

**UNIVERSIDADE PAULISTA
PROGRAMA DE MESTRADO E DOUTORADO EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO**

**AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DA
PRODUÇÃO DE LEITE NO SUL DE MINAS GERAIS:
SUBSÍDIOS PARA UM PLANEJAMENTO
ESTRATÉGICO REGIONAL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista - UNIP, para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção.

MAX WILSON OLIVEIRA

São Paulo

2017

**UNIVERSIDADE PAULISTA
PROGRAMA DE MESTRADO E DOUTORADO EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO**

**AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DA
PRODUÇÃO DE LEITE NO SUL DE MINAS GERAIS:
SUBSÍDIOS PARA UM PLANEJAMENTO
ESTRATÉGICO REGIONAL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção (Doutorado) da Universidade Paulista (UNIP)

Orientador: Prof. Dr. Feni D. R. Agostinho.

Área de Concentração: Sustentabilidade em sistemas de Produção.

Linha de Pesquisa: Avanços em Produção mais Limpa e Ecologia Industrial.

Projeto de Pesquisa: Ecologia industrial: aplicação de conceitos visando à sustentabilidade.

MAX WILSON OLIVEIRA

São Paulo

2017

Oliveira, Max Wilson.

Avaliação da sustentabilidade da produção de leite no Sul de Minas Gerais: subsídios para um planejamento estratégico regional / Max Wilson Oliveira. - 2017.

138 f. : il. + CD-ROM.

Tese de Doutorado Apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista, São Paulo, 2017.

Área de Concentração: Sustentabilidade em Sistemas de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Feni Dalano Roosevelt Agostinho.

1. Leite. 2. Emergia. 3. Energia. 4. Emissões. 5. Sustentabilidade. I. Agostinho, Feni Dalano Roosevelt (orientador). II. Título.

BANCA EXAMINADORA

MAX WILSON OLIVEIRA

Data de aprovação: _____/_____/_____

BANCA EXAMINADORA

_____/_____
Prof Orientador Dr. Feni Dalano Roosevelt Agostinho
Universidade Paulista - UNIP

_____/_____
Prof. Dr. Biagio Fernando Giannetti
Universidade Paulista – UNIP

_____/_____
Prof^a Dra. Cecilia Maria Villas Boas Almeida
Universidade Paulista – UNIP

_____/_____
Prof. Dr. Luis Alberto Ambrósio
Instituto de Zootecnia - IZ

_____/_____
Prof. Dr. Luiz Carlos Dias da Rocha
Instituto Federal Sul de Minas Gerais – IFSULDEMINAS

DEDICATÓRIA

À Pietra Donderi Oliveira, filha tão querida, minha fonte de incentivo nesta importante etapa para nossa família.

AGRADECIMENTOS

À minha esposa Silvana e minha filha Pietra, pelo apoio, estímulo e compreensão, durante todo o tempo em que me dediquei ao curso.

Aos meus pais, Vera e Mervyn, que sempre me incentivaram a buscar novos conhecimentos, por meio do estudo.

Ao professor Feni Agostinho, que, com paciência e dedicação, me orientou. Juntos, finalizamos este trabalho de pesquisa.

Aos professores Biagio Fernando Giannetti, Cecília Maria Villas Boas de Almeida e Silvia Helena Bonilla, pelas saudáveis discussões e valiosas sugestões, visando aprimorar a qualidade deste estudo.

Aos colegas André, Hugo, Fátima e Luciana, pela companhia constante durante os cinco anos de rotina de viagens à São Paulo e também pelo seu auxílio técnico.

Ao colega Carlos Cesar da Silva, por me apresentar a Emergia e me conduzir à UNIP, para a realização deste curso de doutorado.

À todos os colegas de pós-graduação

Aos produtores de leite da região sul de Minas Gerais que me confiaram informações sobre seus sistemas de produção.

Aos professores e técnicos do IFSULDEMINAS, campus Inconfidentes-MG, que voluntariamente me auxiliaram em assuntos relacionados à agropecuária.

Aos técnicos do IMA e EMATER que me ajudaram durante as primeiras etapas deste estudo.

Aos Doutores e membros da banca dos exames de qualificação e defesa da tese - Feni, Biagio, Cecília, Luiz Carlos e Luís Alberto - pelas valiosas sugestões oferecidas, possibilitando que este trabalho fosse concluído de forma mais rica.

Ao IFSULDEMINAS, por me possibilitar, por meio do afastamento de minhas funções como professor, a dedicação a este estudo, em tempo integral.

