



**MATHEUS CAMPOS MATTIOLI**

**DEMANDA E ANÁLISE ENERGÉTICA EM  
INSTALAÇÕES DE FRANGO DE CORTE DO  
TIPO *DARKHOUSE***

**LAVRAS - MG**

**2016**

**MATHEUS CAMPOS MATTIOLI**

**DEMANDA E ANÁLISE ENERGÉTICA EM INSTALAÇÕES DE  
FRANGO DE CORTE DO TIPO *DARKHOUSE***

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia Agrícola, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Alessandro Torres Campos

Orientador

Prof. Dr. Alessandro Vieira Veloso

Prof. Dr. Tadayuki Yanagi Junior

Coorientadores

**LAVRAS - MG**

**2016**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Mattioli, Matheus Campos.

Demanda e análise energética em instalações de frango de corte do tipo *Darkhouse* / Matheus Campos Mattioli. – Lavras: UFLA, 2016.

93 p. : il.

Dissertação (mestrado acadêmico) – Universidade Federal de Lavras, 2016.

Orientador: Alessandro Torres Campos.

Bibliografia.

1. Sustentabilidade. 2. Análise energética. 3. Construções Rurais  
4. Instalações para aves. I. Universidade Federal de Lavras. II.  
Título.

**MATHEUS CAMPOS MATTIOLI**

**DEMANDA E ANÁLISE ENERGÉTICA EM INSTALAÇÕES DE  
FRANGO DE CORTE DO TIPO *DARKHOUSE***

**ENERGY DEMAND AND ANALYSIS IN BROILER CHICKEN  
DARKHOUSE INSTALLATIONS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia Agrícola, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 08 de setembro de 2016.

Prof. Dr. Vanderson Rabelo De Paula            IF SUL DE MINAS

Prof. Dr. Lucas Henrique Pedrozo Abreu        DEG - UFLA

Prof. Dr. Alessandro Torres Campos  
Orientador

Prof. Dr. Alessandro Vieira Veloso  
Prof. Dr. Tadayuki Yanagi Junior  
Coorientadores

**LAVRAS - MG**

**2016**

*A meu pai, João Batista Mattioli, minha mãe, Elaine Torres de Campos Mattioli  
e meu irmão, Cristiano Campos Mattioli,*

*DEDICO*

## AGRADECIMENTOS

À minha querida mãe, Elaine, por ter sempre se sacrificado por mim e que abdicou de tudo para que eu pudesse estar aqui hoje.

Ao meu pai, João, e meu irmão, Cristiano, por serem estas pessoas maravilhosas, meus grandes exemplos.

À minha companheira, Suellen, por fazer parte da minha história, sempre me apoiando e alegrando meus dias.

À Universidade Federal de Lavras, ao Departamento de Engenharia e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização do mestrado.

Aos professores e colegas, por toda a ajuda e os conhecimentos transmitidos.

Ao professor Alessandro Torres Campos, por ser meu orientador, amigo e mentor, ser meu exemplo de profissional e por sempre ter acreditado no meu potencial.

Ao amigo e coorientador, Alessandro Vieira Veloso, por sempre me incentivar e estar, em todos os momentos, à disposição para me auxiliar.

Ao CNPq, pelo auxílio financeiro, que possibilitou a realização do trabalho.

À Fapemig, pelo auxílio financeiro na condução do trabalho.

À Frangos Atalaia, por disponibilizar seus funcionários e suas instalações para a realização da pesquisa.

À Jacqueline, Victor Buono, Tony, entre outros colegas, pela ajuda na concretização deste trabalho.

À Helem, pelas instruções passadas e por todo auxílio durante o mestrado.

Aos professores Vanderson e Lucas Abreu, pelo aceite do convite e por suas importantes contribuições ao trabalho.

“Bem-aventurados os puros de coração, porque verão a face de Deus.”

Mateus 5, 1-12



## RESUMO GERAL

Os objetivos deste trabalho foram realizar a contabilização da energia necessária à implantação de um galpão de criação de frangos, tipologia *Darkhouse*, e avaliar o balanço energético de uma granja avícola em produção, com instalações desta mesma tipologia. Foram gastos um total de 9.931.775,26 MJ, com um coeficiente energético específico para cada metro quadrado deste tipo de estrutura de 3.678,43 MJ m<sup>-2</sup>. O material que mais demandou energia no processo construtivo foi a madeira, representando 72,16% do total, seguido pelo aço e o cimento, com 2,95 e 2,57%, respectivamente. Poucos estudos foram encontrados no que se refere à energia embutida em materiais e construções para criação de animais, principalmente em um sistema inserido recentemente no cenário brasileiro, desta forma o presente estudo visa incrementar a literatura no que tange às análises energéticas. Avaliou-se a sustentabilidade de uma granja comercial, por meio da análise energética, sendo também um sistema intensivo de criação de frangos de corte com instalações do tipo *Darkhouse* presente na região. Foram realizados os estudos dos fluxos de energia, saídas e entradas energéticas dentro da fronteira do sistema, eficiência energética e a quantidade de energia necessária para se produzir um quilograma de frango vivo. O total de energia que entra no sistema foi de 7.420.351,91 MJ e as saídas de 7.076.056,00 MJ, ao passo que o balanço de energia foi de -344.295,91 MJ, ou seja, trata-se de um sistema agroindustrial, importador de energia. A eficiência energética foi de 0,95 e a energia necessária para se produzir 1 kg de frango vivo foi de 37,55 MJ kg<sup>-1</sup>.

**Palavras-chave:** Energia. Construções rurais. Sustentabilidade. Instalações para aves. Biosistema. Avicultura de corte. Fluxos de energia.

## GENERAL ABSTRACT

The objectives of this work were to account for the energy necessary to implement a chicken rearing Darkhouse installation and evaluate the energetic balance of a poultry farm in production, with this type of installations. A total of 9,931,775.26 MJ, with a specific energy coefficient of 3,678.43 MJ for each square meter of this type of installation, were expended. The material to demand the most energy for the construction process was wood, representing 72.16% of the total, followed by steel and cement, with 2.95 and 2.57%, respectively. Few studies regarding the energy imbedded in materials and constructions for animal rearing were found, especially when concerning a system recently inserted into the Brazilian scenery. Thus, the present study aims at incrementing literature related to energy analyses. The sustainability of a commercial poultry farm was evaluated by energetic analysis, consisting of an intensive broiler chicken rearing system with Darkhouse installations present in the region. Studies on energy flow, energy output and input within the system frontier, energy efficiency and amount of energy necessary for producing one kilogram of live chicken were performed. The total energy that enters the system was of 7,420,351.91 MJ, and that exits the system was of 7,076,056.00 MJ, while the energy balance was -344,295.91 MJ, the activity shows like an agroindustrial system, an energy importer. Energy efficiency was 0.95 and the energy required to produce 1 kg of live chicken was 37.55 MJ kg<sup>-1</sup>.

**Keywords:** Energy. Livestock buildings and environment. Sustainability. Poultry installations. Broiler chicken. Energy flow.

## LISTA DE FIGURAS

### SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

#### ARTIGO 1

- Figura 1 - Planta baixa do galpão tipo *Darkhouse*. ..... 46
- Figura 2 - Esquema de corte longitudinal do galpão tipo *Darkhouse*. .....47
- Figura 3 - Esquemas de cortes transversais do galpão tipo *Darkhouse*. .....47

#### ARTIGO 2

- Figura 1 - Contribuição energética dos componentes analisados como forma de energia direta. ....79
- Figura 2 - Contribuição energética dos componentes analisados como forma de energia indireta. .... 81
- Figura 3 - Saídas de energia do sistema de produção de frangos de corte. ....82
- Figura 4 - Fluxograma do sistema de produção de frangos de corte criados em galpão tipologia *Darkhouse*. Frangos Atalaia – Cel. Xavier Chaves. .... 85

## LISTA DE TABELAS

### SEGUNDA PARTE – ARTIGOS

#### ARTIGO 1

- Tabela 1 - Quantidades e coeficientes energéticos dos principais materiais de construção, insumos e equipamento utilizado nas etapas de serviços preliminares e execução da obra. .... 48
- Tabela 2 - Quantidades dos principais elementos e equipamentos empregados nas instalações do galpão tipo *Darkhouse* e seus respectivos coeficientes energéticos. ....49
- Tabela 3 - Horas de trabalho de cada profissional para a construção do galpão tipo *Darkhouse* e o coeficiente energético referente ao trabalho humano. ....50
- Tabela 4- Quantidades e energia embutida nos principais materiais de construção, insumos e equipamentos utilizados nas etapas de serviços preliminares e execução. ....51
- Tabela 5 - Energia referente ao trabalho humano. ....52
- Tabela 6 - Quantidades e contribuições energéticas dos principais componentes automatizados e de climatização do galpão. ....56

#### ARTIGO 2

- Tabela 1 - Entradas de energia direta relativa a cada componente e seus respectivos coeficientes energéticos. ....73
- Tabela 2 - Entradas de energia indireta relativa às instalações, máquinas e equipamentos e seus respectivos coeficientes. ....74
- Tabela 3 - Entradas de energia direta e indireta no sistema de produção de frangos de corte expressos em MJ. ....77
- Tabela 4 - Saídas de energia do sistema de produção de frangos de corte expressos em MJ. ....82

Tabela 5 - Balanço de entradas e saídas de energia (MJ) totais envolvidos no sistema de produção de frangos de corte criados no sistema *Darkhouse*, durante um ciclo produtivo (56 dias), eficiência energética e energia necessária para se produzir 1 kg de frango vivo para o abate. ....84

## SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE .....	15
1 INTRODUÇÃO .....	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO .....	19
2.1 Panorama da avicultura atual, contextualização e importância .....	19
2.2 Custo energético das instalações.....	21
2.3 Balanço de energia.....	23
2.4 Análise energética como ferramenta de avaliação da sustentabilidade .....	25
2.5 Fronteiras do sistema.....	26
2.6 Pontos estranguladores ou de estrangulamento.....	27
2.7 Carência de dados na literatura .....	28
2.8 Energia do trabalho humano.....	29
2.9 Eficiência energética .....	30
3 CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	33
REFERÊNCIAS .....	35
SEGUNDA PARTE – ARTIGOS.....	39
ARTIGO 1 DEMANDA ENERGÉTICA na CONSTRUÇÃO DE GALPÃO para FRANGOS DE CORTE MODELO <i>DARKHOUSE</i> .....	39
1 INTRODUÇÃO .....	43
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	45
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51
4 CONCLUSÕES .....	59
REFERÊNCIAS .....	61
ARTIGO 2 BALANÇO DE ENERGIA EM SISTEMA DE PRODUÇÃO DE FRANGOS DE CORTE COM INSTALAÇÃO DO TIPO <i>DARKHOUSE</i> .....	65
1 INTRODUÇÃO .....	69
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	71
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	77
4 CONCLUSÕES .....	87
REFERÊNCIAS .....	89
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	93

## PRIMEIRA PARTE

### 1 INTRODUÇÃO

A temática sustentabilidade vem sendo, cada vez mais, evidenciada nos diversos ramos da ciência, bem como nos programas governamentais relacionados ao meio ambiente e à agropecuária. Dando enfoque ao uso racional dos recursos naturais e produção agrícola, buscando o menor impacto ambiental sem que, para isso, acarrete prejuízos ao volume de produção, além de se considerar os impactos positivos nos âmbitos econômico, energético, social, político e cultural destas práticas.

Com o avanço da tecnologia e da ciência aplicada à produção de animais, a criação de aves se consolida como uma importante atividade para o fornecimento de proteína animal, com destaque para a produção de frangos de corte, que nas últimas décadas, apresentou significativo crescimento (DAMASCENO et al., 2010).

Conforme dados históricos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2016), pôde-se observar um aumento do número de aves abatidas de 2005 para 2015 na ordem de 59%, referente ao trimestre abril-junho dos respectivos anos, evidenciando que a atividade passa por intensa expansão, impulsionada principalmente pelos preços elevados da carne bovina.

Dentre os modelos de criação de frangos de corte, destacam-se os sistemas automatizados, dentre eles, os sistemas de produção em galpões do tipo *Darkhouse*, que são extremamente dependentes de energia para o preciso funcionamento da atividade, não somente pela necessidade fisiológica dos animais jovens a uma fonte de calor proveniente do meio de criação (FUNCK; FONSECA, 2008), quanto à necessidade de resfriamento do ambiente à medida que avança os estádios de crescimento das aves (DAMASCENO et al., 2010),

podendo ocorrer expressivas perdas caso falhe o abastecimento de energia do sistema.

Um importante instrumento utilizado para avaliação da energia em sistemas agrícolas provém da análise energética, onde todos os insumos de produção, bem como produtos, são convertidos em unidades de energia, de forma a fornecer subsídios para o estudo dos fluxos, distribuição e eficiência de conversão da energia pelo sistema (SOUZA et al., 2009).

No Brasil, poucos pesquisadores utilizam da metodologia de análise energética como forma de avaliação dos sistemas agrícolas e de criação de animais, dificultando sobremaneira a evolução das análises, no que se diz respeito à proposição de novos coeficientes, à padronização e maior acurácia da metodologia, bem como a atração de pesquisas sobre a sustentabilidade mediante a rubrica energética (CAMPOS; CAMPOS, 2004).

No contexto brasileiro e mundial, em termos energéticos na agropecuária, historicamente o enfoque tem sido dado à “procura” de culturas com potencial energético (PIMENTEL, 1980) e fontes alternativas de energia (VELOSO, 2014), a exemplo do biogás. Assim, pouca atenção tem sido dada à análise energética como instrumental para a avaliação da sustentabilidade da atividade avícola, que é extremamente dependente de energia (SANTOS; LUCAS JUNIOR, 2004).

A sustentabilidade dos agroecossistemas, segundo Furlaneto et al. (2014), pode ser representada pelo somatório de medidas que englobem aspectos econômicos, ambientais e sociais caracterizados pelos investimentos indiretos e diretos de energia na cultura, de forma a avaliar a viabilidade da exploração avícola ao longo do tempo, destacando ainda que a otimização do manejo é o principal fator de sucesso da atividade.

