unidade de produto obtido – energia contida no sistema para a produção de um bem ou produto em (MJ), em relação à quantidade final de produto obtido em quilogramas (Kg), conforme adaptado da Equação 12 (ROMANELLI; RAUCCI, 2011), apresentado na Equação 27.

$$EIs = \frac{ECs}{Qr} \quad (27)$$

Em que:

EIs = energia incorporada, (MJ kg⁻¹);

ECs = energia consumida no sistema, (MJ lote⁻¹);

Qs = quantidade de suínos por lote, (kg lote⁻¹).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A construção da matriz energética da cadeia produtiva de suínos iniciou-se pela definição do período focado, detalhando-se os fluxos de materiais do SPG, FR e SCS.

As variáveis que compõe a matriz energética física foram transformadas em coeficientes energéticos, conforme a metodologia adotada, seguindo-se as orientações referentes às transformações de unidades multiplicadas pelos respectivos índices de energia.

A revisão bibliográfica considerou diversos estudos que focalizaram a abordagem de energia, que diz respeito a relação dos fluxos de energia, constituindo-se em parâmetros fundamentais ao analisar a eficiência e sustentabilidade da cadeia produtiva de suínos.

4.1. Fluxos de energia no SPG

Para os componentes energéticos do SPG, que diz respeito às culturas da soja e do milho, quantificou-se a energia diretamente consumida e a produzida utilizada nas variáveis previamente estabelecidas no sistema produtivo em estudo.

A Tabela 1 apresenta os dados de vida útil, da massa e da capacidade de campo operacional das máquinas e implementos utilizados na produção de soja e milho.

Tabela 1 – Informações das máquinas e implementos utilizados nas operações das culturas da soja e do milho

Máquina / Implemento	Operação	Massa (Kg)	Vida útil (horas) ¹	Uso anual (horas) ¹	CcO (ha h⁻¹) ¹
Trator	Semeadura e adubação	4.622	10.000	750	4,91
Pulverizador	Aplicação de defensivos agrícolas	8.667	10.000	480	18,08
Colhedora auto propelida de grãos	Colheita (milho)	10.597	4.500	480	2,1
Colhedora auto propelida de grãos	Colheita (soja)	9.400	4.500	480	2,5

Máquina / Implemento	Operação	Massa (Kg)	Vida útil (horas) ¹	Uso anual (horas) ¹	CcO (ha h⁻¹) ¹
Semeadora e adubadora de precisão	Semeadura e adubação	3.170	2.500	480	4,91

¹ Dados fornecidos pela Fundação ABC.

Nas operações agrícolas para a produção da cultura do milho, o tempo gasto com mão de obra foi de 4,7, 4,8 e 4,9 h ha⁻¹, divididos em todas as etapas do processo, respectivamente para as safras ano 2016, 2017 e 2018, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Informações sobre a mão de obra utilizada nas operações agrícolas da cultura do milho em 2016, 2017 e 2018

Operação	Nº de pessoas	Horas trabalhadas	Nº de operações	Total de horas
Lavagem / Manutenção / Revisão / Regulagem da Semeadora ¹	2	12	1	24
Semeadura ¹	3	30	1	90
Aplicação de defensivos agrícolas ²	1	3	3	9
Aplicação de defensivos agrícolas ³	1	3	4	12
Aplicação de defensivos agrícolas ⁴	1	3	5	15
Colheita ¹	1	31	1	31

Dados referentes as safras: ¹ 2016, 2017 e 2018; ² 2016; ³ 2017; e ⁴ 2018.

Nas operações agrícolas para a produção da cultura da soja, o tempo gasto com mão de obra foi de 12,1, 18,1 e 11,1 h ha⁻¹, divididos em todas as etapas do processo, respectivamente para as safras ano 2017, 2018 e 2019, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Informações sobre a mão de obra utilizada nas operações agrícolas da cultura da soja em 2017, 2018 e 2019

Operação	Nº de pessoas	Horas trabalhadas	Nº de operações	Total de horas
Capina ¹	3	80	1	240
Capina ²	4	112	1	448
Capina ³	2	112	1	224
Lavagem / Manutenção / Revisão / Regulagem da Semeadora ⁴	2	12	1	24
Semeadura ⁴	3	30	1	90
Aplicação de defensivos agrícolas ⁵	1	3	5	15
Aplicação de defensivos agrícolas ³	1	3	4	12
Colheita ⁴	1	26	1	26

Dados referentes as safras: ¹ 2017; ² 2018; ³ 2019; ⁴ 2017, 2018 e 2019; e ⁵ 2017 e 2018.

Foram realizadas medições contínuas dos fluxos de massa para um ciclo da cultura do milho nas safras de 2016, 2017 e 2018. Os componentes do fluxo de energia quantificaram a energia diretamente consumida utilizada nas variáveis previamente estabelecidas no sistema produtivo em estudo, conforme Tabela 4.

Tabela 4 – Insumos agrícolas utilizados na implantação e condução do milho na área experimental em 2016, 2017 e 2018

Descrição	Dosagem	Produtos Comerciais
Semente ¹	25,08 Kg ha ⁻¹	DKB 285 PRO
Semente ²	20,80 Kg ha ⁻¹	DKB 285 PRO
Semente ³	23,85 Kg ha ⁻¹	DKB 285 PRO
Fertilização ¹	366,97 Kg ha ⁻¹	Fertilizante 08 20 20 - YARA
Fertilização ²	336,39 Kg ha ⁻¹	Fertilizante 10 15 15 Topmix - YARA
Fertilização ³	321,10 Kg ha ⁻¹	Fertilizante 10 15 15 Topmix - YARA
Herbicida ¹	3,7 L ha ⁻¹	Roundup Transorb R, Select 240 EC e Zapp QI 620
Herbicida ²	4,89 L ha ⁻¹	Zapp QI 620 e Primóleo
Herbicida ³	6,12 L ha ⁻¹	Zapp QI 620, Roundup Transorb R, Primoleo e Nuquat
Inseticida ¹	0,12 L ha ⁻¹ e 1,53 Kg ha ⁻¹	Mustang 350 EC e Orthene 750 BR

Descrição	Dosagem	Produtos Comerciais
Inseticida ²	0,12 L ha ⁻¹	Engeo Pleno
Inseticida ³	0,61 L ha ⁻¹ e 1,07 Kg ha ⁻¹	Connect e Orthene 750 BR
Fungicida ¹	0,61 L ha ⁻¹	Priori Xtra e Tilt
Fungicida ²	0,7 L ha ⁻¹	Priori Xtra e Tilt
Fungicida ³	0,61 L ha ⁻¹	Priori Xtra e Tilt

Dados referentes as safras: ¹ 2016; ² 2017; e ³ 2018.