Ao Programa de Suporte à Pós-Graduação de Instituições de Ensino Particulares – PROSUP/CAPES, pelo apoio financeiro, proporcionando-me recursos para a concretização deste projeto de doutorado.

RESUMO

Este estudo tem como principal objetivo a avaliação da sustentabilidade regional da produção de leite, considerando-se a região Sul de Minas Gerais como estudo de caso, com o intuito de apresentar subsídios aos gestores para um planejamento estratégico do setor. Indicadores derivados da metodologia de Síntese em Emergia, Energia Incorporada, Inventário de Emissões e outros indicadores de rentabilidade bruta e de mão de obra empregada na produção do leite, foram calculados para avaliar cinco sistemas produtivos representativos da região, sob os mais variados níveis de intensificação: sistemas semi-intensivos G1 e G2, sistema extensivo G3, sistemas intensivos com confinamento total dos animais G4 e G5. A avaliação regional considerou o cenário atual de distribuição destes sistemas na região e um outro cenário (alternativo), estabelecido com base no indicador Razão de Investimento em Emergia. Os resultados mostram que na comparação entre os sistemas da região, G1 pode ser considerado o mais sustentável, já que apresentou o melhor desempenho nos indicadores socioeconômicos e ambientais, exceto na Sustentabilidade Ambiental em Emergia, indicador no qual o G3 apresentou melhor desempenho. Observou-se que maior intensificação resulta em melhores indicadores de quantidade de mão de obra, maior produção, maior rentabilidade bruta e menor emissão gases de efeito estufa por quilograma de leite produzido. Com base no indicador Investimento em Emergia, os resultados em escala regional apresentam uma distribuição dos sistemas produtivos de leite diferente da atual: G1 (mantém-se em 1%), G2 (reduz-se de 17% para 1%), G3 (aumenta-se de 80% para 96%), G4 (mantém-se em 1%) e G5 (mantém-se em 1%). Na comparação entre os cenários observou-se que o Cenário Alternativo proporcionará uma melhora nos indicadores ambientais, entretanto, o número de pessoas empregadas na produção e a rentabilidade bruta regional pela venda do leite terão uma redução, na ordem de 10 e 47%, respectivamente.

Palavras-chave: Leite. Emergia. Energia. Emissões. Sustentabilidade.

ABSTRACT

This study aims to assess the regional milk production sustainability in the Southern Minas Gerais state region as a case study, to provide milk production managers with subsidies for a strategic sector planning. Indicators derived from the Energy Synthesis, Embodied Energy, Emissions Inventory, along with others of gross yield and labor in milk production were calculated to assess five representative production systems in the region, under various intensification levels: G1 and G2 semi-intensive systems, G3 extensive system, G4 and G5 intensive with total animal confinement system. The regional assessment considered the current scenario of distribution of these systems in the region, and one other (alternative) scenario, which was set based on the Energy Investment Ratio indicator. Results show that in comparison with the other systems, G1 could be considered the most sustainable, since it fared the best performances as for social-economic, and environmental indicators, except for energy environmental sustainability, in which G3 had the best performance. It was observed that higher intensification results in better indicators of amount of labor, larger production, higher gross yield, and lower GHG emission rates per kilogram of milk produced. Based on the Energy Investment Ratio indicator, results indicate a distribution of the production systems different from the current one: G1 (remains at 1%), G2 (falls from 17% to 1%), G3 (increases from 80% to 96%), G4 (remains at 1%), and G5 (remains at 1%). In the comparison among scenarios, it was observed that the Alternative Scenario will provide an improvement in environmental indicator rates. However, the number of people with a job in milk production, and the gross regional yield with milk selling will reduce 10% and 47%, respectively.