Objetivou-se, com o presente trabalho, realizar uma avaliação da sustentabilidade de um bioecossistema agropecuário por meio da análise energética



de uma granja comercial de frangos de corte, criados em dois galpões com tipologia *Darkhouse*, além de estimar a quantidade de energia necessária à construção de um galpão aviário automatizado.



## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

Em decorrência da importância da avicultura de corte observada no Brasil e no mundo, aliada à alta dependência dos sistemas produtivos em energia, faz-se necessária a avaliação da sustentabilidade da atividade por meio da quantificação e eficiência da utilização de energia, no que se refere a converter insumos em produtos.

O presente referencial teórico aborda o Panorama da avicultura atual, contextualizando e destacando sua importância, o custo energético de instalações agropecuárias, balanço de energia, a análise energética como ferramenta de avaliação da sustentabilidade, fronteiras do sistema, pontos estranguladores ou de estrangulamento, escassez de dados na literatura, principalmente brasileira, energia do trabalho humano e eficiência energética.

### **2.1 Panorama da avicultura atual, contextualização e importância**

A domesticação e criação de aves com o intuito de fornecer carne e ovos ao homem precede ao início da civilização, coincidindo com o centro de origem do frango (*Gallus gallus gallus*) no sudeste asiático e China, de onde a espécie foi disseminada por todo o continente, sendo levada ao Japão por duas rotas distintas. Sítios arqueológicos descobertos no nordeste da China remontam da era neolítica e pesquisadores sugerem que as penas das aves eram usadas para adornos relacionados ao lazer e religião. Séculos depois, com a expansão romana, a criação de frangos teve acentuada disseminação pelo mundo e por toda a Europa, que por sua vez, durante o período das navegações, trouxeram consigo as aves para o continente americano (RODRIGUES; QUEIROZ; DUARTE, 2006).

No Brasil, somente a partir de 1930, a criação de frangos deixou de ser uma atividade exclusiva de subsistência, mas também como fonte de renda. Desde então, a avicultura vem se desenvolvendo e, nas últimas décadas,

alcançou posição de destaque no agronegócio do Brasil e do mundo, sendo que grande parte deste sucesso se deve aos avanços em genética, instalações, sanidade, manejo e nutrição (CAETANO et al., 2015).

O Brasil é o terceiro maior produtor de carne de frango do mundo, produziu 12,691 milhões de toneladas em 2014, muito próximo à China (segundo lugar), com 13,000 milhões de toneladas, e em primeiro lugar estão os Estados Unidos da América (EUA) com um total de 17,254 milhões de toneladas. Da produção total brasileira, 67,7% atendem ao mercado interno, sendo o estado do Paraná o maior produtor, 32,26%, e Minas Gerais o quinto maior produtor de frangos, 7,12% (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL - ABPA, 2015).

As perspectivas para a pecuária no ano de 2016 de acordo com a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil são favoráveis ao setor de aves, tanto para o mercado interno quanto externo, devido ao aumento dos preços da carne bovina, incentivando a busca de proteínas de menor custo como a carne do frango. Destacam ainda que o custo operacional para o estado de Minas Gerais aumentou em 10,38% de janeiro a novembro de 2015, bem como 18,78% no preço de combustíveis e em 20,22% no custo da maravalha, que é utilizada como material de cama (ZEN et al., 2016).

O sistema utilizado na produção de frangos é o principal aspecto que deve se levar em conta antes de iniciar a atividade, pois tem efeito direto em termos de conforto térmico, ambiência, saúde e eficiência produtiva. Existem diversas tipologias construtivas e equipamentos utilizados na criação de frangos de corte, desde sistemas com adoção do acondicionamento térmico natural, possuindo elevado pé-direito, cortinas laterais e sistema de ventilação positiva, quanto às instalações com acondicionamento térmico artificial e climatizados, com ventilação preferencialmente por pressão negativa, monitorados por sensores ambientais acoplados a diversos controladores (COSTA et al., 2010).

Carvalho et al. (2015), testando o desempenho e bem-estar de frangos criados em sistema convencional e *Darkhouse*, encontraram que o ganho de peso dos animais criados em sistema *Darkhouse* foi superior em comparação aos sistemas convencionais durante o mesmo período avaliado. Isso demonstra que os animais criados neste sistema automatizado obtiveram melhores índices de bem-estar e conversão alimentar, e, em contrapartida, os animais apresentaram também maiores índices de carne pálida, mole e exudativa quando submetidos a condições de estresse como pré-abate, carregamento e transporte, em comparação ao convencional.

## **2.2 Custo energético das instalações**

Países desenvolvidos consomem vultosas quantidades de energia, das mais variadas fontes. Um país que vem se destacando pelo consumo energético é a China, a qual se encontra em processo de expansão das cidades e indústrias, levando a um expressivo crescimento no consumo de energia destinada ao setor de construção civil. Construções rurais representam 26%, edifícios urbanos e públicos representam 32 e 42% da contabilização de obras em execução, respectivamente (ZHANG; WANG, 2016).

Grande parte dos estudos atuais no setor da construção aponta para a preocupação ambiental, principalmente no que concerne ao uso indiscriminado de recursos não renováveis e ou de lenta formação. Do total de energia empregada nas edificações modernas, 30 a 40% se devem à construção em si. Cerca de 50% se destinam a sistemas de aquecimento/resfriamento de interiores por meio de ar condicionado, enquanto que o saldo energético embutido nos materiais de construção ainda é pouco conhecido. Desta forma, justifica-se a necessidade de se desenvolver modelos construtivos diferenciados, que promovam melhores condições térmicas aos seus usuários sem que para tanto

implique maior investimento energético (PULSELLI; SIMONCINI; MARCHETTINI, 2009).

De acordo com Campos et al. (2003), os investimentos de energia presentes nas construções e instalações agropecuárias foram pouco estudados no Brasil, sendo difícil a obtenção de trabalhos específicos com a rubrica energética no meio rural. Em estudo do custo energético de construção de uma estrutura responsável pelo armazenamento de fardos de feno, os autores consideraram a energia necessária para a obtenção e transporte dos materiais de construção, energia requerida em cada etapa de construção contando a energia proveniente de maquinários e do trabalho humano, obtendo o coeficiente de energia de  $587,09 \text{ MJ m}^{-2}$  de galpão para armazenagem de feno.

Poucos dados são encontrados na literatura sobre custos energéticos de instalações para aves. Santos e Lucas Junior (2004) realizaram o balanço energético de um galpão de frangos de corte com instalações de madeira, onde encontraram o coeficiente energético de  $58.885,61 \text{ kJ m}^{-2}$ , para uma vida útil de 30 anos, chegaram a um total de energia gastos em instalações e equipamentos de  $1.212.780,52 \text{ MJ}$  por lote de produção.

Da depreciação de energia depreendida na construção de lagoas de estabilização para tratamento de dejetos de suínos, em relação à sua vida útil e considerando um período de 150 dias de uso, Souza et al. (2009) encontraram o valor de  $1.393,92 \text{ MJ}$  ou, simplesmente, que a cada ciclo de produção, as lagoas de estabilização representam uma entrada  $1,39 \text{ GJ}$  de energia consumida pelo sistema na forma indireta. Trabalhando também com sistema de tratamento de resíduos provenientes da suinocultura, Veloso (2014) encontrou o custo energético de construção de dois biodigestores modelo canadense na ordem de  $490.179,59 \text{ MJ}$ , neste sentido são gastos por ciclo produtivo de 150 dias  $13.429,58 \text{ MJ}$  e como coeficiente energético foi encontrado que são necessários  $228,38 \text{ MJ}$  para cada metro cúbico de capacidade do biodigestor, valor este que

pode auxiliar outros pesquisadores em estudos de análise energética que envolvam biodigestores.

Realizando a análise energética de um sistema de produção de suínos, com ciclo período de 120 dias e sistema de tratamento de dejetos em biodigestor, Angonese et al. (2006) calcularam o coeficiente energético do galpão mediante a soma da energia inerente aos componentes utilizados na construção, totalizando 835.880 MJ. Dividindo este valor pela área útil total do galpão obtiveram o índice energético de 956,03 MJ m<sup>-2</sup>.

### **2.3 Balanço de energia**

A base dos estudos sobre balanço de energia é refletida na identificação dos fluxos de energia, onde se fazem necessários os cálculos da demanda total e eficiência energética, observados mediante relação da energia convertida sobre a energia consumida no processo. Mensurando todos os componentes duráveis e não duráveis, que por sua vez são convertidos em unidades de energia, sendo expressas em calorias ou em joules, de acordo com o sistema internacional. A análise energética e por sua vez a eficiência energética ainda são pouco utilizadas como ferramenta de monitoramento da agropecuária (CAMPOS; CAMPOS, 2004).

O balanço de energia é utilizado, também, para obter a quantidade de energia necessária para a produção de um quilograma de determinado produto, para tanto, há a necessidade de verificar a demanda total de energia requerida pelo agroecossistema dividida pelo total em produção no período avaliado, fornecendo valores interessantes quando se deseja avaliar a eficiência de conversão de energia em produto (SOUZA et al., 2009).

Em estudo sobre a entrada de energia por hectare para a produção de cana de açúcar no Irã, Sefeedpari, Shokoohi e Behzadifar (2014) encontraram um gasto energético total de 198 GJ ha<sup>-1</sup>, sendo 43% referentes à energia direta e

57% para energia indireta. Os índices de eficiência energética e produtividade em razão das saídas e entradas de energia foram calculadas onde se encontrou 1,18 e 0,63 kg MJ<sup>-1</sup>, respectivamente. Em fazendas onde a produção foi advinda do rebrotamento, o uso total de energia direta e indireta foi de 144 GJ ha<sup>-1</sup>, 33% e 67%, respectivamente. Fato explicado pelo menor uso de operações em preparado do solo devido à rebrota da soca.

Em um estudo do balanço de energia na produção de milho para silagem em sistema de plantio direto, os autores Zanini et al. (2003) obtiveram a relação de 91,40% da energia que entram no sistema correspondente à energia direta, ao passo que 8,60% deram-se em energia indireta. Do gasto referente à energia direta, 46,84% são provenientes de combustíveis, principalmente o óleo diesel utilizado pelas máquinas agrícolas, caracterizando este o principal ponto estrangulador do sistema, seguido pelos fertilizantes químicos com 10,96% e os defensivos agrícolas, com 25,15% do total de energia direta.

A aplicabilidade das análises energéticas como um instrumental de diagnóstico de determinada atividade, além de poder ser executada nos mais diversificados sistemas produtivos, foi evidenciada por Omid-Arjenaki, Ebrahimi e Ghanbarian (2016) em um estudo sobre a produção de mel de abelhas, na cidade de Shahrekord (Irã). Foram coletadas informações referentes a um ano de produção, onde encontrou uma entrada média de energia de 361,77 MJ colméia<sup>-1</sup>, saídas energéticas de 190,8 MJ colméia<sup>-1</sup>, com uma performance de 15 kg colméia<sup>-1</sup>, eficiência de produtividade de 0,04 kg MJ<sup>-1</sup> e eficiência energética de 54%. O balanço de energia mostrou que a utilização das entradas de energia do referido sistema de produção não foram convertidas eficientemente, sendo necessárias atividades adicionais para aumentar a eficiência de conversão energética, empregando técnicas ambientalmente corretas tanto para práticas agrícolas quanto para a produção de mel de abelhas.



#### **2.4 Análise energética como ferramenta de avaliação da sustentabilidade**

É evidente a dependência do ser humano por fontes de energia, com destaque para as energias renováveis ou limpas, onde grande parte é destinada à produção de alimentos. Esta dependência é reforçada pelo crescimento populacional e, conseqüentemente, pelo aumento da demanda por produtos alimentícios, tanto em quantidade, quanto em qualidade, representando um desafio para o setor agropecuário, em produzir mais e melhor, sem que para isto, implique prejuízos ambientais. Para tanto, faz-se necessária a adoção de medidas que garantam ao produtor a obtenção de melhores índices de eficiência energética e produtiva nos agroecossistemas (SEFEEDPARI; SHOKOOHI; BEHZADIFAR, 2014).

A análise energética empregada em sistemas produtivos atua na mensuração dos fluxos de saída em relação às entradas energéticas, obtendo assim a eficiência do sistema por meio da conversão líquida de energia consumida (insumos e matéria-prima) em energia convertida (produtos e subprodutos). O cálculo da eficiência energética pode ser usado como um importante instrumental para o monitoramento das condições da sustentabilidade, preferencialmente, no que tange ao uso de energia não renovável, auxiliando no diagnóstico dos pontos de maior requerimento ou de perdas de energia no sistema (CAMPOS et al., 2005).

Após realizarem uma pesquisa de revisão de literatura, Campos e Campos (2004) apontaram que os estudos em análise de energia em biosistemas se apresentam como uma ferramenta adequada quando empregada para o diagnóstico das condições referentes à sustentabilidade, fornecendo parâmetros necessários para a mensuração, interpretação e gerando subsídios que auxiliam no planejamento tático dentro das empresas, além de uma maneira de comparar a efetividade dos sistemas produtivos agropecuários.

## 2.5 Fronteiras do sistema

Em um trabalho clássico sobre análise energética, Doving (1985) reportou a importância de se apresentar da maneira mais completa possível a área foco do trabalho, delimitando a fronteira do sistema de forma que coincida sua área física com os limites estabelecidos para o cálculo dos fluxos de energia. O autor enfatiza ainda, que é quase impossível a definição de metodologia perfeita em estudos de análise energética, cabendo aos pesquisadores o aperfeiçoamento do método a fim de diminuir os erros de estimação.

Neste sentido, Vigne et al. (2012) evidenciaram a necessidade de desenvolver uma padronização e métodos bem definidos para o cálculo dos coeficientes de energia, podendo este ainda ser usado para adaptar os coeficientes de energia de forma a atender peculiaridades regionais. Este método deve incluir também uma definição clara da delimitação de fronteira do sistema para avaliação da energia indireta e incentivar a investigação das tecnologias utilizadas.

Em trabalho de balanço de energia em um sistema de criação de suínos em cama sobreposta, Veloso et al. (2012) definiram como fronteira do sistema todas as atividades referentes ao recebimento de leitões, tratamento de dejetos e saída dos animais para o abate, durante a fase de terminação, considerando todos os custos, processos e toda a energia envolvida na unidade de confinamento de suínos.