Os componentes do fluxo de energia correspondentes às medições contínuas dos fluxos de massa para um ciclo da cultura da soja nas safras de 2017, 2018 e 2019 estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Insumos agrícolas utilizados na implantação e condução da soja na área experimental em 2017, 2018 e 2019

Descrição	Dosagem	Produtos Comerciais
Semente ¹	42,05 Kg ha ⁻¹	SYN1059 RR
Semente ²	61,16 Kg ha ⁻¹	SYN1059 RR
Semente ³	64,98 Kg ha ⁻¹	SYN1257 RR
Fertilização ¹	36,39 Kg ha ⁻¹	02 20 18 Topmix - YARA
Fertilização ²	36,39 Kg ha ⁻¹	02 20 18 Topmix - YARA
Fertilização ³	36,39 Kg ha ⁻¹	02 20 18 Topmix - YARA
Herbicida ¹	7,19 L ha ⁻¹ 0,08 Kg ha ⁻¹	Zapp QI 620, Classic, DMA 806 BR, Gramocil e Select 240 EC
Herbicida ²	4,59 L ha ⁻¹ 0,09 Kg ha ⁻¹	Zapp QI 620, Classic e Select 240 EC
Herbicida ³	5,20 L ha ⁻¹	Roundup Transorb R e DMA 806 BR
Inseticida ¹	0,12 L ha ⁻¹ e 1,68 Kg ha ⁻¹	Ampligo, Assist, Orthene 750 BR, Talisman e Sombrero
Inseticida ²	0,86 L ha ⁻¹ e 2,39 Kg ha ⁻¹	Dimilin 80 WG, Ampligo, Assist e Orthene 750 BR
Inseticida ³	1,07 L ha ⁻¹ e 1,12 Kg ha ⁻¹	Dimilin 80 WG, Ampligo, Pirephos, Orthene 750 BR e Assist
Fungicida ¹	0,31 L ha ⁻¹ e 0,18 Kg ha ⁻¹	Aproach Prima e Elatus WG
Fungicida ²	0,61 L ha ⁻¹	Orkestra SC e Aproach Prima
Fungicida ³	2,14 L ha ⁻¹	Ativum EC, Aproach Prima e Status

Dados referentes as safras: ¹ 2017; ² 2018; e ³ 2019.

Nas demandas referentes ao combustível e lubrificantes utilizados na cultura do milho nas safras de 2016, 2017 e 2018, foram mensurados os volumes e relacionados por área, em cada operação descrita no conjunto de operações, que totalizada, conforme na Tabela 6.

Tabela 6 – Informações sobre os combustíveis e lubrificantes utilizados nas operações agrícolas da cultura do milho em 2016, 2017 e 2018

Operação	Produto	Dosagem
Lavagem / Manutenção / Revisão / Regulagem da Semeadora ¹	Graxa	0,06 Kg ha ⁻¹
Semeadura ¹	Lubrificante	0,15 L ha ⁻¹
	Óleo diesel	6,61 L ha ⁻¹
Aplicação de defensivos agrícolas ²	Óleo diesel	37,16 L ha ⁻¹
Aplicação de defensivos agrícolas ³	Óleo diesel	49,54 L ha ⁻¹
Aplicação de defensivos agrícolas ⁴	Óleo diesel	61,93 L ha ⁻¹
Colheita ²	Óleo diesel	63,03 L ha ⁻¹
Colheita ³	Óleo diesel	27,28 L ha ⁻¹
Colheita ⁴	Óleo diesel	57,61 L ha ⁻¹

Dados referentes as safras: ¹ 2017, 2018 e 2019; ² 2018; ³ 2019; ⁴ 2017, 2018 e 2019; e ⁵ 2017 e 2018.

As operações de aplicação de defensivos agrícolas e colheita são serviços terceirizados, sendo cobrado, respectivamente, 12,38 L ha⁻¹ para aplicação e 06 (seis) por cento da produção de grãos para a colheita.

Sendo assim, as dosagens de óleo diesel apresentados na Tabela 6 para a operação de aplicação de defensivos agrícolas remetem ao número de operações (Tabela 2) realizadas na área experimental.

Já as dosagens de óleo diesel referente a operação de colheita, também apresentada na Tabela 6, foram convertidos relacionando o preço da cultura do milho e do óleo diesel no mês da colheita.

As demandas referentes ao combustível e lubrificantes utilizados na cultura da soja nas safras de 2017, 2018 e 2019 estão apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Informações sobre os combustíveis e lubrificantes utilizados nas operações agrícolas da cultura da soja em 2017, 2018 e 2019

Operação	Produto	Dosagem
Lavagem / Manutenção / Revisão / Regulagem da Semeadora ¹	Graxa	0,06 Kg ha ⁻¹
Semeadura ¹	Lubrificante	0,15 L ha ⁻¹
	Óleo diesel	6,61 L ha ⁻¹
Aplicação de defensivos agrícolas ²	Óleo diesel	61,93 L ha ⁻¹
Aplicação de defensivos agrícolas ⁵	Óleo diesel	49,54 L ha ⁻¹
Colheita ³	Óleo diesel	105,74 L ha ⁻¹
Colheita ⁴	Óleo diesel	72,93 L ha ⁻¹
Colheita ⁵	Óleo diesel	35,36 L ha ⁻¹

Dados referentes as safras: ¹ 2017, 2018 e 2019; ² 2017 e 2018; ³ 2017; ⁴ 2018; e ⁵ 2019.

As dosagens de óleo diesel apresentados na Tabela 7 para a operação de aplicação de defensivos agrícolas remetem ao número de operações (Tabela 3) realizadas na área experimental.

Já as dosagens de óleo diesel referente a operação de colheita, também apresentada na Tabela 7, foram convertidos relacionando o preço da cultura da soja e do óleo diesel no mês da colheita.

Por fim, os componentes energéticos produzidos pelo SPG consideram a eficiência da produção física de grãos por área (ha). A produtividade referente às safras de 2016, 2017 e 2018 da cultura do milho, foram respectivamente de 90,89, 74,37 e 103,29 sacas ha⁻¹. Já a produtividade referente às safras de 2017, 2018 e 2019 da cultura da soja, foram respectivamente de 82,63, 63,17 e 27,66 sacas ha⁻¹.

Os resultados da determinação da energia consumida e da energia produzida referente às safras 2016, 2017 e 2018 da cultura do milho, são respectivamente apresentados na Tabela 8, Tabela 9 e Tabela 10.