Keywords: Milk. Energy. Energy. Emissions. Sustainability.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Programas governamentais de incentivo ao produtor rural.....	21
Tabela 2. Estudos de emissões de GEE na produção do leite, país onde foi realizado e a unidade empregada.....	35
Tabela 3. Áreas ocupadas pelas principais plantações do Sul de Minas.....	40
Tabela 4. Modelo de tabela utilizado para a Síntese em Emergia.....	47
Tabela 5. UEVs utilizados para os cálculos de emergia neste trabalho.....	48
Tabela 6. Indicadores em emergia considerados neste estudo.....	49
Tabela 7. Configuração da tabela utilizada para a avaliação da energia incorporada	52
Tabela 8. Intensidades de energia e referências utilizadas neste estudo.....	53
Tabela 9. Configuração da tabela usada para calcular o Potencial de Aquecimento Global de cada sistema analisado.	54
Tabela 10. Coeficientes de Potencial de Aquecimento Global do Ecoinvent (2015).....	55
Tabela 11. Fatores de emissão de CH ₄ no período de um ano do 2º Inventário Brasileiro... <td>56</td>	56
Tabela 12. Resultado da análise de cluster para os sistemas de produção de leite do Sul de Minas Gerais.....	66
Tabela 13. Fluxos de entrada e emergia do sistema G1 (semi-intensivo)	69
Tabela 14. Fluxos de entrada e emergia do sistema G2 (semi-intensivo)	70
Tabela 15. Fluxos de entrada e emergia do sistema G3 (extensivo).....	71
Tabela 16. Fluxos de entrada e emergia do sistema G4 (intensivo).....	72
Tabela 17. Fluxos de entrada e emergia do sistema G5 (intensivo).....	73
Tabela 18. Fluxos anuais de emergia em E+15 sej/ha calculados para cada sistema deste estudo.....	75
Tabela 19. Quantidade anual de leite produzido, porcentagem de gordura e proteína presentes no leite de cada sistema avaliado neste estudo.....	82
Tabela 20. Energia incorporada e porcentagens de cada insumo dos sistemas G1, G2, G3, G4 e G5.....	83
Tabela 21. Potencial de Aquecimento Global dos sistemas produtivos de leite deste estudo.....	84

Tabela 22. Horas de trabalho e rendimento bruto, relativos a um ano, de cada sistema.....	88
Tabela 23. Representatividade dos sistemas na região Sul de Minas Gerais.	91
Tabela 24. Indicadores da região Sul de Minas Gerais para o Cenário Atual.....	91

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de fluxos de emergia agregados.....	36
Figura 2. Etapas para a análise da produção de leite na região Sul de Minas Gerais.....	38
Figura 3. Identificação da região sul do estado de Minas Gerais	39
Figura 4. Modelo Imput-State-Output proposto por Coscieme et al. (2013).....	44
Figura 5. Modelo Entrada-Estado-Saída específico deste estudo.....	44
Figura 6. Diagrama genérico de um sistema produtivo.	46
Figura 7. Procedimentos de cálculo dos índices em emergia.....	51
Figura 8. Esquema dos processos de incorporação de energia em um produto	52
Figura 9. Emissões contabilizadas neste estudo.....	54
Figura 10. Representação geral de um gráfico Box Plot.	59
Figura 11. Fluxograma dos passos adotados para os cálculos e seleção dos EIR.	62
Figura 12. Dendrograma da análise de cluster dos sistemas de produção de leite do Sul de Minas Gerais.....	65
Figura 13. Diagrama de fluxos de energia representativo dos sistemas produtores de leite na região sul de Minas Gerais.	68
Figura 14. Indicadores de renovabilidade (%R) de sistemas de produção de leite.....	76
Figura 15. Razão de rendimento em emergia de sistemas de produção de leite	77
Figura 16. Razão de carga ambiental de sistemas de produção de leite.....	78
Figura 17. Indicadores de razão de investimento ambiental de sistemas de produção de leite.....	79
Figura 18. Indicadores de Sustentabilidade ambiental de sistemas de produção de leite. ...	80
Figura 19. Valor da transformidade do leite em sistemas de produção de leite.....	81
Figura 20. Emissões de CO _{2eq} por diversas UFs de variados estudos.....	85
Figura 21. Analise do Potencial de Aquecimento Global em CO _{2eq} /kg _{ECM} em cada sistema. 87	
Figura 22. Comparativo dos indicadores de sustentabilidade dos sistemas de produção da região Sul de Minas Gerais.....	89

Figura 23. Relação entre o EIR regional, a distribuição dos sistemas de produção de leite e a produção total de leite na região Sul de Minas Gerais. 93

Figura 24. Gráfico comparativo entre o Cenário Atual e Alternativo 95

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	15
2.	OBJETIVOS	18
2.1.	Objetivo Geral.....	18
2.2.	Objetivos Específicos	18
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1.	O leite no Brasil	19
3.2.	Síntese em Emergia	24
3.2.1.	Emergia na Pecuária de Leite: Estado da Arte	25
3.3.	Energia Incorporada	27
3.3.1.	Energia Incorporada na Pecuária de Leite: Estado da Arte.....	28
3.4.	Inventário de emissões: Potencial de Aquecimento Global.....	29
3.4.1.	Emissões de Gases de Efeito Estufa na Pecuária de Leite: Estado da Arte ..	31
3.5.	Alternativas para o desenvolvimento	35
4.	MATERIAIS E MÉTODOS	38
4.1.	Região Sul do Estado de Minas Gerais	39
4.2.	Coleta de dados sobre os sistemas de produção	40
4.3.	Análise de Cluster.....	41
4.4.	Unidades Funcionais	42
4.5.	Sustentabilidade: Modelos conceituais e indicadores	43
4.6.	Síntese em Emergia	44
4.7.	Energia Incorporada	52
4.8.	Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa.....	53
4.9.	Indicadores social e econômico	57
4.10.	Análise dos sistemas de produção de leite do Sul de Minas Gerais	58
4.11.	Elaboração do Cenário Alternativo	60
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	64