No processo de delimitação da fronteira do sistema, o primeiro passo utilizado por Campos et al. (2005) foi a identificação da área e do agrossistema utilizado para a produção alimento volumoso para bovinos de leite, em seguida foram convertidos em equivalente à energia todos processos relativos à produção, secagem, enfiamento e armazenamento de feno, procedendo desta forma a análise energética.

## 2.6 Pontos estranguladores ou de estrangulamento

A energia é tida como um dos principais recursos impulsionadores do desenvolvimento de um país, incentivando a otimização de processos e operações, a fim de aumentar a eficiência no uso de energia. Para tanto, torna-se imprescindível o estudo detalhado dos fluxos de energia, encontrando-se os pontos de maior requerimento energético ou pontos de estrangulamento dos sistemas (COMITRE, 1993).

A terminologia “estrangulador” apresentada no estudo de Campos et al. (2005) refere-se ao insumo de maior consumo energético dentro do sistema estudado, no caso, correspondendo aos combustíveis, em sua grande maioria ao óleo diesel, aliado ao fato de que os agroecossistemas são extremamente dependentes de combustíveis fósseis, considerados recursos não renováveis. Esta dependência é devido ao fato de as operações agrícolas serem totalmente mecanizadas como tratamentos culturais, corte da forragem, enleiramento, dentre outros. Os autores apresentaram sugestões quanto à redução do uso de máquinas e combustíveis, mediante produção a partir do uso preferencial do trabalho humano, onde estudos apontam o menor consumo anual de energia, porém mais dependente das condições climáticas.

Em um estudo do custo energético de construção de biodigestores para a suinocultura, Veloso (2014) relata que o item considerado como principal “estrangulador” de energia, correspondeu a geomembranas flexíveis de policloreto de vinila (PVC), com 29,33% do total de energia consumida na construção de dois biodigestores modelo canadense, seguido por tubulações de PVC e lona de impermeabilização, com 28,45% e 21,06%, respectivamente.

Omidi-Arjenaki, Ebrahimi e Ghanbarian (2016) determinaram que o consumo total de energia para a produção de mel no Irã foi de 28,942 MJ colmeia<sup>-1</sup>, sendo o açúcar como maior consumidor de energia dentre todas as fontes de energia de entrada. Os autores sugerem que o uso adequado e

apropriado do açúcar pode auxiliar na diminuição das entradas de energia proveniente deste que é fundamental à produção de mel, bem como na escolha de abelhas mais produtivas ou equipamentos que possibilitem melhores índices de produtividade, ou ainda, diminuindo os gastos com insumos mediante identificação e adequação dos itens de maior consumo energético, otimizando a produção.

## **2.7 Carência de dados na literatura**

Como parte da justificativa do presente trabalho, assim como relatado por Santos e Lucas Junior (2004) e Veloso et al. (2012), a informação presente na literatura sobre análise e coeficientes energéticos das atividades agropecuárias ainda são muito escassas, principalmente sobre agroecossistemas como a suinocultura e a avicultura de corte. A problemática se agrava mais ainda quando se procuram estudos de balanço de energia para sistemas modernos e automatizados, como é o caso de sistemas avícolas com galpões do tipo *Darkhouse*.

Para estimar o consumo de energia de maneira precisa, há a necessidade de que o coeficiente de energia represente, de forma mais acurada possível, as entradas em equivalente de energia fóssil durante toda sua vida útil, incluindo a energia fóssil consumida durante a extração, fabricação e transporte das matérias-primas e demais produtos, adaptado às condições atuais e locais da área estudada. Todavia, nota-se que coeficientes não específicos são utilizados em estudos energéticos até em países diferentes, não representando as condições reais em que são realizadas as pesquisas, o que torna mais evidente ainda a necessidade de coeficientes específicos para cada atividade e local (VIGNE et al., 2012).

Um aspecto interessante apontado por Campos e Campos (2004) é que quanto maior o número de pesquisadores trabalhando e aperfeiçoando os estudos

sobre balanço energético específico nos biosistemas e sistemas agrícolas do Brasil, maiores serão os avanços na geração de novas informações específicas às condições brasileiras e diminuição dos erros, garantindo ainda mais incentivo às pesquisas sobre o tema.

As análises do ciclo de vida e o estudo dos fluxos de entradas e saídas buscam o entendimento, bem como os impactos ambientais diretos e indiretos dos processos produtivos, bens e serviços mediante diferentes abordagens. A procura por um mecanismo híbrido destas duas técnicas vem sendo realizada por pesquisadores por um longo período, a fim de minimizar as limitações destes recursos. As deficiências inerentes a cada método não têm sido extensivamente estudadas, de forma a se aproveitar a complementariedade dos distintos sistemas vinculando à importância econômica, ambiental e social dos diversos setores, principalmente as atividades agropecuárias (MAJEAU-BETTEZ; STROMMAN; HERTWICH, 2011).

Zanini et al. (2003), ao realizarem estudo de análise energética, verificaram a escassez de trabalhos na literatura sobre balanço de energia, principalmente, enfocando sistemas agropecuários e estes de maneira mais específica, como por exemplo a produção de milho para silagem de gado de leite, sendo, geralmente, encontrados estudos referentes à produção de grãos e forrageiras para alimentação animal.

## **2.8 Energia do trabalho humano**

A energia proveniente do trabalho humano, ou simplesmente, mão-de-obra, representa um item controvertido na temática análise energética, sendo considerada como uma forma de entrada de energia nos processos, enquanto outros autores como Ulbanere e Ferreira (1989) desconsideram os gastos provenientes do trabalho humano, incentivados pelo seu baixo consumo energético em relação aos demais componentes.

Segundo Fluck (1981), existem diversos coeficientes energéticos e metodologias para se estimar a energia proveniente do trabalho humano, o que gera muita confusão por parte dos pesquisadores. O autor sugere que esta energia se correlaciona ao alimento ingerido pelo trabalhador, sendo por sua vez, específica para cada região de estudo.

Campos e Campos (2004) apresentam uma classificação das entradas de energia provenientes do trabalho humano (*human labor* ou energia gasta em atividades laborais) como sendo energia biológica, dentro desta se enquadram àquelas provenientes de animais, sementes, alimentos, vegetais, insumos orgânicos e resíduos provenientes da agricultura, pecuária e agroindústria.

Ao se realizarem estudos de análise energética de atividades que consagradamente exigem uma maior interação do homem, como a criação de abelhas ou produções artesanais, pode-se observar a importância da energia proveniente do trabalho humano (OMIDI-ARJENAKI; EBRAHIMI; GHANBARIAN, 2016).

## 2.9 Eficiência energética

A eficiência energética ( $\eta$ ) é calculada nos estudos de análise energética por meio da relação obtida nos fluxos de energia, ou seja, a divisão do montante da energia que sai do sistema sobre a energia que entra no sistema. Quesada et al. (1991) propuseram uma equação onde o coeficiente de eficiência energética é obtido pela relação da energia convertida (*output*) e a energia consumida (*input*) de determinado agroecossistema, segundo equação a seguir:

$$\eta = \frac{\Sigma E \text{ Convertida}}{\Sigma E \text{ Consumida}}$$

Em que:

- a)  $\Sigma$  Energia Consumida =  $\Sigma$  (ED consumida + EI consumida);

- b)  $\eta$  – eficiência energética do sistema;
- c) Energia Convertida – estimativa de energia que sai do processo de produção;
- d) Energia Consumida – estimativa de energia de entrada envolvida no processo de produção;
- e) ED – estimativa de energia direta;
- f) EI – estimativa de energia indireta.

Em estudo de análise energética na produção de feno de *Cynodon dactylon*, Campos et al. (2005) encontraram um dispêndio de 224.134 MJ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e um coeficiente de eficiência energética de 4,3, ou seja, a cada 1 MJ de entrada de energia são gerados 4,3 MJ de energia sob a forma de produto. Esta tendência é muitas vezes observada em estudos energéticos realizados em sistemas de produção vegetal.

A maioria dos pesquisadores não contabiliza entradas de energia provenientes da radiação solar e da água, por se tratarem de recursos prontamente disponíveis na natureza. Por sua vez, os estudos de sistemas de produção animal apresentam coeficientes de eficiência energética inferiores a 1,0; sendo considerados importadores de energia (ANGONESE et al., 2006; SOUZA et al., 2009; VELOSO, 2014; VELOSO et al., 2012). Na produção de animais, além das perdas intrínsecas ao processo de produção vegetal, durante a confecção de rações ou outras formas de alimentos, existe ainda a perda relacionada ao sistema digestório dos animais, que são acumulativas, explicando os resultados inferiores de rendimento energético quando se trabalha com a criação de animais.





### 3 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Devido à atual situação econômica do Brasil, a criação de aves se apresenta como uma importante fonte alternativa e mais acessível de proteína animal à grande parcela da população do país. Neste sentido, muito tem se desenvolvido em tecnologias de criação de frangos com alta densidade, fornecendo melhores condições ambientais de desenvolvimento, e melhoramento animal, garantindo aumentos em produção.

Neste âmbito têm se destacado as instalações avícolas modelo *Darkhouse*, que possuem, como um dos principais atrativos, elevados níveis de produtividade. No entanto, a literatura ainda é escassa sobre este atual modelo de criação no Brasil, notadamente no que tange aos aspectos relacionados às construções e à sustentabilidade do sistema.

Desta forma, as análises energéticas se apresentam como uma interessante ferramenta utilizada na avaliação da sustentabilidade, a serem empregadas na verificação deste modelo de sistema de confinamento. Dada a lacuna observada na literatura acerca deste assunto, trabalhos empregando o balanço energético para a avaliação do referenciado sistema configuram como importante mecanismo para o desenvolvimento deste ramo da pesquisa.



## REFERÊNCIAS

ANGONESE, A. et al. 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, jul./set. 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. **Relatório anual 2015**. 2015. Disponível em: <<http://abpa-br.com.br/files/publicacoes/c59411a243d6dab1da8e605be58348ac.pdf>>. Acesso em: 20 maio 2016.

CAETANO, V. C. et al. Desempenho e rendimento de carcaça em frangos de corte de um a 46 dias alimentados com dietas contendo diferentes níveis de valina e reduzido teor proteico. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 67, n. 6, p. 1721-1728, 2015.

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

CAMPOS, A. T. et al. Análise energética na produção de feno de *Cynodon dactylon* (L.) pers. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 349-358, maio/ago. 2005.

CAMPOS, A. T. et al. Custo energético de construção de uma instalação para armazenagem de feno. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 4, p. 667-672, 2003.

CARVALHO, R. H. et al. The effects of the dark house system on growth, performance and meat quality of broiler chicken. **Animal Science Journal**, New Jersey, v. 86, p. 189-193, 2015.

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

COSTA, F. G. P. et al. Scientific progress in the production of monogastric in the first decade of the twenty-first century. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 39, p. 288-302, 2010.

DAMASCENO, F. D. et al. Avaliação do bem-estar de frangos de corte em dois galpões comerciais climatizados. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 4, p. 1031-1038, jul./ago. 2010.

DOVRING, F. Energy use in Unites States agriculture: a critique of recent research. **Energy in Agriculture**, Amsterdam, v. 4, p. 79-86, 1985.

FLUCK, R. C. Net energy sequestered in agricultural labor. **Transactions of the ASAE**, Michigan, v. 24, n. 6, p. 1449-1455, 1981.

FUNCK, S. R.; FONSECA, R. A. Avaliação energética e de desempenho de frangos com aquecimento automático a gás e a lenha. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 1, p. 91-97, 2008.

FURLANETO, F. P. B. et al. Análise energética do novo sistema de produção de maracujá amarelo na região de Marília-SP. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 2, p. 235-240, fev. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa trimestral do abate de animais**. Disponível em:  
<<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pecua/default.asp?t=2&z=t&o=24&u1=1&u2=1&u3=1&u4=1&u5=1&u6=1&u7=1>>. Acesso em: 20 maio 2016.

MAJEAU-BETTEZ, G.; STROMMAN, A. H.; HERTWICH, E. G. Evaluation of process- and input-output based life cycle inventory data with regard to truncation and aggregation issues. **Environmental Science & Technology**, Washington, v. 45, p. 10170-10177, Nov. 2011.

OMIDI-ARJENAKI, O.; EBRAHIMI, R.; GHANBARIAN, D. Analysis of energy input and output for honey production in Iran: 2012-2013. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Oxford, v. 59, p. 952-957, Jan. 2016.

PIMENTEL, D. **Handbook of energy utilization in agriculture**. Boca Raton: CRC, 1980. 475 p.

PULSELLI, R. M.; SIMONCINI, E.; MARCHETTINI, N. Energy and emergy based cost-benefit evaluation of building envelopes relative to geographical location and climate. **Building and Environment**, Oxford, v. 44, p. 920-928, 2009.

QUESADA, G. M. et al. Energia, organização social e tecnologia. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria, v. 2, n. 2, p. 13-29, 1991.

RODRIGUES, F. P.; QUEIROZ, S. A.; DUARTE, J. M. B. Genetic relatedness among wild, domestic and Brazilian fighting roosters. **Brazilian Journal of Poultry Science**, Campinas, v. 8, n. 2, p. 83-87, Apr./June 2006.

SANTOS, T. M. B.; LUCAS JÚNIOR, J. Balanço energético em galpão de frangos de corte. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 25-36, jan./abr. 2004.

SEFEEDPARI, P.; SHOKOOHI, Z.; BEHZADIFAR, Y. Energy use and carbon dioxide emission analysis in sugarcane farms: a survey on Haft-Tappeh Sugarcane Agro-Industrial Company in Iran. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 83, p. 212-219, Aug. 2014.

SOUZA, C. V. et al. 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.

ULBANERE, R. C.; FERREIRA, W. A. Análise do balanço energético para a produção de milho no Estado de São Paulo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 4, n. 1, p. 35-42, 1989.

VELOSO, A. V. **Análise ambiental e energética de sistema de produção de suínos com tratamento de dejetos em biodigestor**. 2014. 192 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

VELOSO, A. V. et al. Energetic efficiency of a deep bed swine production system. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 6, p. 1068-1079, nov./dez. 2012.