Tabela 8 – Análise de energia do SPG para a safra 2016 da cultura do milho

Fluxo de material			Índice Energético	Fluxo de energia	%	
Insumo	Quantidade Unidade ha ⁻¹	Unidade				MJ unidade ⁻¹
			Mão de obra	4,7	h	2,2
Máquinas	23.886	Kg	68,86	87,00	0,84	
Equipamentos	3.170	Kg	57,22	14,78	0,14	
Combustível	106,80	L	35,50	3.791,40	36,80	
Graxa	0,06	L	33,49	2,01	0,02	
Lubrificante	0,15	L	36,43	5,46	0,05	
Semente	25,08	Kg	33,44	838,68	8,14	
Fertilizante	N	29,36	Kg	62,49	1.834,71	17,81
	P ₂ O ₅	73,39	Kg	9,63	706,75	6,86
	KCl	73,39	Kg	9,17	672,99	6,53
Herbicida	3,7	L / Kg	454,20	1.680,54	16,31	
Inseticida	1,65	L / Kg	364,15	600,85	5,83	
Fungicida	0,61	L / Kg	92,18	56,23	0,55	
Energia Consumida (EC)		MJ ha⁻¹	TOTAL	10.301,72	100	
Produtividade	5.453,21	Kg	16,74	91.286,74	100	
Energia Produzida (EP)		MJ ha⁻¹	TOTAL	91.286,74	100	

Tabela 9 – Análise de energia do SPG para a safra 2017 da cultura do milho

Fluxo de material			Índice Energético	Fluxo de energia	%	
Insumo	Quantidade Unidade ha ⁻¹	Unidade				MJ unidade ⁻¹
			Mão de obra	4,8	h	2,2
Máquinas	23.886	Kg	68,86	87,00	0,95	
Equipamentos	3.170	Kg	57,22	14,78	0,16	
Combustível	83,43	L	35,50	2.961,765	32,34	
Graxa	0,06	L	33,49	2,01	0,02	
Lubrificante	0,15	L	36,43	5,46	0,06	
Semente	20,80	Kg	33,44	695,55	7,60	
Fertilizante	N	33,64	Kg	62,49	2.102,16	22,96
	P ₂ O ₅	50,46	Kg	9,63	485,93	5,31
	KCl	50,46	Kg	9,17	462,72	5,05
Herbicida	4,89	L / Kg	454,20	2.221,04	24,25	

Fluxo de material			Índice Energético	Fluxo de energia	%
Insumo	Quantidade Unidade ha ⁻¹	Unidade			
			MJ unidade ⁻¹	MJ unidade ⁻¹	
Inseticida	0.12	L / Kg	364,15	43,70	0,48
Fungicida	0,7	L / Kg	92,18	64,53	0,70
Energia Consumida (EC)		MJ ha⁻¹	TOTAL	9157,20	100
Produtividade	4.462,02	Kg	16,74	74.694,21	100
Energia Produzida (EP)		MJ ha⁻¹	TOTAL	74.694,21	100

Tabela 10 – Análise de energia do SPG para a safra 2018 da cultura do milho

Fluxo de material			Índice Energético	Fluxo de energia	%	
Insumo	Quantidade Unidade ha ⁻¹	Unidade				
			MJ unidade ⁻¹	MJ unidade ⁻¹		
Mão de obra	4,9	h	2,2	10,78	0,09	
Máquinas	23.886	Kg	68,86	87,00	0,74	
Equipamentos	3.170	Kg	57,22	14,78	0,13	
Combustível	126,15	L	35,50	4.478,33	38,09	
Graxa	0,06	L	33,49	2,01	0,02	
Lubrificante	0,15	L	36,43	5,46	0,05	
Semente	23,85	Kg	33,44	797,54	6,78	
Fertilizante	N	32,11	Kg	62,49	2.006,55	17,07
	P ₂ O ₅	48,17	Kg	9,63	463,88	3,95
	KCl	48,17	Kg	9,17	441,72	3,76
Herbicida	6,12	L / Kg	454,20	2.779,70	23,65	
Inseticida	1,68	L / Kg	364,15	611,77	5,20	
Fungicida	0,61	L / Kg	92,18	56,23	0,48	
Energia Consumida (EC)		MJ ha⁻¹	TOTAL	11.755,76	100	
Produtividade	6.197,25	Kg	16,74	103.741,97	100	
Energia Produzida (EP)		MJ ha⁻¹	TOTAL	103.741,97	100	

Os resultados da determinação da energia consumida e da energia produzida referente às safras 2017, 2018 e 2019 da cultura da soja, são respectivamente apresentados na Tabela 11, Tabela 12 e Tabela 13.

Tabela 11 – Análise de energia do SPG para a safra 2017 da cultura da soja

Fluxo de material			Índice Energético	Fluxo de energia	%	
Insumo	Quantidade Unidade ha ⁻¹	Unidade				
			MJ unidade ⁻¹	MJ unidade ⁻¹		
Mão de obra	12,1	h	2,2	26,62	0,34	
Máquinas	22.689	Kg	68,86	67,32	0,57	
Equipamentos	3.170	Kg	57,22	14,78	0,13	
Combustível	174,28	L	35,50	6.186	42,73	
Graxa	0,06	L	33,49	2,01	0,02	
Lubrificante	0,15	L	36,43	5,46	0,05	
Semente	42,05	Kg	33,44	1.406,15	17,40	
Fertilizante	N	6,73	Kg	62,49	420,56	3,58
	P ₂ O ₅	67,28	Kg	9,63	647,91	5,51
	KCl	60,55	Kg	9,17	555,24	4,72
Herbicida	7,27	L / Kg	454,20	3.302,03	18,09	
Inseticida	1,80	L / Kg	364,15	655,47	6,38	
Fungicida	0,49	L / Kg	92,18	45,17	0,48	
Energia Consumida (EC)		MJ ha⁻¹	TOTAL	13.334,72	100	
Produtividade	4.957,80	Kg	16,72	82.894,42	100	
Energia Produzida (EP)		MJ ha⁻¹	TOTAL	82.894,42	100	

Tabela 12 – Análise de energia do SPG para a safra 2018 da cultura da soja

Fluxo de material			Índice Energético	Fluxo de energia	%	
Insumo	Quantidade Unidade ha ⁻¹	Unidade				
			MJ unidade ⁻¹	MJ unidade ⁻¹		
Mão de obra	18,1	h	2,2	26,62	0,20	
Máquinas	22.689	Kg	68,86	67,32	0,50	
Equipamentos	3.170	Kg	57,22	14,78	0,11	
Combustível	141,47	L	35,50	5.022,19	46,39	
Graxa	0,06	L	33,49	2,01	0,02	
Lubrificante	0,15	L	36,43	5,46	0,04	
Semente	61,16	Kg	33,44	2.045,19	10,55	
Fertilizante	N	6,73	Kg	62,49	420,56	3,15
	P ₂ O ₅	67,28	Kg	9,63	647,91	4,86
	KCl	60,55	Kg	9,17	555,24	4,16