5.1. Caracterização dos sistemas de produção de leite existentes na região Sul de Minas Gerais	64
5.2. Avaliação comparativa da sustentabilidade dos sistemas de produção de leite	67
5.2.1. Síntese em Emergia dos sistemas de produção de leite.....	67
5.2.2. Energia incorporada dos sistemas de produção de leite.....	82
5.2.3. Potencial de Aquecimento Global dos sistemas de produção de leite	84
5.2.4. Indicadores Social e econômico dos sistemas de produção de leite	87
5.2.5. Comparação entre os sistemas produtivos do Sul de Minas Gerais	88
5.3. Cenário atual	91
5.4. Alternativa para desenvolvimento da produção de leite: Cenário alternativo.....	92
5.5. Avaliação comparativa entre os cenários Atual e Alternativo	94
6. CONCLUSÕES	97
7. PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS	99
8. REFERÊNCIAIS BIBLIOGRÁFICOS	100
9. ADENDOS.....	111
9.1. Apêndice A. Renovabilidades parciais utilizadas neste estudo.	111
9.2. Apêndice B: Dados para a análise de cluster.....	112
9.3. Apêndice C: Memorial de cálculo de cada sistema de produção.	114
9.4. Apêndice D: Tabelas de cálculo da energia incorporada em cada sistema.....	126
9.5. Apêndice E: Tabelas de cálculos de PAG de todos os sistemas devido à queima de combustíveis fósseis.....	129
9.6. Apêndice F: Tabelas dos cálculos do PAG devido à fermentação entérica na digestão dos bovinos e de manejo de dejetos nos sistemas do Sul de Minas Gerais analisados.	134
9.7. Apêndice G: Dados para confecção do gráfico Box Plot das emissões de kgCO _{2eq} em diversos estudos pelo mundo.....	136
9.8. Apêndice H: Valores calculados de EIR, com percentual da área de cada sistema e a produção.....	137
9.9. Anexo A: Símbolos utilizados na confecção de diagramas de emergia.....	138

1. INTRODUÇÃO

O Leite de vaca, fonte de proteínas, vitaminas, minerais e energia está entre os alimentos mais consumidos em todo o mundo. O Brasil é um grande produtor, ocupando atualmente a quarta posição no ranking de produção mundial de leite, sendo responsável por 5,3% da produção global, inferior a Índia (25%), Estados Unidos (16,4%) e China (6,8%) (USDA, 2015). Com produtores distribuídos por praticamente todo o território nacional, empregando mais de 3 milhões de pessoas em toda sua cadeia produtiva, produção de 34 bilhões de litros (em 1990 este valor era de 19,5) e uma meta de atingir 41 bilhões de litros em 2023 tornam o leite um produto agropecuário de grande importância social e econômica para o país (CEPEA, 2013).

De acordo com o IBGE (2013) aproximadamente 80% dos produtores brasileiros produzem diariamente menos de 200 litros de leite, utilizando sistemas de produção denominados de extensivos, onde pastagens geralmente degradadas são a base da alimentação dos rebanhos. Adicionalmente, os animais possuem reduzido potencial genético para produção de leite e baixa persistência de lactação, o que resulta em baixo valor de produtividade anual, que chega a 336 L_{leite}/cabeça (média de Roraima) (IBGE 2010).

Há também sistemas mais tecnificados que possuem maior produtividade, pois utilizam de conhecimentos técnicos, animais com genética adequada à produção de leite, alimentação balanceada a base de ração e forrageiras, instalações que propiciam maior conforto aos animais, além de rigoroso controle contábil da produção; de acordo com EMBRAPA (2012), a representatividade destes sistemas ainda é pequena no Brasil (3%), mas pode alcançar uma produtividade anual de até 15.000 L_{leite}/cabeça. Os produtores restantes têm produtividade intermediária entre estes extremos. Dados do IBGE (2013) apontam que a intensificação da produção de leite no Brasil iniciada na década de 90 resultou em aumento da produtividade média anual de 759 L_{leite}/cabeça em 1990 para 1.471 L_{leite}/cabeça em 2013, ainda distante de países como os Estados Unidos (9.593

$L_{leite}/cabeça$), Espanha (7.497 $L_{leite}/cabeça$), México (4.541 $L_{leite}/cabeça$), Argentina (4.496 $L_{leite}/cabeça$).