VIGNE, A. M. et al. Comparative uncertainty analysis of energy coefficients in energy analysis of dairy farms from two French territories. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 37, p. 185-191, July 2012.

ZANINI, A. et al. Análise do consumo de energia na produção de silagem de milho em plantio direto. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 25, n. 2, p. 249-253, 2003.

ZEN, S. de et al. Setor avícola em 2015 e perspectivas para 2016. **Boletim Ativos da Avicultura**, Brasília, DF, ano 2, n. 4, jan. 2016. Disponível em: <<http://www.canaldoprodutor.com.br/sites/default/files/Ativos-Avicultura-n4.pdf>>. Acesso em: 20 maio 2016.

ZHANG, Z. Y.; WANG, B. Research on the life-cycle CO<sub>2</sub> emission of China's construction sector. **Energy and Building**, Oxford, v. 112, p. 244-255, Jan. 2016.

**SEGUNDA PARTE – ARTIGOS**

**ARTIGO 1 DEMANDA ENERGÉTICA NA CONSTRUÇÃO DE  
GALPÃO PARA FRANGOS DE CORTE MODELO *DARKHOUSE***

**ARTIGO FORMATADO DE ACORDO COM A NBR 6022 (ABNT, 2003),  
ADAPTADO À NORMA DA UFLA.**

## RESUMO

Notadamente, os avanços tecnológicos buscados pelo setor de construções rurais promovem ganhos em conforto e bem-estar animal, garantindo aumentos em produtividade. Neste sentido, o presente trabalho objetivou avaliar a demanda energética, de maneira detalhada, para implantação de um galpão aviário tipo *Darkhouse*, cuja atividade produtiva constitui da criação de frangos de corte, identificando as quantidades dos principais componentes e serviços necessários à construção. Foram considerados todos os materiais e serviços inerentes a cada uma das etapas de construção, onde os totais quantificados foram convertidos em unidades de energia, identificando aqueles de maior requerimento energético. Dentre os materiais de construção utilizados, destaca-se o aço, que correspondeu a 26,19% da energia investida na instalação. Neste sentido, o cimento também ocupou posição de destaque durante a quantificação dos materiais de construção, representando 8,47%. A energia depreendida durante a fase de limpeza e movimentação de solo representou 48,52% do total investido, devido, principalmente, ao grande volume de solo movimentado. A obra consumiu um total de 3.293.064,77 MJ de energia, distribuídos entre serviços e materiais. O coeficiente energético específico para cada metro quadrado do aviário foi de 1.219,65 MJ m<sup>2</sup>. Poucos trabalhos foram encontrados na literatura, principalmente brasileira, abordando os gastos energéticos em estruturas destinadas à criação de animais e da energia presente em materiais e serviços. Desta forma, os resultados obtidos no presente trabalho visam fornecer dados específicos e incentivar pesquisadores no que tange às análises energéticas.

**Palavras-chave:** Construções rurais. Instalações. Avicultura de corte. Análise energética. Coeficiente energético. Sustentabilidade.



## **ENERGETIC DEMAND IN THE CONSTRUCTION OF A DARKHOUSE BROILER CHICKEN SHED**

### **ABSTRACT**

It is notable that technological advances sought after by the rural construction sector promote gain in animal comfort and wellbeing, guaranteeing increase in productivity. In this sense, this work aimed at evaluating the energetic demand, in a detailed manner, for implementing a Darkhouse poultry shed, of which productive activity constitutes broiler chicken rearing, identifying the quantities of the principal components and services necessary for the construction. All materials and services inherent to each of the construction stages were considered, in which the quantified totals were converted into energy units, identifying those with higher energy requirement. Among the construction materials used, steel was highlighted, corresponding to 26.19% of the energy invested into the installation. In this sense, cement was also prominent, representing 8.47%. The energy expended during the cleaning and soil movement phase represented 48.52% of the total invested, mainly due to the large amount of soil moved. The construction consumed a total of 3,293,064.77 MJ of energy, distributed among services and materials. The specific energy coefficient for each square meter of the aviary was of 1,219.65 MJ. Few works were found in literature, especially Brazilian, regarding energy expenses in structures destined for animal rearing and of the energy present in materials and services. Thus, the results obtained in this work aim at providing specific data and encouraging researchers in relation to energy analyses.

**Keywords:** Livestock buildings and environment. Broiler chicken facilities. Energy analysis. Energetic coefficient. Sustainability.



## 1 INTRODUÇÃO

A criação de frangos para o abate no Brasil se constitui como uma das mais importantes fontes de proteína animal, principalmente a parcela da população com menor poder aquisitivo. Representando um desafio ao setor produtivo e impulsionando os avanços em manejo, nutrição, genética e bem-estar das aves por meio de instalações de maior tecnologia (DAMASCENO et al., 2010).

Os sistemas de criação que dispõem dos mais avançados instrumentos de controle das condições ambientais dentro dos galpões estão sendo cada vez mais adquiridos pelos produtores de frangos de corte. Destacam-se os sistemas automatizados com galpões do tipo *Darkhouse*, como o próprio nome diz, são estruturas fechadas onde o controle de luz é feito por controladores, bem como a renovação de ar, humidade, gases e temperatura (FUNCK; FONSECA, 2008).

Por sua vez, a criação de aves de maneira intensiva importa grandes quantidades de recursos naturais, principalmente aqueles utilizados em construções. Os componentes de maior preponderância quanto ao uso de recursos não renováveis ou de lenta renovação correspondem aos sistemas de controle ambiental, representado pelos sistemas de aquecimento, resfriamento e renovação de ar. O segundo maior importador de recursos são os materiais de construção propriamente dito, porém pouco se sabe ainda do total requisitado para a aquisição de tais materiais (PULSELLI; SIMONCINI; MARCHETTINI, 2009).

Como uma forma de mensurar a sustentabilidade e a eficiência dos agroecossistemas, os estudos com base nos fluxos de energia, distribuição e conversão se mostram adequados, possibilitando a determinação detalhada da energia envolvida na obtenção de materiais, equipamentos e processos, apontando os itens de maior aporte e propondo opções ambientalmente menos impactantes (CAMPOS et al., 2003).

Entretanto, ainda se fazem necessários estudos desta ordem, de forma a expandir as informações disponíveis na literatura, principalmente na composição das análises energéticas em atividades agropecuárias, apresentando coeficientes energéticos específicos às instalações voltadas às condições brasileiras (VELOSO et al., 2012). Zanini et al. (2003) complementam que trabalhos nesta temática são escassos, principalmente aqueles voltados ao dispêndio energético em materiais de construção e serviços, sendo os comumente encontrados referentes à produção de grãos e forrageiras para alimentação animal.

Para tanto, o presente trabalho teve por objetivo estimar o total energético, embutido nos materiais de construção, equipamentos e serviços utilizados para construção de um galpão aviário com tipologia *Darkhouse*, bem como a obtenção do coeficiente energético específico para cada metro quadrado construído.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Foi realizada uma estimativa do montante energético gasto na construção de um galpão aviário automatizado do tipo *Darkhouse*. Para tanto, foram computados todos os gastos energéticos referentes aos serviços de terraplanagem, materiais de construção, maquinário utilizado, mão-de-obra em cada etapa de construção, instalação de equipamentos e controladores que constituem o referido sistema intensivo de criação de frangos de corte.

A área onde se procedeu o estudo está situada em uma propriedade rural, cuja principal atividade é a criação de frangos para o abate, localizada na região da Zona da Mata, estado de Minas Gerais. Apresentando clima quente e temperado, Cfb, de acordo com a classificação de Köppen e Geiger, com uma pluviosidade média de 1.482 mm ano<sup>-1</sup>, ocorrendo chuvas no período mais seco do ano. Altitude de 1.164 m e temperatura média de 18,8 °C.

O galpão possui capacidade para 50.000 animais, área interna de 2.700 m<sup>2</sup> sendo em média 18,52 animais por metro quadrado. Dimensões de 150 m de comprimento por 18 m de largura com revestimentos em alvenaria de blocos de concreto, pé direito de 3,00 m e cobertura em telhas de fibrocimento (FIGURAS 1, 2 e 3).

Possui dois sistemas de resfriamento adiabático, um por meio de nebulizadores e outro com painéis celulósicos evaporativos por onde a água é recirculada. O sistema de ventilação adotado foi de pressão negativa constituído por 15 exaustores, instalados em uma extremidade do galpão. A serragem, material utilizado como cama para as aves, foi depositada sobre o piso, que é de chão batido.

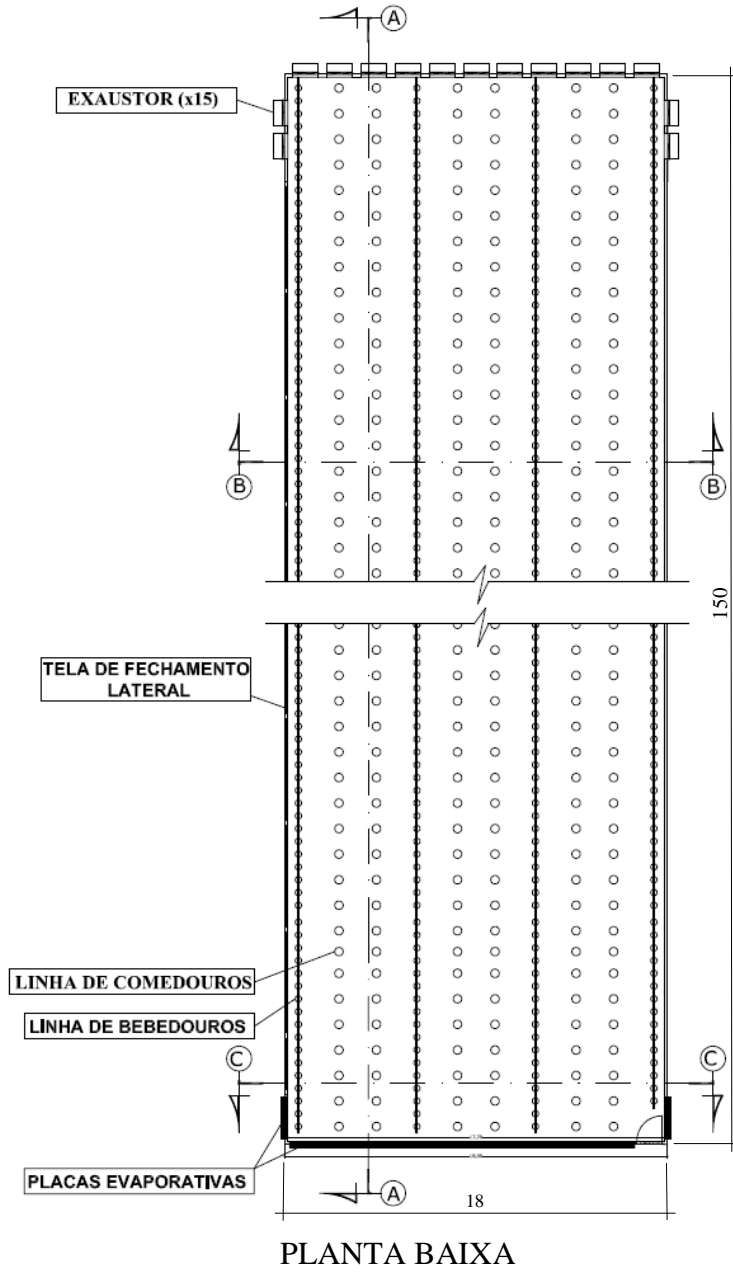
Figura 1 - Planta baixa do galpão tipo *Darkhouse*.

Figura 2 - Esquema de corte longitudinal do galpão tipo *Darkhouse*.

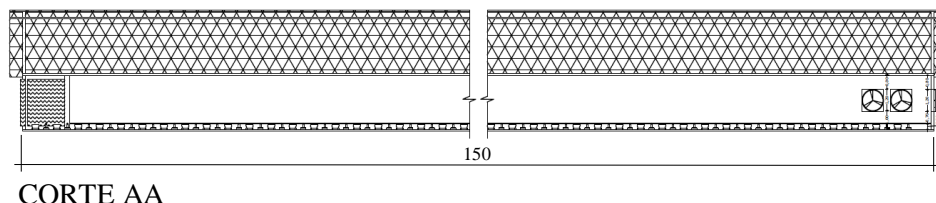
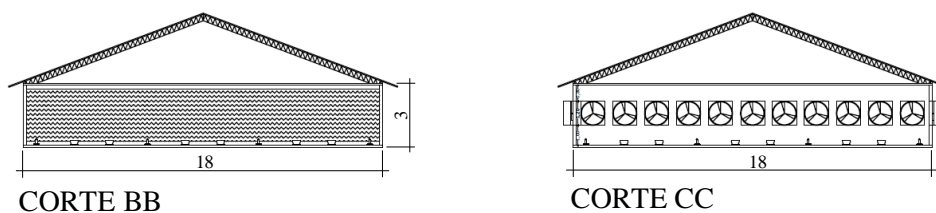


Figura 3– Esquemas de cortes transversais do galpão tipo *Darkhouse*.



O aviário conta ainda com sensores de umidade relativa e temperatura do ar, que alimentam o sistema de controladores, cuja função é manter as condições dentro do aviário mais próximas ao ideal, de acordo com as exigências fisiológicas dos animais. Os controladores ativam o sistema de resfriamento, regulam a velocidade do vento dentro da instalação, bem como umidade e temperatura, promovendo a retirada do excesso de gases tóxicos, renovação de ar, dentre outros.

Os sistemas de bebedouros e comedouros são automatizados, com regulagem de altura e de consumo. Para os animais juvenis foram adquiridos comedouros específicos que são necessários somente nos primeiros dias de criação.

Os principais materiais e insumos pertinentes aos trabalhos preliminares e execução empregados na construção do galpão aviário do tipo *Darkhouse* e suas respectivas quantidades e coeficientes energéticos estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 - Quantidades e coeficientes energéticos dos principais materiais de construção, insumos e equipamento utilizado nas etapas de serviços preliminares e execução da obra.