Fluxo de material			Índice Energético	Fluxo de energia	%
Insumo	Quantidade Unidade ha ⁻¹	Unidade			
			MJ unidade ⁻¹	MJ unidade ⁻¹	
Herbicida	4,68	L / Kg	454,20	2.125,66	24,76
Inseticida	2,06	L / Kg	364,15	750,15	4,92
Fungicida	0,61	L / Kg	92,18	56,23	0,34
Energia Consumida (EC)		MJ ha⁻¹	TOTAL	11752,51	100
Produtividade	3.789,91	Kg	16,74	63.367,30	100
Energia Produzida (EP)		MJ ha⁻¹	TOTAL	63.367,30	100

Tabela 13 – Análise de energia do SPG para a safra 2019 da cultura da soja

Fluxo de material			Índice Energético	Fluxo de energia	%	
Insumo	Quantidade Unidade ha ⁻¹	Unidade				
			MJ unidade ⁻¹	MJ unidade ⁻¹		
Mão de obra	11,1	h	2,2	24,42	0,23	
Máquinas	22.689	Kg	68,86	67,32	0,64	
Equipamentos	3.170	Kg	57,22	14,78	0,14	
Combustível	91,51	L	35,50	3.248,61	30,89	
Graxa	0,06	L	33,49	2,01	0,02	
Lubrificante	0,15	L	36,43	5,46	0,05	
Semente	64,98	Kg	33,44	2.172,93	20,66	
Fertilizante	N	6,73	Kg	62,49	420,56	4,00
	P ₂ O ₅	67,28	Kg	9,63	647,91	6,16
	KCl	60,55	Kg	9,17	555,24	5,28
Herbicida	5,20	L / Kg	454,20	2.361,84	22,46	
Inseticida	2,19	L / Kg	364,15	797,49	7,58	
Fungicida	2,14	L / Kg	92,18	197,27	1,88	
Energia Consumida (EC)		MJ ha⁻¹	TOTAL	10.515,83	100	
Produtividade	1.659,63	Kg	16,74	27.749,01	100	
Energia Produzida (EP)		MJ ha⁻¹	TOTAL	27.749,01	100	

Por meio dos resultados obtidos, foi possível verificar uma grande variação entre os dados estimados e aqueles apresentados pelas publicações. Esta variação se torna ainda mais acentuada quando se compara o dispêndio energético.

Devido à importância do tema e do caráter individual de cálculo, por ser

também instrumental integrante de parte das composições energéticas dos balanços, a discussão dos mesmos foi apresentada em dois momentos: inicialmente, foram feitas discussões entre a apresentação da matriz energética calculada com dados de publicações sobre a produção de soja, e outro, comparando a matriz energética estudada com os resultados obtidos por Romanelli, Nardi e Saad (2012).

Como a cultura estudada apresenta algumas características próprias, no que tange a implantação e condução de sua produção, com diferenças significativas principalmente na resposta a utilização de insumos e conseqüentemente na produtividade obtida, com épocas de semeadura e regiões utilizadas distintas, serão apresentados os resultados, tanto de aspectos produtivos quanto energéticos, de forma comparativa.

A energia consumida pelo SPG, para às safras da cultura de milho ano 2016, 2017 e 2018 correspondem respectivamente a 10,30, 9,16 e 11,76 GJ ha⁻¹, com uma média de 10,40 GJ ha⁻¹ enquanto que sua energia produzida, determinada por meio dos grãos colhidos, respectivamente às safras, foi de 91,29, 74,69 e 103,74 GJ ha⁻¹, com uma média de 89,91 GJ ha⁻¹ por safra. Assim, o EROI resultante da média das energias consumidas e produzidas nas safras de milho foi de 0,12.

A energia consumida pelo SPG, para às safras da cultura de milho ano 2017, 2018 e 2019 correspondem respectivamente a 13,33, 11,75 e 10,52 GJ ha⁻¹, com uma média de 11,87 GJ ha⁻¹ enquanto que sua energia produzida, determinada por meio dos grãos colhidos, respectivamente às safras, foi de 82,89, 63,37 e 27,75 GJ ha⁻¹, com uma média de 58,00 GJ ha⁻¹ por safra. Assim, o EROI resultante da média das energias consumidas e produzidas nas safras de soja foi de 0,20.

Do ponto de vista energético, o balanço de energia que avalia a energia líquida, ou seja, a diferença entre a energia produzida e a energia consumida na produção resultante do SPG para a cultura do milho foi de 79,50 GJ ha⁻¹, e a energia incorporada dos grãos colhidos de 1,89 MJ kg⁻¹. Já para a cultura da soja foi 46,13 GJ ha⁻¹, e a energia incorporada dos grãos colhidos de 3,42 MJ kg⁻¹.

4.2. Fluxos de energia na FR

Para os componentes energéticos da FR, quantificou-se a energia diretamente consumida e a produzida utilizada nas variáveis previamente estabelecidas – histórico das faturas de energia elétrica entre 01/2018 e 07/2018 e as

respectivas quantidades mensais de produção de ração.

A energia consumida pela FR correspondente apenas ao consumo médio de energia elétrica ($352.179,13 \text{ kWh mês}^{-1}$) no empreendimento durante os meses supracitados é de $1.267.844,85 \text{ MJ mês}^{-1}$, enquanto que a energia produzida, determinada por meio da quantidade média de ração ($7.580.060,00 \text{ kg mês}^{-1}$) fabricada foi de $128.861.020,00 \text{ MJ mês}^{-1}$.

Assim, o EROI resultante da média das energias consumidas e produzidas na FR foi de 0,01. A diferença entre a energia produzida e a energia consumida na produção resultante da FR resultou em um BE de $127.593.175,10 \text{ MJ mês}^{-1}$. Já a energia incorporada da ração fabricada foi $0,17 \text{ MJ kg}^{-1}$.

4.3. Fluxos de energia no SCS

Para os componentes energéticos do SCS, quantificou-se a energia diretamente consumida e a produzida utilizada nas variáveis previamente estabelecidas no sistema produtivo em estudo.

Nas atividades relativas ao trato, ao manejo e engorda dos suínos para o abate, o tempo gasto com mão de obra foi de 1.076, 1.004, 940 e 1.004 h lote⁻¹, divididos em todas as etapas do processo, respectivamente para os lotes maio/2017 a agosto/2017, outubro/2017 a janeiro/2018, janeiro/2018 a abril/2018 e abril/2018 a julho/2018, conforme apresentado na Tabela 14.