Apesar da melhora da produtividade média e de um mercado promissor com um contínuo aumento de demanda, milhares de produtores migraram para outros setores da agropecuária nos últimos anos, por ser um setor que enfrenta muitas dificuldades, onde os produtores para se manterem no mercado devem adaptar-se às transformações tecnológicas, de mercado e legislativas (EMBRAPA, 2013b).

O Estado de Minas Gerais é o maior produtor de leite do Brasil com 27% da produção nacional e a sua região sul possui papel de destaque com 11% deste total (IBGE, 2014). Essa região possui pecuaristas com os mais variados níveis de produtividade e de intensificação. Os produtores extensivos são a maioria nessa região e são os mais adequados a participarem de programas governamentais de incentivo a intensificação da produção, como o Minas Leite (Minas Gerais, 2005) ou Balde Cheio (Embrapa, 2014), que objetivam aumentar a renda do produtor familiar para evitar sua migração para os centros urbanizados. Estes programas promovem a capacitação técnica dos pecuaristas, o que auxilia no aumento da produtividade do rebanho e dos benefícios econômicos (Heikkilä et al., 2008; Leonelli, 2010). Como resultado, ao mesmo tempo que assegura elevada quantidade deste importante item da alimentação humana, estas ações poderiam manter o produtor familiar na zona rural e evitar uma série de outros problemas sociais decorrentes da desruralização (Weiss-Altaner, 1983; Weissteiner et al., 2011), fato que vem ocorrendo em todas as regiões do Brasil (Camarano e Abramovay, 1998; Batista e Hespanhol, 2014).

A intensificação da produção implica em maior produtividade e consequente melhora nos indicadores econômicos e sociais (Heikkilä et al., 2008). Porém a existência de vários níveis de intensificação nos sistemas de produção de leite resulta em diferentes impactos ambientais. Segundo FAO (2006) a pecuária é um dos maiores contribuintes para os problemas ambientais do planeta e exige melhor avaliação para auxiliar na tomada de decisão sobre o sistema mais sustentável considerando uma perspectiva biofísica e holística, pois além de um lugar de se produzir, o campo também é o lugar onde vivem os produtores, que necessitam de empregos, educação e oportunidades para melhorar a qualidade de suas vidas. Nesse sentido, algumas questões são levantadas: Qual o sistema de produção de leite mais sustentável entre os já existentes na região Sul do Estado de Minas

Gerais? Há alguma alternativa para melhorar a sustentabilidade da produção de leite da região?

Alguns estudos analisaram a pecuária leiteira em várias partes do mundo, utilizando a metodologia da Análise do Ciclo de Vida - ACV- (Casey e Holden, 2005; Rotz et al., 2010; Hagemann et al., 2011; Shortall e Barnes, 2013; Huysveld et al., 2015), considerando indicadores de emissão de gases e eficiência energética. Outra metodologia também utilizada em estudos da agropecuária é a Síntese em Emergia (EMERGY = EMbodied enERGY), que pode ser considerada como uma alternativa para avaliar a eficiência e sustentabilidade dos sistemas, pois considera uma perspectiva do lado do doador (meio ambiente) e a biosfera como escala em sua avaliação. Emergia é definida como a quantidade de energia utilizada anteriormente para fazer um bem ou serviço (Odum, 1996). Esta metodologia é reconhecida como uma ferramenta robusta e importante para o diagnóstico e gestão dos sistemas naturais e humanos (Giannetti et al., 2013).

Na literatura científica, alguns estudos utilizando Síntese em Emergia na avaliação da pecuária de leite podem ser encontrados (Alfaro-Argüello et al., 2010; Rotolo et al., 2010; Vigne et al., 2013; Jacklic, 2014), no entanto, os seus resultados são locais ou consideraram diferentes enfoques, o que torna difícil e às vezes impossível generalizar seus resultados para o caso do Sul de Minas Gerais. Uma abordagem considerando uma análise regional e avaliando alternativas para o desenvolvimento da produção de leite não foi encontrada na literatura. A falta de uma perspectiva de maior escala implica em algumas barreiras para as decisões políticas em matéria de produção de leite para uma escala regional.