Elementos analisados	Quantidades	Coefficiente energético	Fonte
Terraplanagem com Motoniveladora			
<i>Energia direta - Consumida</i>			
Óleo Diesel	2.480,0 L	47,48 MJ L <sup>-1</sup>	Pimentel (1980)
Lubrificantes	30,0 kg	43,38 MJ kg <sup>-1</sup>	Jasper et al. (2010)
<i>Energia indireta - Depreciação</i>			
Motoniveladora	17.510,0 kg	80,20 MJ kg <sup>-1</sup>	Sartori et al. (2005)
Construção do Aviário			
Cimento	51.500,0 kg	4,76 MJ kg <sup>-1</sup>	Fernandes e Souza (1982)
Cal	2.460,0 kg	4,35 MJ kg <sup>-1</sup>	Bajay e Sant'Ana (2010)
Cascalho	33.900,0 kg	0,042 MJ kg <sup>-1</sup>	Fernandes e Souza (1982)
Agregados graúdos	263.024,0 kg	0,042 MJ kg <sup>-1</sup>	Fernandes e Souza (1982)
Agregados miúdos	354.090,0 kg	0,045 MJ kg <sup>-1</sup>	Fernandes e Souza (1982)
Blocos concreto	42,0 m <sup>3</sup>	614,64 MJ m <sup>-3</sup>	Campos et al. (2003)
Tijolos e lajotas	26.650,0 kg	3,15 MJ kg <sup>-1</sup>	Campos et al. (2003)
Telhas de fibrocimento	41.097,0 kg	3,93 MJ kg <sup>-1</sup>	Campos et al. (2003)
Vergalhões de diversas bitolas	4.068,6 kg	62,78 MJ kg <sup>-1</sup>	Pimentel (1980)
Materiais em aço	8.005,0 kg	62,78 MJ kg <sup>-1</sup>	Pimentel (1980)
Gasolina	40,0 L	56.31 MJ L <sup>-1</sup>	Binning, Pathak e Panesar (1983)
Madeira	4.011,0 kg	13,81 MJ kg <sup>-1</sup>	Brasil (2001)

Foram obtidos, por meio de memorial descritivo da obra e manuais técnicos, todos os quantitativos relativos aos equipamentos e instalações necessários à construção do galpão tipologia *Darkhouse* e sua respectiva vida



útil, como forma de estimar a Demanda Específica de Energia deste tipo de instalação, em seus diversos componentes (TABELA 2). Sendo que no presente trabalho, considerou-se somente o investimento para cada componente.

Tabela 2 - Quantidades dos principais elementos e equipamentos empregados nas instalações do galpão tipo *Darkhouse* e seus respectivos coeficientes energéticos.

Elementos analisados	Quantidades (kg)	Vida útil (anos)	Coefficiente energético (MJ kg <sup>-1</sup> )	Referência
<i>Material Hidráulico</i>				
PVC*	180,0	40	119,99	Pimentel (1980)
Tubulação metálica	20,0	40	62,78	Pimentel (1980)
<i>Ferramentas e Serralheria</i>				
Materiais em aço	340,2	40	62,78	Pimentel (1980)
Plásticos	1,2	40	130,04	Pellizzi (1992)
<i>Instalação Elétrica</i>				
Plásticos	120,0	40	130,04	Pellizzi (1992)
Fios elétricos	400,0	40	45,02	Pellizzi (1992)
<i>Comedouros</i>				
Tubulação metálica	967,5	40	62,78	Pimentel (1980)
PVC*	800,0	40	119,99	Pimentel (1980)
<i>Bebedouros</i>				
Tubulação metálica	450,0	40	62,78	Pimentel (1980)
PVC*	85,0	40	119,99	Pimentel (1980)
Exaustores	1.260,0	10	83,68	Pimentel (1980)
<i>Conjunto de Nebulização</i>				
Motobomba 0,75 cv	13,0	10	83,68	Pimentel (1980)
Tubulação de PVC*, juntas e nebulizadores de PVC*	110,0	40	119,99	Pimentel (1980)
<i>Sistema Pad Cooling</i>				
Motobomba 0,75 cv	13,0	10	83,68	Pimentel (1980)
Tubulação de PVC*	12,0	40	119,99	Pimentel (1980)
Painéis evaporativos	228,0	10	13,81	Brasil (2001)

\* Policloreto de vinila.

Especial atenção foi dispensada à energia proveniente do trabalho humano, sendo este um ponto controvertido em trabalhos de análise energética, devido principalmente a sua pequena contribuição em termos percentuais ao dispêndio energético em agroecossistemas industriais, à despeito de todas implicações antropológicas envolvidas. Na Tabela 3, estão detalhados os profissionais, horas trabalhadas e o coeficiente de conversão da energia para a mão-de-obra empregada na construção do galpão.

Tabela 3- Horas de trabalho de cada profissional para a construção do galpão tipo *Darkhouse* e o coeficiente energético referente ao trabalho humano.

<b>Elementos analisados</b>	<b>Quantidades (horas)</b>	<b>Coeficiente energético</b>	<b>Referência</b>
<i>Trabalho humano / Mão-de-obra</i>			
Encarregado	756		
Pedreiro	1.832		
Carpinteiro	600		
Pintor	232	0,39 MJ h <sup>-1</sup>	Fernandes e Souza (1982)
Soldador	408		
Servente	5.496		
Projetista	20		
Eletricista	96		

Após a quantificação dos componentes envolvidos na construção do galpão do tipo *Darkhouse* (materiais e trabalho humano), para sua conversão em unidades de energia, multiplicaram-se as quantidades destes pelos seus respectivos coeficientes energéticos.

Para o cálculo da energia consumida por máquinas e equipamentos foi utilizada metodologia empregada por diversos pesquisadores, a qual consiste na depreciação energética. Realizou-se a depreciação das máquinas e equipamentos envolvidos nas etapas de construção com base na vida útil e massa dos mesmos.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 4 estão descritos os totais energéticos referentes aos principais materiais, insumos e equipamentos utilizados nas etapas de serviços preliminares e execução da obra.

Tabela 4 – Quantidades e energia embutida nos principais materiais de construção, insumos e equipamentos utilizados nas etapas de serviços preliminares e execução.

Elementos analisados	Quantidades	Energia embutida (MJ)
Terraplanagem com Motoniveladora		
<i>Energia direta - Consumida</i>		
Óleo Diesel	2.480,0 L	117.750,40
Lubrificantes	30,0 kg	1.301,40
<i>Energia indireta - Depreciação</i>		
Motoniveladora	17.510,0 kg	1.404.302,00
Construção do Aviário		
Cimento	51.500,0 kg	245.140,00
Cal	2.460,0 kg	10.701,00
Cascalho	33.900,0 kg	1.423,80
Agregados graúdos	263.024,0 kg	11.047,00
Agregados miúdos	354.090,0 kg	15.934,10
Blocos concreto	42,0 m <sup>3</sup>	25.814,90
Tijolos e lajotas	26.650,0 kg	83.947,50
Telhas de fibrocimento	41.097,0 kg	161.511,20
Vergalhões de diversas bitolas	4.068,6 kg	255.428,60
Materiais em aço	8.005,0 kg	502.553,90
Gasolina	40,0 L	2.252,40
Madeira	4.011,0 kg	55.391,91
<b>Total:</b>		<b>2.894.500,11</b>

Da energia concernente à etapa de construção do aviário, galpão tipologia *Darkhouse*, considerando-se os serviços de terraplanagem e materiais

de construção, foram empregados 2.894.500,11 MJ de energia. Somando-se as contribuições energéticas referentes ao trabalho humano, representado pela energia despendida pelo homem, durante a execução da obra (TABELA 5), obteve-se o total de 2.898.181,71 MJ. A energia referente ao homem é considerada um ponto controvertido em se tratando de análises energéticas, devido a sua pequena contribuição em relação aos demais componentes. Porém, vale ressaltar a indispensabilidade da força de trabalho do homem, neste caso, expresso em unidades de energia.

Tabela 5 - Energia referente ao trabalho humano.

<b>Elementos analisados</b>	<b>Quantidades (horas)</b>	<b>Energia embutida (MJ)</b>
<i>Trabalho humano / Mão-de-obra</i>		
Encarregado	756	294,84
Pedreiro	1.832	714,48
Carpinteiro	600	234,00
Pintor	232	90,48
Soldador	408	159,12
Servente	5.496	2.143,44
Projetista	20	7,80
Eletricista	96	37,44
<b>TOTAL:</b>	<b>9.440</b>	<b>3.681,60</b>

Levando em consideração somente a energia utilizada para construção do galpão em relação a sua área total, encontrou-se o índice energético de 1.072,04 MJ m<sup>-2</sup>, diferindo relativamente pouco do definido por Doering III (1980), literatura clássica, de 1.711,43 MJ m<sup>-2</sup> para construções não residenciais. Campos et al. (2003) encontraram um índice de 587,09 MJ m<sup>-2</sup> para um galpão de armazenamento de feno.

O material de construção de maior requerimento energético foi representado pelo aço, correspondendo a 26,19% do total de energia investida

em materiais. As ferramentas e materiais utilizados durante as fases de construção do aviário, que possuem o aço como elemento principal ou presente em sua constituição foram contabilizados, bem como as quantidades inerentes às estruturas de fundação, pilares, treliças, como integrante dos sistemas automatizados, tanto nos sistemas de arrefecimento, quanto nos sistemas automatizados para o fornecimento de ração e água.

Segundo Camioto e Rebelatto (2014), a energia direta utilizada na forma de combustível para o processamento do aço representa um risco ao meio ambiente devido às altas emissões de gases de efeito estufa e, também, como um considerável importador de recursos não renováveis ou de lenta renovação, como o carvão mineral e o petróleo. Os autores salientam que para o ano de 2011, os combustíveis sólidos foram os que mais contribuíram ao aporte energético do preparo do aço, sendo o coque de carvão mineral, carvão vegetal e o carvão mineral os mais consumidos, totalizando 328.918,88; 162.749,29 e 82.651,63 TJ, respectivamente. A energia elétrica correspondeu com 82.651,63 TJ e o gás natural com 39.903,37 TJ. Os combustíveis líquidos desempenharam papel de pouca importância na composição da matriz energética das indústrias. Estes valores são representativos de somente uma etapa do processo de obtenção dos componentes que possuem aço em sua constituição, devendo se acrescentar a energia referente à extração de matérias-primas, transportes, moldagem, fabricação, estamparia, dentre outros, o que justifica o elevado coeficiente energético conferido ao aço.

O segundo material de construção que apresentou maior aporte energético foi o cimento, correspondendo a 8,47% do total de energia. Este material, de acordo com Zhang e Wang (2016), possui posição de destaque no setor de construção, devido ao alto investimento energético na sua confecção, somado ao alto volume de carbono emitido para a atmosfera durante o processamento. Os autores reforçam, ainda, que com os avanços da tecnologia

de produção do aço e do cimento, proporcionalmente, menores quantidades vêm sendo fabricadas, em vista da otimização no uso dos materiais de construção, técnicas em peças pré-fabricadas e materiais alternativos. A energia agregada nos principais materiais de construção como o cimento, cal, gesso, ferro, aço e seus subprodutos correspondem, em sua maioria, à extração e ao processamento, a manufatura corresponde em média por 71,1% a 88,1% do total (ZHANG; WANG, 2016).

O item madeira, composto por madeira roliça e tábuas, principalmente, contribuiu com 55.391,91 MJ ou 1,91%, tendo a possibilidade, ainda, de ser utilizada no sistema de criação de frangos de corte como fonte de energia para o aquecimento de animais jovens. Funck e Fonseca (2008) apontam que o consumo energético correspondente à madeira não possui correlação com seu valor monetário, devido a seu alto poder calorífico tem-se a impressão de constituir um componente que onera a atividade.

Com relação aos trabalhos de limpeza e nivelamento do terreno, o equipamento motonivelador representou 48,52% da energia empregada na construção do galpão, valor encontrado mediante depreciação do equipamento em relação a sua vida útil e massa, contabilizando apenas as horas de utilização. Veloso (2014), trabalhando com custo energético de construção de biodigestores modelo canadense, onde foram realizadas operações com movimentação de solo, o maquinário correspondeu com 6.324,64 MJ ou 1,29% do custo total de construção dos dois biodigestores. Este gasto exacerbado com movimentação de terra, assim como no presente trabalho, se torna um entrave ao produtor, onde as condições topográficas, em sua grande maioria, não são ideais à construção dos galpões aviários sob a orientação correta, podendo até, tornar inviável a implantação do sistema.

No que se refere à energia consumida na forma de combustíveis e lubrificantes, foram necessários 119.051,80 MJ ou 4,11% do total energético,

praticamente o dobro do valor observado por Veloso (2014), 67.348,70 MJ ou 13,73% do total de energia requerida para a construção de dois biodigestores. Em um estudo de análise energética da produção de *Cynodon dactylon*, Campos et al. (2005) verificaram que o diesel foi responsável por 75,05% do consumo total de energia para a produção, valor cerca de três vezes superior ao encontrado por Jasper et al. (2010), 23,04%, trabalhando também com uma produção vegetal. Segundo os autores, este fato se justifica pelo uso intenso de tratores e implementos na produção de feno, tornando a atividade não sustentável do ponto de vista energético, cabendo ao produtor buscar soluções a fim de minimizar sua dependência pelo maquinário.

Para obter um valor mais próximo ao realmente investido em energia dentro do galpão, foram considerados também, todos os equipamentos, tubulações, controladores, dentre outros instrumentos de climatização que equipam o sistema (TABELA 6).

Tabela 6 - Quantidades e contribuições energéticas dos principais componentes automatizados e de climatização do galpão.

<b>Elementos analisados</b>	<b>Quantidades (kg)</b>	<b>Energia embutida (MJ)</b>
<i>Material Hidráulico</i>		
PVC*	180,0	21.598,20
Tubulação metálica	20,0	1.255,60
<i>Ferramentas e Serralheria</i>		
Materiais em aço	340,2	21.360,27
Plásticos	1,2	156,05
<i>Instalação Elétrica</i>		
Plásticos	120,0	15.604,80
Fios elétricos	400,0	18.008,00
<i>Comedouros</i>		
Tubulação metálica	967,5	60.739,65
PVC*	800,0	95.992,00
<i>Bebedouros</i>		
Tubulação metálica	450,0	28.251,00
PVC*	85,0	10.199,15
Exaustores	1.260,0	105.436,80
<i>Conjunto de Nebulização</i>		
Motobomba 0,75 cv	13,0	1.087,84
Tubulação de PVC*, juntas e nebulizadores de PVC*	110,0	13.198,90
<i>Sistema Pad Cooling</i>		
Motobomba 0,75 cv	13,0	1.087,84
Tubulação de PVC*	12,0	1.439,88
Painéis evaporativos	228,0	3.148,68
<b>Total:</b>		<b>398.564,66</b>

\*Policloreto de vinila.