Tabela 14 – Informações sobre a mão de obra utilizada nas atividades relativas ao trato, ao manejo e engorda dos suínos para o abate

Operação	Nº de pessoas	Horas trabalhadas	Dias	Total de horas
Lavagem do sistema de criação ¹	1	8	10	80
Recepção dos leitões ¹	4	8	1	32
Organização dos leitões (por massa) ¹	2	8	7	112
Limpeza do sistema de criação ²	1	8	45	360
Limpeza do sistema de criação ³	1	8	41	328
Limpeza do sistema de criação ⁴	1	8	37	296

Operação	Nº de pessoas	Horas trabalhadas	Dias	Total de horas
Limpeza do sistema de criação ⁵	1	8	41	328
Acompanhamento diário ²	1	4	105	420
Acompanhamento diário ³	1	4	95	380
Acompanhamento diário ⁴	1	4	87	348
Acompanhamento diário ⁵	1	4	95	380
Carregamento dos suínos ¹	6	4	3	72

Dados referentes aos lotes: ¹ todos os lotes; ² maio/2017 a agosto/2017; ³ outubro/2017 a janeiro/2018; ⁴ janeiro/2018 a abril/2018; e ⁵ abril/2018 a julho/2018.

Foram realizadas medições contínuas dos fluxos de massa para cada lote do sistema. Os componentes do fluxo de energia quantificaram a energia diretamente consumida utilizada nas variáveis previamente estabelecidas no sistema produtivo em estudo, conforme Tabela 15.

Tabela 15 – Insumos suinícolas utilizados nas atividades relativas ao trato, ao manejo e engorda dos suínos para o abate no

Descrição	Dosagem	Produtos Comerciais
Ração consumida ¹	262.160,00 Kg lote ⁻¹	Responsabilidade da empresa integradora
Ração consumida ²	241.954,00 Kg lote ⁻¹	Responsabilidade da empresa integradora
Ração consumida ³	208.482,00 Kg lote ⁻¹	Responsabilidade da empresa integradora
Ração consumida ⁴	239.480,00 Kg lote ⁻¹	Responsabilidade da empresa integradora
Energia elétrica ¹	1.733,00 kWh lote ⁻¹	Copel Distribuição S.A.
Energia elétrica ²	1.522,00 kWh lote ⁻¹	Copel Distribuição S.A.
Energia elétrica ³	1.682,00 kWh lote ⁻¹	Copel Distribuição S.A.
Energia elétrica ⁴	1.592,00 kWh lote ⁻¹	Copel Distribuição S.A.
Água consumida ¹	667,30 m ³ lote ⁻¹	Fonte abastecedora (nascente)
Água consumida ²	619,16 m ³ lote ⁻¹	Fonte abastecedora (nascente)
Água consumida ³	559,61 m ³ lote ⁻¹	Fonte abastecedora (nascente)
Água consumida ⁴	622,30 m ³ lote ⁻¹	Fonte abastecedora (nascente)
Antibiótico ¹	1,5 L lote ⁻¹	Maxflor, Borgal, Agrovit Plus, Gentamax, Pencivet Plus PPU e Excenel RTU
Demais medicamentos ¹	1,4 L lote ⁻¹	Vetflogin, Zelotril Plus e Analget

Descrição	Dosagem	Produtos Comerciais
Antibiótico ²	100,25 L / kg lote ⁻¹	Pencivet Plus PPU, Caliermutin 20, Kinetomax, Maxflor 40%, Doxiciclina 75% Solúvel, Lyncofarm 44% Solúvel, Lincomicina, Linco Spectin, Tiamulina 45% Solúvel, Doxiciclina 50% via Ração, Amoxicilina 50% Solúvel, Nuflor 2% e Excenel RTU
Demais medicamentos ²	0,9 L lote ⁻¹	Vetflogin, Zelotril Plus e Analget
Antibiótico ³	75,86 L / kg lote ⁻¹	Pencivet Plus PPU, Caliermutin 20, Kinetomax, Maxflor 40%, Doxiciclina 75% Solúvel, Lyncofarm 44% Solúvel, Lincomicina, Linco Spectin, Tiamulina 45% Solúvel, Doxiciclina 50% via Ração, Amoxicilina 50% Solúvel, Nuflor 2% e Excenel RTU
Demais medicamentos ³	6,9 L lote ⁻¹	Vetflogin, Zelotril Plus, Agespirin (Ácido Acetil Saliciclo) e Analget
Antibiótico ⁴	4,05 L lote ⁻¹	Maxflor 40%, Pencivet Plus PPU, Kinetomax, Borgal, Amoxicilina 50% Solúvel, Lyncofarm 44% Solúvel, Lincomicina e Excenel RTU
Demais medicamentos ⁴	4 L lote ⁻¹	Vetflogin, Zelotril Plus, Agespirin (Ácido Acetil Saliciclo) e Pradotectum
Efluente gerado ¹	849,29 m ³ lote ⁻¹	Sistema de tratamento de efluente
Efluente gerado ²	788,03 m ³ lote ⁻¹	Sistema de tratamento de efluente
Efluente gerado ³	712,23 m ³ lote ⁻¹	Sistema de tratamento de efluente
Efluente gerado ³	792,02 m ³ lote ⁻¹	Sistema de tratamento de efluente
Construções ⁵	1.350 m ² lote ⁻¹	Barracões

Os resultados da determinação da energia consumida e da energia produzida referente aos lotes de maio/2017 a agosto/2017, outubro/2017 a janeiro/2018, janeiro/2018 a abril/2018 e abril/2018 a julho/2018, são respectivamente apresentados na Tabela 16, Tabela 17, Tabela 18 e Tabela 19.

Tabela 16 – Análise de energia do SCS para o lote de maio/2017 a agosto/2017

Fluxo de material			Índice Energético	Fluxo de energia	%
Insumo	Quantidade Unidade ha ⁻¹	Unidade			
			MJ unidade ⁻¹	MJ unidade ⁻¹	
Mão de obra	1.076,00	h	2,20	2.367,20	0,04
Ração consumida	262.160,00	Kg	17,00	4.456.720,00	77,39
Energia elétrica	1.733,00	kWh	3,60	6.238,80	0,11
Água consumida	667,30	m ³	1,02	680,65	0,012
Antibiótico	1,50	L / kg	4,44	6,66	0,0001
Demais medicamentos	1,40	L	64,63	90,48	0,002
Efluente gerado	849,29	m ³	2,51	2.131,72	0,037
Construções	1.350,00	m ²	956,03	1.290.640,50	22,41
Energia Consumida (EC)		MJ lote⁻¹	TOTAL	5.758.876,01	100
Suínos vivos	Kg	Kg	9,21	1.200.799,80	100
Energia Produzida (EP)		MJ lote⁻¹	TOTAL	1.200.799,80	100