Este trabalho tem o objetivo de estudar o desempenho energético ambiental dos diferentes sistemas de produção de leite localizados na região Sul do Estado de Minas Gerais, Brasil e na proposição de uma alternativa de desenvolvimento para a produção regional sustentável de leite. Para isso, indicadores de energia, emissão, emergia, mão de obra e de renda bruta são utilizados para avaliar os sistemas de produção de leite e, adicionalmente, o indicador Razão de Investimento em Emergia é utilizado como critério para verificar qual combinação entre a interface econômico-ambiental é a mais sustentável para a região.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Utilizar uma abordagem empregando várias métricas para avaliar a sustentabilidade de sistemas de produção de leite e propor uma alternativa de seu desenvolvimento, sob uma perspectiva regional.

2.2. Objetivos Específicos

- a) Identificar e caracterizar os sistemas de produção de leite representativos do Sul de Minas Gerais;
- b) Avaliar os indicadores de sustentabilidade oriundos da Síntese em Emergia, Energia Incorporada e os relacionados a Emissões, considerando também, aspecto social e econômico dos sistemas de produção de leite identificados;
- c) Avaliar o desempenho do cenário atual da produção regional de leite do Sul de Minas Gerais, nos aspectos energético-ambientais, social e econômico. Este diagnóstico será denominado como Cenário Atual;
- d) Analisar uma alternativa em busca da sustentabilidade da produção regional de leite, com base no índice Razão de Investimento em Emergia (EIR).
- e) Avaliar os indicadores energético-ambientais (Sustentabilidade Ambiental, Energia Incorporada e Potencial de Aquecimento Global), aspecto social e econômico para o Cenário Alternativo.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. O leite no Brasil

Características marcantes da pecuária de leite brasileira são a sua existência em todo o território nacional, a heterogeneidade entre os sistemas de produção e a grande participação de pequenos produtores familiares na produção nacional. Até meados da década de 90, de acordo com Carvalho (2010) havia um intervencionismo governamental, com uma política de regulamentação e controle em todas as etapas da cadeia produtiva, que definia o preço dos produtos lácteos. Para o setor industrial, este cenário reduzia a disposição em desenvolver novos produtos, proporcionando aos consumidores reduzida oferta de derivados. Para os produtores era considerado como um fator de segurança, pois se sabia quanto seria pago pelo leite. Após a abertura comercial ocorrida no governo do presidente Fernando Collor de Melo (1990-1992), os preços passaram a ser definidos pela lei da oferta e demanda. Em 2002 o governo com o objetivo de modernizar e aumentar a competitividade do setor regulamenta a Instrução Normativa nº 51, que definia regras para a produção brasileira. A partir deste momento, segundo Souza e Buainain (2013), os produtores se vêm obrigados a se enquadrarem nas novas regras sob a pena de serem excluídos do mercado.

De acordo com Barros et al. (2011), a partir destas mudanças combinadas às novas exigências alimentares dos consumidores, outras posturas dos agentes em todos os elos da cadeia produtiva do leite, foram exigidas. No setor produtivo essas variações provocaram: maior especialização, incorporação de novas tecnologias, redução da sazonalidade, aumento da produtividade e melhora da qualidade do produto.

Apesar de grande produtor, a produtividade anual média no Brasil, de acordo com a EMBRAPA (2016) é pequena, 1.526 L_{leite}/cabeça. Minas Gerais, estado maior produtor de leite, possui uma produtividade anual média de 1.635 L_{leite}/cabeça, pequena quando comparada aos estados do sul do Brasil, com produtividades que

chegam a 3.183, 2.811 e 2.727 L_{leite}/cabeça respectivamente no Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná.

A pequena produtividade média brasileira é explicada pela existência de uma maioria de produtores com reduzido nível de intensificação e produções abaixo de 200 L_{leite}/dia. Essa maioria é chamada de produtor familiar e tem muitas dificuldades para sobreviver de sua produção, necessitando de auxílio governamental, como financiamentos e assistência técnica (Zoccal et al., 2012).

Para se ter uma ideia dos problemas enfrentados pelos produtores, de acordo com CEPEA (2016), enquanto o custo operacional efetivo em Minas Gerais aumentou 1,86% (nov 2014 a dez 2015), o valor médio pago ao produtor pelo litro de leite em 2015 foi de R\$ 0,95, o menor dos últimos cinco anos. Outra dificuldade encontrada pelo produtor familiar é a valorização do volume e qualidade do leite, ou seja, os laticínios pagam mais para aqueles que entregam maiores volumes de leite e com melhor qualidade nutricional e sanitária, o que é alcançado com a intensificação do sistema produtivo.