A construção do galpão, somada à mão-de-obra utilizada, sistemas automatizados e de climatização contabilizaram um total de 3.293.064,77 MJ ou 1.219,65 MJ m<sup>-2</sup>, valor este análogo ao encontrado por Santos e Lucas Júnior (2004), para um galpão convencional de criação de frangos de corte, onde foram



necessários 1.212.780,52 MJ ou 1.031,27 MJ m<sup>-2</sup> de área construída. Angonese et al. (2006), trabalhando com galpão suinícola, estimaram um índice energético de 956,03 MJ m<sup>-2</sup> ou 835.880 MJ em um galpão de 874,32 m<sup>2</sup>, o que pode ser justificado pela maior simplicidade construtiva conferida às referidas instalações.

Veloso (2014), trabalhando com um sistema de criação de suínos com um plantel de 5.955 animais, obteve o gasto em instalações na ordem de 5.711.323,22 MJ, distribuídos em uma área de 5.974 m<sup>2</sup>, comprovando que os galpões com tipologia *Darkhouse* demandam grandes quantidades de energia, porém, promovem condições ambientais locais próximas à zona de neutralidade térmica, onde os animais puderam expressar todo seu potencial produtivo.



#### 4 CONCLUSÕES

O índice energético estimado por área interna do galpão foi de 1.072,04 MJ m<sup>-2</sup>, somente para a construção, e 1.219,65 MJ m<sup>-2</sup> ao se considerar o galpão tipologia *Darkhouse* somando-se os sistemas automatizados.

As operações de limpeza do terreno e movimentação de solo totalizaram 48,52% do total energético requisitado, de forma a posicionar o galpão no sentido leste-oeste.

Os materiais que mais demandaram energia na construção do galpão foram o aço e o cimento, representando 26,19% e 8,47% respectivamente do total energético investido, concernente à importante função estrutural destes componentes, estando presentes nos pilares, fechamentos e estrutura treliçada que suporta o telhado.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores expressam seus agradecimentos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudo, e à Fapemig, pelo auxílio na condução dos trabalhos da equipe.

## REFERÊNCIAS

ANGONESE, A. et al. 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, jul./set. 2006.

BAJAY, S. V.; SANTANA, P. H. M. **Oportunidades de eficiência energética para a indústria**: relatório setorial: cal e gesso. Brasília, DF: CNI, 2010. 42 p.

BINNING, A. S.; PATHAK, B. S.; PANESAR, B. S. **The energy audit of crop production system**: research report, school of energy studies for agriculture. Ludhiana: Punjab Agricultural University, 1983.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanco energético nacional**. Brasília, DF, 2001. 154 p.

CAMIOTO, F. C.; REBELATTO, D. A. N. Análise da contribuição ambiental por meio da alteração da matriz energética do setor brasileiro de ferro-gusa e aço. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 21, n. 4, p. 732-744, 2014.

CAMPOS, A. T. et al. Análise energética na produção de feno de *Cynodon dactylon* (L.) pers. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 349-358, maio/ago. 2005.

CAMPOS, A. T. et al. Custo energético de construção de uma instalação para armazenagem de feno. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 4, p. 667-672, 2003.

DAMASCENO, F. D. et al. Avaliação do bem-estar de frangos de corte em dois galpões comerciais climatizados. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 4, p. 1031-1038, jul./ago. 2010.

DOERING III, O. C. Accounting for energy in farm machinery and buildings. In: PIMENTEL, D. (Ed.). **Handbook of energy utilization in agriculture**. Boca Raton: CRC, 1980. p. 9-14.

FERNANDES, M. P.; SOUZA, A. M. T. Balanço energético: o consumo de energia na construção civil. **Revista Brasileira de Tecnologia**, Brasília, DF, v. 13, n. 3, p. 22-36, 1982.

FUNCK, S. R.; FONSECA, R. A. Avaliação energética e de desempenho de frangos com aquecimento automático a gás e a lenha. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 1, p. 91-97, 2008.

JASPER, S. P. et al. Análise energética da cultura do crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) produzida em plantio direto. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 3, p. 395-403, 2010.

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

PIMENTEL, D. **Handbook of energy utilization in agriculture**. Boca Raton: CRC, 1980. 475 p.

PULSELLI, R. M.; SIMONCINI, E.; MARCHETTINI, N. Energy and emergy based cost-benefit evaluation of building envelopes relative to geographical location and climate. **Building and Environment**, Oxford, v. 44, p. 920-928, 2009.

SANTOS, T. M. B.; LUCAS JÚNIOR, J. Balanço energético em galpão de frangos de corte. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 25-36, jan./abr. 2004.

SARTORI, L. et al. Energy use and economic evaluation of a three year crop rotation for conservation and organic farming in NE Italy. **Biosystems Engineering**, Oxford, v. 91, p. 245-256, 2005.

VELOSO, A. V. **Análise ambiental e energética de sistema de produção de suínos com tratamento de dejetos em biodigestor**. 2014. 192 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

VELOSO, A. V. et al. Energetic efficiency of a deep bed swine production system. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 6, p. 1068-1079, nov./dez. 2012.

ZANINI, A. et al. Análise do consumo de energia na produção de silagem de milho em plantio direto. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 25, n. 2, p. 249-253, 2003.

ZHANG, Z. Y.; WANG, B. Hybrid input-output analysis for life-cycle energy consumption and carbon emissions of China's building sector. **Building and Environment**, Oxford, v. 104, p. 188-197, May 2016.





**ARTIGO 2 BALANÇO DE ENERGIA EM SISTEMA DE PRODUÇÃO  
DE FRANGOS DE CORTE COM INSTALAÇÃO DO TIPO  
*DARKHOUSE***

**ENERGY BALANCE IN BROILER CHICKEN PRODUCTION SYSTEM  
WITH DARKHOUSE INSTALLATION**

**ARTIGO FORMATADO DE ACORDO COM A NBR 6022 (ABNT, 2003),  
ADAPTADO A NORMA DA UFLA.**

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi realizar uma avaliação da sustentabilidade de um sistema de criação de frangos de corte, confinados em galpões com tipologia *Darkhouse*, por meio da análise energética. Foram considerados os fluxos de energia referentes a um ciclo completo de produção, 56 dias, onde foram computadas as entradas e saídas de energia, na forma direta e indireta, por meio da estimativa da energia proveniente do quantitativo de ração, água, máquinas e equipamentos, trabalho humano, galpões, silos, dentre outros que compõem o sistema produtivo, multiplicando-se pelos seus respectivos coeficientes energéticos. Foram encontradas a demanda total de energia pelo sistema em um ciclo de produção, a energia necessária para produção de 1 kg de frango vivo e o coeficiente de eficiência energética do mesmo. O sistema estudado apresentou um coeficiente de conversão da energia de 95%, demonstrando que o modelo de produção possui alta eficiência de conversão da energia e se enquadra como um modelo sustentável. Foram necessários 37,55 MJ de energia, em média, para a produção de 1 kg de frango vivo. Apesar de se mostrar como uma ferramenta adequada na avaliação da sustentabilidade de biosistemas, a literatura abrangendo esta temática se mostra deficiente, principalmente dos sistemas produtivos brasileiros.

**Palavras-chave:** Sustentabilidade. Análise energética. Construções rurais. Avicultura. Instalações para aves de corte.

## ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the sustainability of a broiler chicken production system, with confinement in Darkhouse sheds, by energetic analysis. The energy flows of a complete production cycle, 56 days, was considered, of which were computed the energy inputs and outputs, in direct and indirect forms, by estimating the energy derived from the quantitative of feed, water, machinery and equipment, human labor, sheds, silos, among other components of the productive system, multiplied by their respective energetic coefficients. The total energy demand of a system in a production cycle, for the production of 1 kg of live chicken and its energy efficiency coefficient were determined. The studied system presented energy conversion coefficient of 95%, demonstrating that the production model has high energy conversion efficiency and fits a sustainable model. In average, 37.55 MJ of energy were necessary for the production of 1 kg of live chicken. Despite showing an adequate tool for evaluating the sustainability of biosystems, literature regarding this theme is deficient, especially concerning Brazilian production systems.

**Keywords:** Sustainability. Energy analysis. Livestock buildings and environment. Aviculture. Broiler chicken facilities.



## 1 INTRODUÇÃO

O mercado mundial de carne de frango no ano de 2014 correspondeu a uma produção total de 86,077 milhões de toneladas, onde o Brasil foi responsável por 14,74% deste total, ficando atrás somente dos EUA com 20,04% e da China com 15,10% do total de carne de frango produzida (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL - ABPA, 2015).

Com o avanço da tecnologia empregada nos sistemas produtivos impulsionada pela maior demanda de produtos de origem animal com alta qualidade e quantidade, diversos modelos construtivos e instalações vêm sendo recomendados para a criação de frangos de corte. Onde as instalações são dimensionadas para o acondicionamento térmico natural, recomendado para sistemas de menor tecnificação, e sistemas com acondicionamento térmico artificial, climatizados e recomendados para produtores altamente tecnificados (COSTA et al., 2010).

Os sistemas climatizados são cada vez mais utilizados por produtores de aves, em virtude dos ganhos em produtividade obtidos por tais sistemas. Os sistemas de criação de frangos em *Darkhouse* se mostram altamente eficientes em conversão alimentar, o qual foi comparado a um sistema de criação convencional obtendo produção significativamente maior (CARVALHO et al., 2015).

Um mecanismo utilizado para a avaliação de sistemas produtivos é o balanço de energia, estabelecendo os fluxos de energia na produção estudada, identificando sua eficiência em conversão da energia através da relação energia convertida por energia consumida e também a energia necessária para se produzir 1 kg de produto (VELOSO et al., 2012).

As análises energéticas, por sua vez, podem ser elaboradas afim de se avaliar as condições de sustentabilidade dos agroecossistemas, identificando

deficiências, propondo adequações, otimizações, dentre outros, de forma a tornar a atividade mais eficiente em termos produtivos (CAMPOS; CAMPOS, 2004).

Neste sentido, os estudos com base na energia envolvida no processo produtivo ainda são pouco estudados, com destaque para a literatura brasileira, onde poucos pesquisadores atuam nesta linha de pesquisa. O problema se agrava quando não existem coeficientes energéticos específicos para determinado componente estudado, que incluam a energia fóssil consumida durante a extração, fabricação e transporte das matérias-primas e demais produtos, adaptado às condições atuais e locais da área estudada (VIGNE et al., 2012).

Portanto, objetivou-se com o presente trabalho, realizar a análise energética de um sistema de criação de frangos de corte, em sistema tipo *Darkhouse*, determinando a eficiência energética, a demanda energética total e mensurar as condições referentes à sustentabilidade do biosistema estudado.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em uma granja comercial de frangos de corte, pertencente ao grupo Frangos Atalaia, situada no município de Coronel Xavier Chaves, mesorregião do Campo das Vertentes, estado de Minas Gerais. Possui altitude média de 970 metros, latitude 21°02'42" sul e longitude 44°10'10" oeste, com clima subtropical úmido (Cwa), segundo classificação climática de Köppen-Geiger, com estações do ano bem definidas, chuva no verão e seca no inverno. Temperatura média anual de 20,2 °C e 1.450 mm de pluviosidade anual média.

O período de estudo compreende um ciclo completo de produção de frangos, ou seja, 56 dias. Dentre eles, 11 são de vazio sanitário, onde são realizadas as operações para retirada da cama-de-frango do ciclo anterior, higienização do galpão, descanso e distribuição de novo material de cama destinado ao novo lote, e 45 dias, aproximadamente, para entrada dos pintinhos de 1 dia, crescimento, engorda e saída dos animais para o abate.

A delimitação da fronteira do sistema se fez coincidente com a área total referente às atividades produtivas, com aproximadamente 40.000 m<sup>2</sup>, possuindo dois galpões do tipo *Darkhouse*, casa do caseiro, composteira para descarte de animais mortos, casa de gerador, dois silos de fundo cônico para armazenamento de ração e um conjunto de caixas de água.

Na metodologia do balanço de energia é necessário levar em consideração todas as entradas e saídas da energia nas delimitações da fronteira do sistema, onde as entradas são classificadas em diretas e indiretas (ANGONESE et al., 2006; JASPER et al., 2010; QUESADA et al., 1991; SOUZA et al., 2009; VELOSO, 2014; VELOSO et al., 2012). As energias diretas são aquelas consumidas ou incorporadas totalmente no período em estudo, enquanto que a energia indireta contribui em mais de um ciclo produtivo, sendo diluído seu custo energético ao longo da vida útil do componente.

Dentre as principais energias diretas de entrada, destacou-se a serragem, material utilizado como cama, que foi adquirida de fornecedor da região, sendo a quantidade de 30 toneladas por aviário. De acordo com informações históricas da empresa, o consumo diário de ração é de 7.100 kg e a necessidade média de água é de 16.000 litros, para os dois aviários. Os tratores que são utilizados para transporte, deposição e revolvimento da cama consumiram um total de 320 litros de combustível.

Para a contabilização das consideradas energias indiretas, foram realizados os cálculos de depreciação energética segundo metodologia descrita por Doering III, Considine e Harling (1977), que levaram em consideração os dias de utilização em função da vida útil dos equipamentos.

Neste caso foram considerados 56 dias de uso de toda a infraestrutura da propriedade, tais como galpões, conjunto motor-gerador, fornalhas, caixas de água, silos, caminhão, tratores e equipamentos em geral, depreciados energeticamente de acordo com a vida útil inerente a cada, com auxílio de informações da literatura e em seus respectivos manuais.