Tabela 17 – Análise de energia do SCS para o lote de outubro/2017 a janeiro/2018

Fluxo de material			Índice Energético	Fluxo de energia	%
Insumo	Quantidade Unidade ha ⁻¹	Unidade			
			MJ unidade ⁻¹	MJ unidade ⁻¹	
Mão de obra	1.004,00	h	2,20	2.208,80	0,04
Ração consumida	241.954,00	Kg	17,00	4.113.218,00	75,96
Energia elétrica	1.522,00	kWh	3,60	5.479,20	0,10
Água consumida	619,16	m ³	1,02	631,54	0,012
Antibiótico	100,25	L / kg	4,44	445,11	0,008
Demais medicamentos	0,90	L	64,63	58,17	0,001
Efluente gerado	788,03	m ³	2,51	1.977,96	0,037
Construções	1.350,00	m ²	956,03	1.290.640,50	23,836
Energia Consumida (EC)		MJ lote⁻¹	TOTAL	5.414.659,28	100
Suínos vivos	Kg	Kg	9,21	1.162.025,70	100
Energia Produzida (EP)		MJ lote⁻¹	TOTAL	1.162.025,70	100

Tabela 18 – Análise de energia do SCS para o lote de janeiro/2018 a abril/2018

Fluxo de material			Índice Energético	Fluxo de energia	%
Insumo	Quantidade Unidade ha ⁻¹	Unidade			
			MJ unidade ⁻¹	MJ unidade ⁻¹	
Mão de obra	940,00	h	2,20	2.068,00	0,04
Ração consumida	208.482,00	Kg	17,00	3.544.194,00	73,13
Energia elétrica	1.682,00	kWh	3,60	6.055,20	0,12
Água consumida	559,61	L	1,02	570,80	0,01
Antibiótico	75,86	L / kg	4,44	336,82	0,01
Demais medicamentos	6,90	L	64,63	445,95	0,04
Efluente gerado	712,23	m ³	2,51	1787,70	0,04
Construções	1.350,00	m ²	956,03	1.290.640,50	26,63
Energia Consumida (EC)		MJ lote⁻¹	TOTAL	4.846.098,96	100
Suínos vivos	112.170,00	Kg	9,21	1.033.085,70	100
Energia Produzida (EP)		MJ lote⁻¹	TOTAL	1.033.085,70	100

Tabela 19 – Análise de energia do SCS para o lote de abril/2018 a julho/2018

Fluxo de material			Índice Energético	Fluxo de energia	%
Insumo	Quantidade Unidade ha ⁻¹	Unidade			
			MJ unidade ⁻¹	MJ unidade ⁻¹	
Mão de obra	1.004,00	h	2,20	2208,8	0,04
Ração consumida	239.480,00	Kg	17,00	4071160	75,78
Energia elétrica	1.592,00	kWh	3,60	5731,2	0,11
Água consumida	622,30	L	1,02	634,746	0,01
Antibiótico	4,05	L / kg	4,44	17,982	0,0003
Demais medicamentos	4,00	L	64,63	258,52	0,005
Efluente gerado	792,02	m ³	2,51	1987,9702	0,037
Construções	1.350,00	m ²	956,03	1290640,5	24,02
Energia Consumida (EC)		MJ lote⁻¹	TOTAL	5372639,718	100
Suínos vivos	127.510,00	Kg	9,21	1174367,10	100
Energia Produzida (EP)		MJ lote⁻¹	TOTAL	1.174.367,10	100

A energia consumida pelo SCS referente aos lotes de maio/2017 a agosto/2017, outubro/2017 a janeiro/2018, janeiro/2018 a abril/2018 e abril/2018 a julho/2018, correspondem respectivamente a 5.758,87, 5.414,66, 4.846,10 e 5.372,64

GJ lote⁻¹, com uma média de 5.348,07 GJ lote⁻¹ enquanto que sua energia produzida, determinada por meio dos suínos vivos, respectivamente aos lotes, foi de 1.200,80, 1.162,03, 1.033,09 e 1.174,37 GJ lote⁻¹, com uma média de 1.142,57 GJ lote⁻¹ por safra.

Assim, o EROI resultante da média das energias consumidas e produzidas nos lotes de suínos foi de 4,68. A diferença entre a energia produzida e a energia consumida na produção resultante da FR resultou em um BE de -4.205,50 GJ lote⁻¹. Já a energia incorporada da ração fabricada foi 43,11 MJ kg¹.

5. CONCLUSÕES

Foi possível estimar a energia incorporada na cadeia produtiva de suínos na região oeste do Paraná utilizando os índices energéticos referentes aos fluxos de materiais que compõe o sistema.

O SPG e a FR resultaram em valores de EROI abaixo de 1 indicando retorno sobre a energia investida. O mesmo seguiu-se para os valores referentes ao BE, que representaram ganho líquido perante as operações realizadas nos sistemas.

A energia incorporada nos grãos colhidos resultou os valores de $3,42 \text{ MJ kg}^{-1}$ para a cultura da soja e de $1,89 \text{ MJ kg}^{-1}$ para a cultura do milho. Já a energia incorporada na ração fabricada foi de $0,17 \text{ MJ kg}^{-1}$ produzida.

O EROI resultante da média das energias consumidas e produzidas nos lotes de suínos foi de 4,68, indicando que não existiu retorno energético sobre a energia investida. A diferença entre a energia produzida e a energia consumida na produção resultante da SCS resultou em um BE de $-4.205,50 \text{ GJ lote}^{-1}$ e a energia incorporada da ração fabricada foi $43,11 \text{ MJ kg}^{-1}$.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGOSTINHO, F.; ORTEGA, E. Integrated food, energy and environmental services production as an alternative for small rural properties in Brazil. **Energy**, Oxford, v.37, n.1, p. 103-114, Jan. 2012.
- AGOSTINHO, F.; PEREIRA, L. Support area as na indicator of environmental load: Comparison between Embodied Energy, Ecological Footprint, and Emergy Accounting methods. **Ecological Indicators**, Amsterdam, v.24, p.494-503, Jan. 2013.
- ANGONESE, A. R.; CAMPOS, A. T.; ZACARKIM, C. E.; MATSUO, M. S.; CUNHA, F. Eficiência energética de sistema de produção de suínos com tratamento dos resíduos em biodigestor. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.3, p.745–750, 2006.
- ASSENHEIMER, A.; CAMPOS, A. T.; GONÇALVES JÚNIOR, A. C. Análise energética de sistemas produção de soja convencional e orgânica. **Ambiência**, v. 5, p. 443-455, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL (ABPA). **Relatório Anual: 2016**. Disponível em: <http://abpa-br.com.br/storage/files/versao_final_para_envio_digital_1925a_final_abpa_relatorio_anual_2016_portugues_web1.pdf>. Acesso em: 14 set. 2017.
- BORJESSON, P.I.I. Energy analysis of biomass production and transportation. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 11, n.4, p. 305-318, 1996.
- BOUSTEAD, I.; HANCOCK, G.F. Handbook of industrial energy analysis. **Ellis Horwood Publishers England**, 1979.
- BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTI). **Método da análise de despacho: Fatores de Emissão de CO2 pela geração de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional do Brasil – Ano base 2018**. Brasília, DF: MCTI, 2018.
- BROWN, M.T.; HERENDEEN, R.A. Embodied energy analysis and EMERGY analysis: a comparative view. **Ecological Economics**, Amsterdam, v.19, p. 219-235, Oct.,1996.
- BUENO, O.C. **Análise energética e eficiência cultural do milho em assentamento rural**. 2002. 146f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, São Paulo. Itaperá, SP, 2002.
- BUENO, O.C.; CAMPOS, A.T.; CAMPOS, A.T. Balanço de energia e contabilização da radiação global: simulação e comparativo. In: **AVANCES en Ingeniería Agrícola**. Buenos Aires: Editorial Facultad de Agronomía, 2000. p.477-482.