Sistemas altamente tecnificados, animais com genética direcionada para produção de leite, grandes produções, gerenciamento técnico e contábil especializados são características de grandes produtores, como a Fazenda Colorado em Araras (SP), com média de 62.000 L_{leite}/dia ou a fazenda Bela Vista em Tapiratiba (SP), com média de 52.000 L_{leite}/dia; respectivamente primeira e segunda colocadas no ranking dos maiores produtores brasileiros de leite (Milkpoint, 2015). Porém, a representatividade dos grandes produtores ainda é pequena, aproximadamente 2,4% dos produtores nacionais (Primavesi et al., 2012).

Para Viana e Ferras (2007), a cadeia produtiva do leite possui um mercado caracterizado por uma concorrência imperfeita, em que o setor à montante possui características de oligopólio e à jusante de oligopsônio, o que faz com que os produtores tenham menor capacidade para a negociação e os torna o elo mais fraco desta cadeia. Segundo Borba e Trindade (2011), há dificuldades maiores para os produtores familiares, com baixo nível de escolarização, tecnologias inadequadas, falta de assistência técnica e pequena produção, o que os desmotiva para continuar a produção e a deixarem suas propriedades em busca de melhorar sua condição de vida nos centros urbanos.

O êxodo para os centros urbanos tem chamado a atenção dos governos (Federal e Estadual), fazendo com que estes criem políticas com o intuito de fortalecer o produtor familiar, mantendo-o em sua terra. A Tabela 1 apresenta alguns programas governamentais de incentivo ao agricultor.

Tabela 1. Programas governamentais de incentivo ao produtor rural.

Programa	Significado
ABC ¹	Programa de Redução da Emissão de Gases de Efeito Estufa na Agricultura
INOVAGRO ¹	Programa de Incentivo a Inovação Tecnológica na Produção Agropecuária
MODERAGRO ¹	Programa de Modernização da Agricultura e Conservação de Recursos Naturais
PRONAF ¹	Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar
PRONAMP ¹	Programa Nacional de Apoio ao Médio Produtor Rural
PNAE ²	Programa Nacional de Alimentação Escolar
Minas Leite ³	Programa do estado de Minas Gerais de qualificação do produtor de leite
Balde Cheio ⁴	Programa federal de qualificação do produtor de leite

¹ BNDES (2015); ² Brasil (2009); ³ Minas Gerais (2005); ⁴EMBRAPA (2013a)

Programas como ABC, INOVAGRO, MODERAGRO, PRONAF e PRONAMP, auxiliam o produtor familiar com a abertura de linhas de crédito, tanto para custeio de produção, industrialização e comercialização. O PNAE determina que parte (30%) do valor repassado a municípios, estados e Distrito Federal pelo Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE) para o Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE) deve ser empregado na compra de gêneros alimentícios provenientes da agricultura familiar.

Minas Leite e Balde Cheio são programas de qualificação técnica dos produtores familiares. Os pecuaristas recebem treinamento técnico e gerencial, transmitidas por extensionistas treinados, o que potencialmente aumenta a possibilidade de permanência deste produtor no setor e, consequentemente, em sua terra.

De acordo com Souza e Buainain (2013), para que estes programas governamentais tenham êxito, é necessário que o produtor familiar tenha capacidade em acessá-los, o que ocorreu na região de Passo Fundo (RS), onde segundo os autores, os programas auxiliaram os pequenos pecuaristas a melhorarem a eficiência de suas produções, além de ter ocorrido uma sinergia entre as diversas atividades das propriedades.

A intensificação dos sistemas produtivos tem elevado a produtividade e produção de leite (Silva et al., 2011; Godinho et al., 2013), porém intensificar somente as tecnologias ou o rebanho não garante eficiência na produção. Campos et al. (2008) alerta para a necessidade da intensificação, principalmente do fator humano, reconhecendo que conhecimentos técnicos e gerenciais são essenciais para que o produtor possa atingir elevado nível de eficiência.

O auxílio para o pecuarista pode vir também de cooperativas. A cooperativa, segundo Viana e Ferras (2007) pode desempenhar um papel centralizador na captação do leite da região, proporcionando maior poder de negociação dos produtores com os laticínios. Sem ajuda, os produtores familiares não especializados tendem a ser substituídos por produtores especializados, o que a longo prazo resultará em uma maior concentração da produção em torno de um reduzido número de grandes produtores (Almeida, 2001).