Após o período de vazio sanitário, foram dispostas nos galpões 78.000 aves em 4.959 m<sup>2</sup>, cada ave com, aproximadamente, 46,5 gramas. Ao final do ciclo os animais apresentaram peso médio de 2.600 gramas, totalizando 197.600 kg de peso vivo e com uma deposição média de 220 toneladas de resíduos sobre a cama, que foi comercializada com produtores de vegetais da região.

O tratamento de todos os resíduos gerados na atividade foi feito por meio da compostagem. A cama de serragem sobre a qual os animais são criados funciona como uma composteira que recebe os resíduos produzidos, como os dejetos, penas, ração, água desperdiçada, poeira, dentre outros materiais decorrentes do processo criatório. A cama e os materiais foram revolvidos de três a quatro vezes aproximadamente por ciclo, homogeneizando o composto e garantindo características adequadas de estabilização da matéria orgânica. Os



animais mortos, perdas de 3 a 4%, são dispostos em composteira de alvenaria dentro da propriedade.

O sistema de aquecimento, destinado aos animais jovens, é comandado por controlador próprio acoplado a cada fornalha, que aquece o interior da instalação por meio da queima de lenha. Estão dispostas nas laterais do galpão e foram utilizadas somente nos primeiros 15 dias de cada ciclo.

Para o cálculo do balanço energético foram computadas todas as entradas de energia no sistema, divididas entre energia direta (TABELA 1) e energia indireta (TABELA 2). Em seguida efetuou-se a conversão das quantidades em unidades de energia, onde obteve-se o total de energia que sai do sistema, finalizando assim o balanço de energia.

Tabela 1 - Entradas de energia direta relativa a cada componente e seus respectivos coeficientes energéticos.

<b>Componentes de entrada direta (Inputs)</b>	<b>Quantidades</b>	<b>Coeficiente energético</b>	<b>Referência</b>
Pintinhos de 1 dia	3.627,0 kg	21,94 MJ kg <sup>-1</sup> *MS <sup>-1</sup>	Santos e Lucas Junior (2004)
Ração	320.000,0 kg	17,46 MJ kg <sup>-1</sup>	Angonese et al. (2006)
Água	720.000,0 L	0,63 MJ m <sup>-3</sup>	Yilmaz, Akcaoz e Ozkan (2005)
Energia elétrica	8.971,4 kWh	5,65 MJ kWh <sup>-1</sup>	Meul et al. (2007)
Diesel	320,0 L	47,48 MJ L <sup>-1</sup>	Pimentel (1980)
Lubrificantes	20,0 kg	43,38 MJ kg <sup>-1</sup>	Jasper et al. (2010)
Serragem para cama-de-frango	60.000,0 kg	19,20 MJ kg <sup>-1</sup>	Funck e Fonseca (2008)
Lenha para fornalha	28.800,0 kg	19,20 MJ kg <sup>-1</sup>	Funck e Fonseca (2008)
Trabalho humano	1.888,0 horas	0,39 MJ h <sup>-1</sup>	Fernandes e Souza (1982)
Insumos veterinários	160,0 kg	99,00 MJ kg <sup>-1</sup>	Mudahar e Hignett (1987)

(\*) Matéria seca.

Tabela 2- Entradas de energia indireta relativa às instalações, máquinas e equipamentos e seus respectivos coeficientes.

<b>Componentes de entrada indireta (Inputs)</b>	<b>Quantidades</b>	<b>Vida Útil</b>	<b>Coeficiente energético</b>	<b>Referência</b>
Galpões <i>Darkhouse</i>	1.558,8 m <sup>2</sup>	40 anos	1.208,17 MJ m <sup>-2</sup>	Campos et al. (2003)
Composteira	59,0 m <sup>2</sup>	40 anos	1.208,17 MJ m <sup>-2</sup>	Campos et al. (2003)
Casa do gerador	50,4 m <sup>2</sup>	40 anos	1.208,17 MJ m <sup>-2</sup>	Campos et al. (2003)
Caixas d'água de fibra	67.000,0 L	40 anos	46,30 MJ kg <sup>-1</sup>	Heidari, Omid e Akram (2011)
Silos de ração em aço	29.900,0 kg	25 anos	62,78 MJ kg <sup>-1</sup>	Pimentel (1980)
Sistemas automatizados	3.450,9 kg	10 anos	83,68 MJ kg <sup>-1</sup>	Santos e Lucas Junior (2004)
Trator <i>Bobcat</i>	2.465,0 kg	10.000 horas	57,20 MJ kg <sup>-1</sup>	Pimentel (1980)
Trator monociclo <i>Husqvarna TR430</i>	92,0 kg	10.000 horas	57,20 MJ kg <sup>-1</sup>	Pimentel (1980)
Gerador	2.747,0 kg	10.000 horas	57,20 MJ kg <sup>-1</sup>	Pimentel (1980)
Fornalhas	1.080,0 kg	15 anos	62,78 MJ kg <sup>-1</sup>	Pimentel (1980)
Caminhão truck caçamba	23.000,0 kg	10.000 horas	57,20 MJ kg <sup>-1</sup>	Pimentel (1980)

Para o cálculo da eficiência energética do sistema ( $\eta$ ) empregou-se a equação definida por Quesada et al. (1991):

$$\eta = \frac{\Sigma E \text{ Convertida}}{\Sigma E \text{ Consumida}}$$

Em que:

- $\Sigma$  Energia Consumida =  $\Sigma$  (ED consumida + EI consumida);
- $\eta$  – eficiência energética do sistema;
- Energia Convertida – estimativa de energia que sai do processo de produção;

- d) Energia Consumida – estimativa de energia de entrada envolvida no processo de produção;
- e) ED – estimativa de energia direta;
- f) EI – estimativa de energia indireta.



### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a obtenção do total de energia envolvida no processo, foram realizados os cálculos de conversão das quantidades de insumos utilizados em um único ciclo de produção, representados pelas entradas de energia na forma direta e também os gastos inerentes à depreciação com base energética, energia indireta, referente a 56 dias de utilização dos componentes contribuintes em mais de um ciclo produtivo.

Na Tabela 3 estão caracterizados os principais componentes utilizados no sistema e suas respectivas contribuições energéticas, representando as entradas de energia na forma direta e indireta deste estudo de balanço de energia.

Tabela 3 - Entradas de energia direta e indireta no sistema de produção de frangos de corte expressos em MJ.

(Continua)

<b>Entradas de Energia (<i>Inputs</i>)</b>	<b>Energia de Entrada (MJ)</b>
<i>Energia Direta</i>	
Pintinhos de 1 dia	19.870,22
Ração	5.587.200,00
Água	453,60
Energia elétrica	50.688,41
Diesel	15.193,60
Lubrificantes	867,60
Serragem para cama-de-frango	1.152.000,00
Lenha para fornalha	552.960,00
Trabalho humano	729,52
Insumos veterinários	15.540,00

Tabela 3 - Entradas de energia direta e indireta no sistema de produção de frangos de corte expressos em MJ.

(Conclusão)

<b>Parcial 1:</b>	<b>7.395.502,95</b>
<i>Energia Indireta</i>	
Galpões <i>Darkhouse</i>	7.222,44
Composteira	273,37
Casa do gerador	233,52
Caixas d'água de fibra	92,04
Silos de ração em aço	231,17
Sistemas automatizados	442,98
Trator <i>Bobcat</i>	4.229,94
Trator monociclo <i>Husqvarna TR430</i>	151,56
Gerador	754,22
Fornalhas	692,94
Caminhão truck caçamba	10.524,80
<b>Parcial 2:</b>	<b>24.848,97</b>
<b>TOTAL:</b>	<b>7.420.351,92</b>

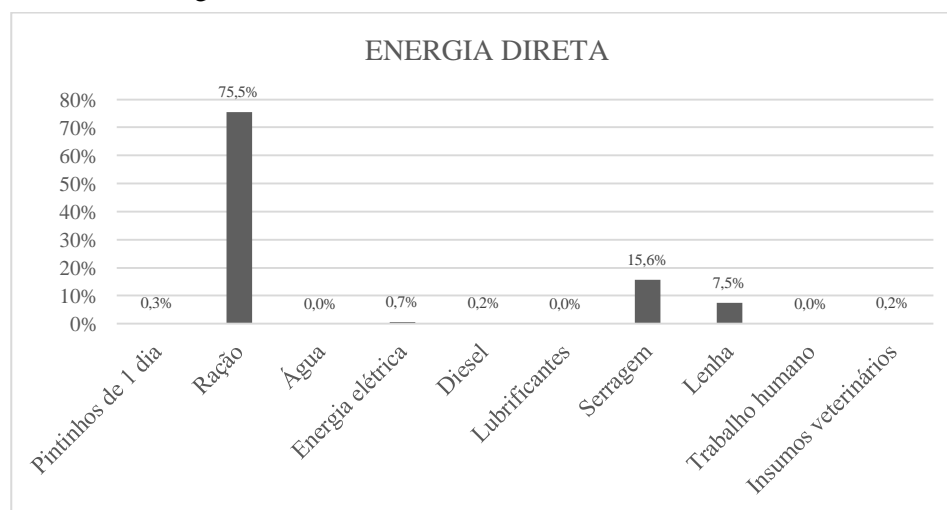
Como pode-se observar na Figura 1, a maior quantidade de energia direta que entra no sistema foi proveniente da ração com 75,55%, fato este também observado por diversos autores, assim como Santos e Lucas Junior (2004) onde realizaram o balanço energético de um sistema de criação convencional de frangos de corte onde o item ração foi o insumo que mais demandou energia, representando 86,50% do total de energia direta. Este insumo, assim como verificado na literatura, representa o principal ponto estrangulador dos sistemas de produção agropecuários modernos.

Trabalhando com análise energética de um sistema de produção de suínos sobre cama-sobreposta, Veloso et al. (2012) também identificaram a ração como o item que mais requereu energia na forma direta com 80,57%, valor este próximo ao observado por Souza et al. (2009) com a 80,26% e Lammers et al. (2012) com 81,02% das entradas em energia direta advindas da ração.

Entretanto, o valor encontrado por Veloso (2014) é representativo de quase toda a energia gasta de forma direta, contribuindo com 98,18% do total de entrada direta em um sistema de produção de suínos em ciclo completo com instalações convencionais.

Neste sentido, em estudo similar, Angonese et al. (2006) apontaram o gasto de 95,28% da energia direta com ração, demonstrando que assim como no presente trabalho, a ração é o insumo de maior demanda energética em sistemas de produção de carne, caracterizando assim o principal ponto estrangulador de energia dos sistemas estudados. Há a necessidade de desenvolvimento de dietas ou tecnologias para uma maior conversão alimentar ou menores gastos com ração, garantindo maiores acréscimos em produção.

Figura 1 - Contribuição energética dos componentes analisados como forma de energia direta.



O segundo maior consumidor de energia foi correspondente à madeira, utilizada tanto como material de cama para os frangos quanto como fonte energética para o aquecimento de animais jovens, contribuindo com 23,05% do

total de energia direta que entra no sistema. Segundo Funck e Fonseca (2008), o gasto energético com aquecimento de frangos por meio da lenha foi de 173,21 GJ lote<sup>-1</sup>, enquanto que o encontrado neste estudo foi de 276,48 GJ lote<sup>-1</sup>, possivelmente devido ao maior tamanho da área que foi aquecida nos galpões estudados, sendo 4.950 m<sup>2</sup> aproximadamente para os dois galpões, contra 1.200 m<sup>2</sup> de área interna referente ao estudo dos autores retromencionados.

Ainda sobre o gasto de energia com madeira, mais especificamente com material de cama-de-frango, observou-se o dispêndio de 15,52% do total das entradas diretas, neste mesmo sentido Santos e Lucas Junior (2004) computaram um gasto total de 121,77 MJ ou 4,96% do total de energia que entra no sistema advindo da maravalha utilizada como material de cama-de-frango. No balanço de energia feito por Veloso et al. (2012) o gasto referente à cama-sobreposta de serragem, mesmo material utilizado no sistema em estudo, foi da ordem de 11,90% dos inputs de energia.

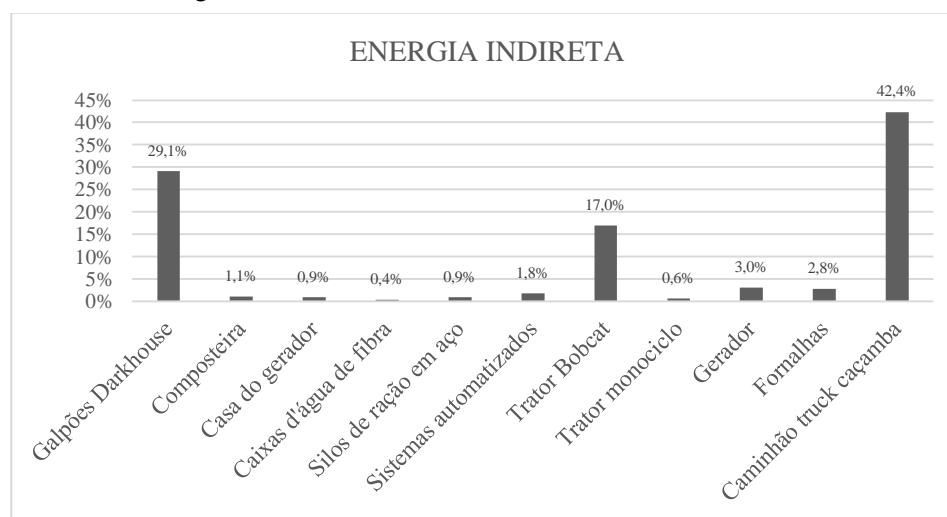
Quanto ao uso de energia elétrica foi encontrado um gasto por ciclo de produção de 50.688,41 MJ ou 0,7% do total empregado no sistema, valor superior ao encontrado por Santos e Lucas Junior (2004) com 0,4%, o que pode ser explicado pela alta exigência em energia elétrica dos sistemas automatizados de criação, em especial os sistemas tipo *Darkhouse*, que são extremamente dependentes de energia para o funcionamento dos equipamentos e controladores.