CAMARGO, T. F. de; ZANIN, A.; MAZZIONI, S.; DE MOURA, G; D; AFONSO, P. S. L. P. Sustainability indicators in the swine industry of the Brazilian State of Santa Catarina. **Environment, Development and Sustainability**, v.20, Suppl. 1, p.65-81, Dec. 2018.

CAMPOS, Alessandro T.; CAMPOS, Aloísio T. Balanços energéticos agropecuários: uma importante ferramenta como indicativo de sustentabilidade de agroecossistemas. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 1977-1985, nov./dez. 2004.

CAMPOS, A.T.; KLOSOWSK, E.S.; SOUZA, C.V.; ZANINI, A.; PRESTES, T.M.V. Análise energética da produção de soja em sistema de plantio direto. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v.2, n.2, p. 38-44, 2009.

CARMO, M. S. do; COMITRE, V. **Análise da rentabilidade de feijão para os pequenos agricultores a partir da tipificação dos seus sistemas de produção e de cultivo, safra da seca, município de Itararé, São Paulo, 1986**. São Paulo: Instituto de Economia Agrícola, 1988. 74p. (IEA. Relatório de Pesquisa, 23/88).

CHERUBINI, F.; BARGIGLI, S.; ULGIATI, S. Life cycle assessment of urban waste management: Energy performances and environmental impacts. The case of Rome, Italy. **Waste Management**, Oxford, v. 28, p. 2552-2564, 2008.

CHERUBINI, F.; STROMMAN, A.H. Life cycle assessment of bioenergy systems: State of the art and future challenges. **Bioresource Technology**, Essex, v.102, p. 437-451, 2011.

COMITRE, V. **Avaliação energética e aspectos econômicos da filière soja na região de Ribeirão Preto - SP**. 1993. 152f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola / Planejamento Agropecuário) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1993.

COMITRE, V. A questão energética e o padrão tecnológico da agricultura brasileira. **Informações Econômicas**, São Paulo, v.25, n.12, p.29-35, 1995.

CORTEZ, L.A.B.; LORA, E.E.S. GÓMEZ, E.O. Caracterização da biomassa. In: CORTEZ, L.A.B.; LORA, E.E.S. GÓMEZ, E.O. **Biomassa para energia**. Campinas: Ed. Unicamp, 2008. Cap. 2, p. 31-60.

COX, G.W.; HARTKINS, M.D. Energy costs of agriculture. **Agricultural Ecology**, Amsterdam, p.597-629, 1979.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço Energético Nacional (BEN) 2017**: Ano base 2016. Rio de Janeiro: EPE, 2017. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-46/topico-82/Relatorio_Final_BEN_2017.pdf>. Acesso em: 14 set. 2017.

FELIPE JR., G. Considerações sobre a evolução da indústria de fertilizantes nitrogenados. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1, 1984, Brasília. **Anais...** Brasília: EMBRAPA-DEP, 1984. p.21-71.

FERRARO JÚNIOR, L.A. **Proposição de método de avaliação de sistemas de produção e de sustentabilidade**. 1999. 132f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

FLUCK, R.C.; BAIRD, C.D. **Agricultural energetics**. Westport: AVI Publishers, 1980. 192 p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **The state of security and nutrition in the world**. Rome, 2018. Disponível em: <<http://www.fao.org/publications/sofi/en/>>. Acesso em: 12 jun. 2018.

FRANZESE, P.P.; RYDBERG, T.; RUSSO, G.F.; ULGIATI, S. Sustainable biomass production: A comparison between gross energy requirement and emergy synthesis methods. **Ecological Indicators**, Amsterdam, v.9, n.5, p. 959-970, Nov. 2009.

FUNDAÇÃO ABC. **Planilha de Custos de Mecanização Agrícola**. Castro, PR: Fundação ABC, abr. 2018. Disponível em: <fundacaoabc.org/wp-content/uploads/2018/05/2018-ABRIL.pdf>. Acesso em: 28 jan. 2019.

GIAMPIETRO, M.; CERRETELLI, G.; PIMENTEL, D. Energy analysis of agricultural ecosystem management: human return and sustainability. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 38, p. 219-244, 1992.

HALL, C.A.S. The myth of sustainability development – personal reflection on energy, its relation to neoclassical economics and Stanley Jevons. **Journal of Energy Resource Technology**, New York, v.126, n.2, p.85-89, Jun. 2004.

HERENDEEN, R.A. Energy analysis and EMERGY analysis-a comparison. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 178, p. 227-237, Nov. 2004.

HINRICHS, R.A.; KLEINBACH, M. **Energia e meio ambiente**. 3.ed. Tradução VICHI, F.M. e MELLO L.F. São Paulo: Cengage Learning, 2009. 543 p.

HINTERBERGER, F.; GILJUM, S.; HAMMER, M. **Material flow accounting and analysis (MFA)**. A valuable tool for analyses of society-nature interrelationships entry prepared for the internet encyclopedia of ecological economics, 2003. p. 1-19.

HOUSHYAR, E; WU, X.F.; CHEN, G.Q. Sustainability of wheat and maize production in the warm climate of southwestern Iran: An emergy analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 2246-2255, 2018.

INTERNATIONAL FEDERATION OF INSTITUTES FOR ADVANCED STUDIES (IFIAS). **Energy Analysis Workshop on Methodology and Conventions**. International Federation of Institutes for Advanced Study. Stockholm, Sweden: Nobel House, 1974. 89p.

KHOSHNEVISAN, B., RAFIEE, S., OMID, M., MOUSAZADEH, H. Applying data envelopment analysis approach to improve energy efficiency and reduce GHG (greenhouse gas) emission of wheat production. **Energy**, v. 58, p. 588-593, 2013.

LAL, R. World crop residues production and implications of its use as biofuel. **Environment International**, New York, v. 31, n.4, p.575-584, May, 2005.

LOCKERETZ, W. Energy inputs for nitrogen, phosphorus, and potash fertilizers. In: PIMENTEL, D. (Ed.). **Handbook of energy utilization in agriculture**. Boca Raton: CRC, 1980. p. 23-26.