Para obtenção dos valores das entradas de energia na forma indireta (FIGURA 2) foram realizados os cálculos de depreciação energética, ou seja, depreciação em termos energéticos dos componentes envolvidos em um ciclo período de produção, com base na quantidade de horas em utilização no tocante à vida útil e massa dos mesmos. Nota-se a maior contribuição em energia proveniente das máquinas, que são utilizadas para o transporte e manejo da cama-de-frango, sendo 42,35 e 17,63% correspondentes ao caminhão e aos tratores, respectivamente.



O segundo componente de maior contribuição foram as instalações, com 29,06% do total de entradas de energia na forma indireta. O percentual total de energia empregada na forma indireta foi de 0,33%, enquanto que os 99,67% restantes corresponderam à energia direta, não foram encontradas semelhantes proporções em trabalhos de balanço de energia em criação de frangos de corte, porém Souza et al. (2009) encontraram a proporção de 98,25% para 1,75% de consumo de energia indireta e direta, respectivamente. Valor mais próximo ainda ao obtido no presente trabalho remete também à sistema de criação de suínos onde 99,70% da energia utilizada se deu de forma direta (VELOSO et al., 2012). Em trabalho de criação de frangos para o abate, Santos e Lucas Junior (2004) descreveram uma proporção de 51,2% da energia que entra no sistema provém da energia de máquinas e equipamentos, enquanto que 48,8% correspondem à energia direta.

Figura 2 - Contribuição energética dos componentes analisados como forma de energia indireta.

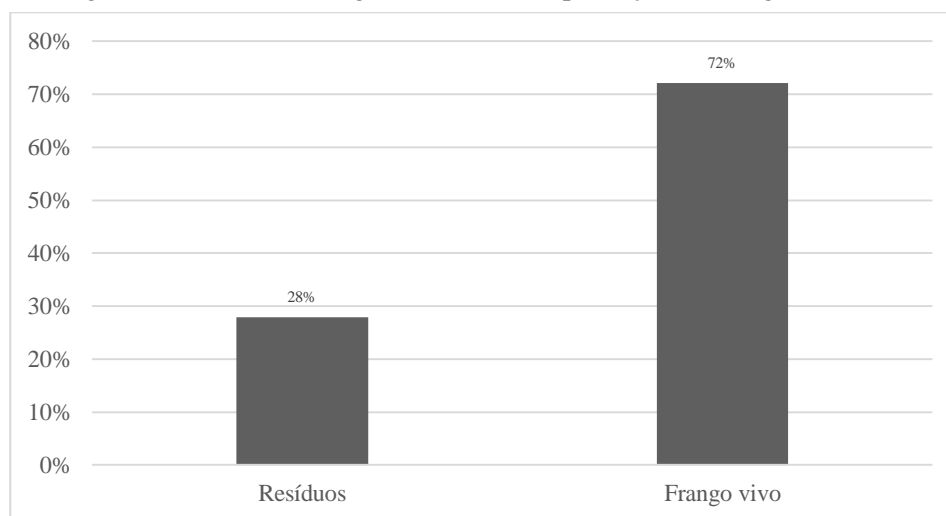


Conforme a Tabela 4 e Figura 3, as principais saídas de energia do sistema se deram por frangos (carne) e material de compostagem (adubo orgânico), advindo da cama-de-frango e da compostagem de animais mortos, sendo desconsideradas as perdas representadas por vapor de água e gases (gás carbônico, amônia, dentre outros) que escapam da fronteira do sistema.

Tabela 4 - Saídas de energia do sistema de produção de frangos de corte expressos em MJ.

Saídas de Energia (Outputs)	Quantidade	Coefficiente Energético	Referência	Energia de Saída (MJ)
Cama-de-frango e compostagem de animais	130.000 kg MN	15,23 MJ kg <sup>-1</sup> MS <sup>-1</sup>	Santos e Lucas Junior (2004)	1.976.000
Frangos vivos para o abate	197.600 kg MN	25,81 MJ kg <sup>-1</sup> MS <sup>-1</sup>	Santos e Lucas Junior (2004)	5.100.056
<b>Total:</b>				<b>7.076.056</b>

Figura 3 - Saídas de energia do sistema de produção de frangos de corte.



No estudo da energia envolvida neste sistema de produção (TABELA 5), foram necessários 7.420.351,91 MJ de energia (energia consumida) para se produzir 7.076.056,00 MJ de energia em produtos (energia convertida), ao passo que a eficiência energética ou eficiência de conversão da energia do sistema foi de 0,95 ou 95%. Não foram encontrados na literatura coeficientes de eficiência energética tão elevados para sistemas produtivos de carne, porém, diversos autores relataram valores de conversão entre 25,29 a 41,73% (SANTOS; LUCAR JUNIOR, 2004; SOUZA et al., 2009; VELOSO, 2014; VELOSO et al., 2012).

Em estudos de outros sistemas de produção animal, utilizando o balanço de energia em instalações, Angonese et al. (2006), Souza et al. (2009) e Veloso et al. (2012) obtiveram coeficientes de eficiência energética de 0,41, 0,38 e 0,31, respectivamente.

A quantidade de energia necessária para se produzir 1 kg de frango vivo para o abate (TABELA 5) foi de 37,55 MJ, valor este inferior ao encontrado por Santos e Lucas Junior (2004), trabalhando com frangos de corte criados em sistema convencional com instalações em madeira, de 69,04 MJ kg<sup>-1</sup> de frango vivo. Valores mais próximos ao encontrado neste estudo foram observados por Souza et al. (2009) e Veloso et al. (2012), trabalhando em estudo de análise energética de suinocultura, onde encontraram os valores de 41,73 e 53,35 MJ kg<sup>-1</sup> de suíno vivo para o abate.

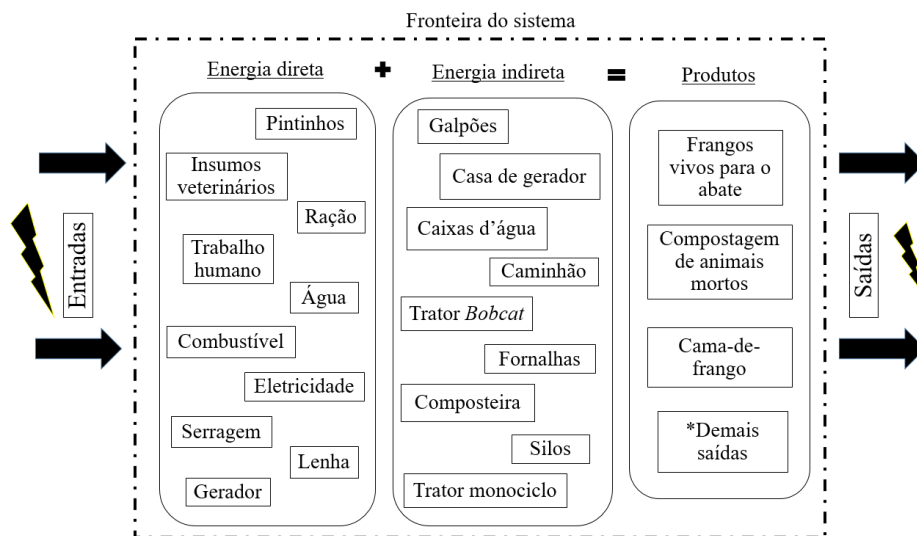
Poucos são os estudos envolvendo análise energética de bissistemas, representado na carência de dados na literatura, expressando a necessidade de mais trabalhos e coeficientes específicos para as condições brasileiras.

Tabela 5 - Balanço de entradas e saídas de energia (MJ) totais envolvidos no sistema de produção de frangos de corte criados no sistema *Darkhouse*, durante um ciclo produtivo (56 dias), eficiência energética e energia necessária para se produzir 1 kg de frango vivo para o abate.

<b>Indicadores</b>	<b>Energia (MJ)</b>
<i>Entradas (Inputs)</i>	
Energia Direta	7.395.502,95
Energia Indireta	24.848,96
Total entradas	7.420.351,91
<i>Saídas (Outputs)</i>	
Composto orgânico	1.976.000,00
Frangos	5.100.056,00
Total saídas	7.076.056,00
Saldo de Saídas - Entradas	-344.295,91
Eficiência energética	0,95
Energia investida em 1 kg de frango vivo	37,55

Os fluxos e divisão da energia referentes aos insumos e componentes envolvidos no biosistema estudado estão sumarizados na Figura 4.

Figura 4 – Fluxograma do sistema de produção de frangos de corte criados em galpão tipologia *Darkhouse*. Frangos Atalaia – Cel. Xavier Chaves.



(\*) Emissão de gases provenientes do processo digestório e de decomposição da matéria orgânica, vapores, infiltração e/ou percolação de água e nutrientes no solo.



#### 4 CONCLUSÕES

O sistema estudado se enquadrou como altamente sustentável, pois apresentou um coeficiente energético de 0,95; bastante superior aos demais sistemas estudados encontrados na literatura.

As entradas de energia na forma direta corresponderam por 99,67% do total, enquanto que as entradas na forma indireta (galpões, máquinas, etc.) representaram somente 0,33% do total de energia consumida.

O consumo de ração foi considerado o principal ponto estrangulador de energia do sistema, responsável por 75,55% do total de energia direta. Com relação às entradas de energia na forma indireta, destacam-se os materiais estruturais, como a madeira, o aço e o cimento.

Foram necessários 37,55 MJ de energia para se produzir 1 kg de frango vivo.

**AGRADECIMENTOS**

Os autores expressam seus agradecimentos à Frangos Atalaia, pela parceria, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudo, e à Fapemig, pelo auxílio na condução dos trabalhos da equipe.



## REFERÊNCIAS

ANGONESE, A. et al. 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, jul./set. 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. **Relatório anual 2015**. Disponível em: <<http://abpa.br.com.br/files/publicacoes/c59411a243d6dab1da8e605be58348ac.pdf>>. Acesso em: 20 maio 2016.

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

CAMPOS, A. T. et al. Custo energético de construção de uma instalação para armazenagem de feno. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 4, p. 667-672, 2003.

CARVALHO, R. H. et al. The effects of the dark house system on growth, performance and meat quality of broiler chicken. **Animal Science Journal**, New Jersey, v. 86, p. 189-193, 2015.

COSTA, F. G. P. et al. Scientific progress in the production of monogastric in the first decade of the twenty-first century. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 39, p. 288-302, 2010.

DOERING III, O. C.; CONSIDINE, T. J.; HARLING, C. E. **Accounting for tillage equipment and other machinery in agricultural energy analysis**. Indiana: Purdue University, 1977. 4 p. (Agricultural Experiment Station NSF/RA, 770128).

FERNANDES, M. P.; SOUZA, A. M. T. Balanço energético: o consumo de energia na construção civil. **Revista Brasileira de Tecnologia**, Brasília, DF, v. 13, n. 3, p. 22-36, 1982.

FUNCK, S. R.; FONSECA, R. A. Avaliação energética e de desempenho de frangos com aquecimento automático a gás e a lenha. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 1, p. 91-97, 2008.

HEIDARI, M. D.; OMID, M.; AKRAM, A. Optimization of energy consumption of broiler production farms using data envelopment analysis approach. **Modern Applied Science**, Ottawa, v. 5, p. 69-78, 2011.

JASPER, S. P. et al. Análise energética da cultura do crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) produzida em plantio direto. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 3, p. 395-403, 2010.

LAMMERS, P. J. et al. Energy use in pig production: an examination of current Iowa systems. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 90, n. 3, p. 1056-1068, Mar. 2012.

MEUL, M. et al. Energy use efficiency of specialized dairy, arable and pigfarms in Flanders. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Oxford, v. 119, p. 135-144, 2007.

MUDAHAR, M. S.; HIGNETT, T. P. Energy requirements, technology, and resources in the fertilizer sector. In: HELSEL, Z. R. (Ed.). **Energy in plant nutrition and pest control**. Oxford: Elsevier, 1987. v. 2, p. 25-62.

PIMENTEL, D. **Handbook of energy utilization in agriculture**. Boca Raton: CRC, 1980. 475 p.

QUESADA, G. M. et al. Energia, organização social e tecnologia. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria, v. 2, n. 2, p. 13-29, 1991.

SANTOS, T. M. B.; LUCAS JÚNIOR, J. Balanço energético em galpão de frangos de corte. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 25-36, jan./abr. 2004.

SOUZA, C. V. et al. 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.

VELOSO, A. V. **Análise ambiental e energética de sistema de produção de suínos com tratamento de dejetos em biodigestor**. 2014. 192 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

VELOSO, A. V. et al. Energetic efficiency of a deep bed swine production system. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 6, p. 1068-1079, nov./dez. 2012.

VIGNE, A. M. et al. Comparative uncertainty analysis of energy coefficients in energy analysis of dairy farms from two French territories. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 37, p. 185-191, July 2012.

YILMAZ, I.; AKCAOZ, H.; OZKAN, B. An analysis of energy use and input costs for cotton production in Turkey. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Oxford, v. 30, p. 145-155, 2005.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os sistemas de criação de frangos de corte em galpões do tipo *Darkhouse* foram implantados no Brasil recentemente e vêm se destacando como um modelo produtivo de alta eficiência na converção de proteína, porém pouco tem sido estudado no que se refere a aspectos relacionados à sustentabilidade.

Ao se contabilizar a energia empregada na construção de um galpão tipologia *Darkhouse*, pôde se notar a limitação de materiais que estão disponíveis no mercado, bem como a descrição do dispêndio energético para sua extração e processamento, o que ficou evidenciado na preponderância dos materiais utilizados, como a madeira, o aço e o cimento.

O estudo de análise energética do sistema de produção, com enfoque na avaliação da sustentabilidade do sistema, permitiu a confirmação da teoria de que a criação de animais em aviários modelo *Darkhouse* apresentam alta eficiência produtiva, além apresentar uma alta eficiência energética, se enquadrando como um sistema sustentável. A ração, assim como nos demais trabalhos mencionados, representou o principal ponto estrangulador de energia da atividade.

Ficou claro durante a condução do trabalho que a literatura abordando custos energéticos de construção e análise energética de maneira geral, apesar de sua grande aplicabilidade, se mostram, muita das vezes, dependente de trabalhos estrangeiros para referência, denotando-se, desta forma, a importância de maiores estudos nas condições brasileiras.