MESQUITA, C.M.; ROESSING, A.C.; GAZZIERO, D.L.P. Consumo de energia e avaliação técnica-econômica de sistemas de produção de soja. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA, 2., 1981, Brasília. **Anais...** Londrina: Centro Nacional de Pesquisa de Soja/EMBRAPA, 1982. V.1, p.525-538.

MESQUITA, C. de M.; COSTA, N. P.; PEREIRA, J. E.; MAURINA, A. C.; ANDRADE, J. G. M. Caracterização da colheita mecanizada da soja no Paraná. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 21, n. 2, p. 197-205, maio 2001.

MUSANGO, J.K.; BRENT, A.C. A conceptual framework for energy technology sustainability assessment. **Energy for Sustainable Development**, Bangalore, v.15, p. 84-91, Mar. 2011.

ORTIZ-CAÑAVATE, J.; HERNANZ, J.L. Energy for biological systems. In: CIGR **Handbook of agricultural engineering**. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1999. chap.1, v.5. p 13-42.

OETTING, L.L. **Avaliação de diferentes marcadores para a determinação da digestibilidade e taxa de passagem do alimento em suínos**. 2002. 59 f. Dissertação (Mestrado em Energia Nuclear na Agricultura) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

PARANÁ. Secretaria de Estado da Agricultura e Abastecimento (SEAB). Departamento de Economia Rural (DERAL). **Valor Bruto da Produção Agropecuária – VBP**. Disponível em: www.agricultura.pr.gov.br. Acesso em: 12 set. 2017.

PARK, H.C.; HEO, E. The direct and indirect household energy requirements in the Republic of Korea from 1980 to 2000 – An input-output analysis. **Energy Policy**, Surrey, v.35, p. 2938-2851, 2007.

PELLIZZI, G. Use of energy and labour in Italian agriculture. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.52, n.2, p.111-119, 1992.

PATTERSON, M.G. What is energy efficiency? – Concepts, indicators and methodological issues. **Energy Policy**, Surrey, v. 24, n. 5, p. 377-390, May, 1996.

PIMENTEL, D. Energy inputs for the production formulation, packaging, and transport of various pesticides. In: PIMENTEL, D. (Ed.) **Handbook of energy utilization in agriculture**. Boca Raton: CRC Press, 1980. p. 45-48.

PIMENTEL, D. Energy flows in agricultural and natural ecosystems. In: WORKSHOP AGROECOLOGY, 1984. Paris. **Proceedings...** Paris: CIHEAM, 1984. p. 125-136.

PIMENTEL, D.; HURD, L. E.; BELLOTTI, A.C.; FORSTER, M. J.; OKA, I. N.; SHOLES, O.D.; WHITMAN, R.J. Food production and the energy crises. **Science**, Washington, DC, v. 182, n.4111, p. 443-449, Nov. 1973.

QUESADA, G. M.; BEBER, J. A. C.; SOUZA, S. P. Balanços energéticos uma proposta metodológica para o Rio Grande do Sul. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v.39, n.1, p.20-28, 1987.

RATHKE, G. W.; WIENHOLD, B.J.; WILHELM, W.W.; DIEPENBROCK, W. Tillage and rotation effect on corn–soybean energy balances in eastern Nebraska. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 97, n.1, p. 60-70, Nov. 2007.

RENEWABLE ENERGY POLICY NETWORK FOR THE 21ST CENTURY (REN21). **Renewables 2016 Global Status Report**. Paris: REN21, Secretariat, 2016. Disponível em: <https://www.ren21.net/reports/global-status-report/>. Acesso em: 13 jun. 2018.

ROMANELLI, T.L.; MILAN, M. Material flow determination through agricultural machinery management. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.67, n.4, p.375-383, 2010.

ROMANELLI, T.L.; RAUCCI, G.S. Biomassa de pastagens para a produção de energia. In.: PEDREIRA, C. G. S.; MOURA, J. C.; FARIA, V. P. (Eds.). **A empresa pecuária baseada em pastagens**. Piracicaba: FEALQ, 2011. p.159-187.

ROMANELLI, T.L.; NARDI, H.S.; SAAD, F.A. Material embodiment and energy flows as efficiency indicators of soybean (*Glycine max*) production in Brazil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.32, n.2, p.261-270, 2012.

ROPPA, L. A suinocultura na América Latina. In: CONGRESSO DE SUINOCULTURA DO MERCOSUL, 3., 2002, Foz do Iguaçu, PR. **Anais...** Foz do Iguaçu, PR, 2002. 342 p.

SERRA, G. E.; MOREIRA, J. R.; GOLDEMBERG, J.; HEEZEN, A. M. **Avaliação da energia investida na fase agrícola de algumas culturas**. São Paulo: Secretaria de Tecnologia Industrial, Ministério da Indústria e Comércio, 1979. 86p.

SILVA, A.N. da; ROMANELLI, T.L.; REICHARDT, K. Energy flow in castor bean (*Ricinus communis* L.) production systems. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.67, n.6, p. 737-742, 2010.

SIQUEIRA, R.; GAMERO, C.A.; BOLLER, W. Balanço de energia na implantação e manejo de plantas de cobertura do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.19, n.1, p. 80-89, 1999.

SOARES, L. H. de B.; MUNIZ, L.C.; FIGUEIREDO, R.S.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M.; URGUAGA, S.; MADARI, B.E.; MACHADO, P.L.O de A. **Balanço energético de um sistema integrado lavoura-pecuária no cerrado**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2007. 16p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 26).

SOUZA, C. V.; CAMPOS, A. T.; BUENO, O. C.; SILVA, E. B. Análise energética em sistema de produção de suínos com aproveitamento dos dejetos como biofertilizante em pastagem. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.29, n.4, p.547-557, 2009.

TVERBERG, G. E. Oil supply limits and the continuing financial crisis. **Energy**, v.37, n.1, p.27-34, 2012.

ULBANERE, R.C. **Análise dos balanços energético e econômico relativa à produção e perda de grãos de milho no Estado de São Paulo**. 1988. 127f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista. São Paulo, 1988.

UNITED NATIONS POPULATION FUND (UNFPA). **Population of the division department of economic and social affairs of the United Nations secretariat, world population prospects: 2018**. The 2010 revision. 2011. Disponível em: <<https://esa.un.org/unpd/wpp/DataQuery/>>. Acesso em: 28 jul. 2018.

ZANINI, A.; CAMPOS, A.T.; PRESTES, T.M.V.; DALMOLIN, M. de F. da S.; CAMPOS, A.T. de; KLOSOWSKI, E.S. Análise do consumo de energia na produção de silagem de milho em plantio direto. **Revista Acta Scientiarum Animal Sciences**, Maringá, v.25, n.2, p.249-253, 2003.

WIEDEMANN, S.; WATSON, K. **The low emission future of pork: A consequential life cycle assessment study of Australian pork production Project 4c-121**. Queensland, Austrália: Integrity Ag Services, 2018.