A Instrução Normativa (IN) 51 de 18 de setembro de 2002 é um grande marco legislativo para produção de leite no Brasil. Anterior a ela, o Decreto nº 30.691 de 29 de março de 1952, sancionado pelo então presidente da república Getúlio Vargas, era o que regia o setor leiteiro brasileiro. Neste intervalo de tempo, poucas mudanças ocorreram, sendo as mais relevantes, impulsionadas pela adesão do Brasil no Mercado Comum do Sul (Mercosul).

No ano de 1996, o governo criou o “Programa Nacional de Melhoria da Qualidade do Leite” (PNMQL), com o objetivo de analisar a cadeia produtiva do leite e apresentar sugestões de melhorias. Após alguns anos de análises, surge em abril de 2002, a IN nº37, instituindo a Rede Brasileira de Laboratórios de Controle da Qualidade do Leite (RBQL), para analisar e fiscalizar amostras de leite in natura, coletadas em propriedades rurais e em laticínios. Em setembro do mesmo ano foi promulgada a IN 51/02 regulamentando a produção, identidade e qualidade do leite brasileiro, assim como a coleta e transporte. Alguns pontos importantes desta regulamentação que não existiam até aquele momento são, o resfriamento do leite na própria fazenda, coleta a granel e a definição de parâmetros de qualidade para o leite in natura para adequá-los a padrões internacionais (BRASIL, 2002).

De acordo com Beloti et al. (2011), a IN 51/02 trouxe muitos avanços ao setor de leite do Brasil, mas boa parte dos produtores ainda produziam leite de baixa qualidade, pois não conseguiram se adaptarem em tempo hábil ao que a nova

legislação exigia. Marion Filho e Reichert (2014) salientam que a normativa alavancou a modernização da pecuária de leite, apesar de ter auxiliado na exclusão de parte dos produtores, assim, nove anos depois, o governo promulgou a IN 62/2011 (Brasil, 2011), alterando alguns parâmetros e o cronograma para atender os novos limites estabelecidos. Porém, alteração de datas e de alguns parâmetros pode não ser suficiente para todos os produtores brasileiros de leite se adequarem totalmente à legislação.

A produção de leite no Brasil ocorre na grande maioria pelo método tradicional, com o uso intensivo de produtos industriais e a mobilização intensiva dos solos (Kitamura, 2003). Mas há produtores que utilizam sistemas alternativos de produção, empregando bases agroecológicas em seus sistemas. A agroecologia é uma ciência que possui os seguintes princípios: redução da dependência de insumos comerciais; maior utilização de recursos renováveis locais; emprego de sistemas adequados as condições locais e que aproveitem ao máximo os ecossistemas; otimização e elevação da produtividade, sem ultrapassar os limites de regeneração do ecossistema original (Altieri, 1987).

Vários são os sistemas utilizados por produtores de leite com bases agroecológicas, entre eles pode-se citar o Silvipastoril, que baseia-se no consórcio de árvores com pastagens e animais, proporcionando benefícios ao sistema como uma melhor exploração dos recursos naturais, melhor conforto para os animais sob as sombras das árvores, proporcionado pelo microclima.

Outro sistema utilizado é o Agrossilvipastoril, que emprega um consorcio entre pecuária, floresta e produção agrícola. De acordo com Ferreira et al. (2011) este sistema emprega princípios ecológicos de produção, que aumenta a eficiência da utilização dos recursos naturais e o equilíbrio do ecossistema.

O Sistema Voisin também utilizado entre os produtores de leite, procura conciliar a manutenção dos animais e pastagens, com descanso e recuperação das forrageiras. Também conhecido como Pastoreio Racional Voisin, foi proposto por André Voisin em uma publicação francesa *Productivité de l'Herbe* e publicada no Brasil em 1975. Utilizando plantas com grande capacidade de fornecer nitrogênio ao sistema, com reduzida movimentação do solo, sem fertilizantes químicos e agrotóxicos, aumenta a produtividade das gramíneas e a eficiência de todo o sistema (Castagma et al., 2008).

3.2. Síntese em Emergia

Baseada na Análise de Energia de Sistemas Biológicos (LOTKA, 1922), na Teoria Geral de Sistemas (von BERTALANFFY, 1968) e na Ecologia de Sistemas (ODUM, 1983), Howard T Odum desenvolveu a metodologia de Contabilidade Ambiental em Emergia ou Síntese em Emergia. Objetivou-se contabilizar toda a energia da natureza incorporada no desenvolvimento de processos e serviços, considerando, além da contribuição da sociedade (recursos econômicos), o trabalho passado e presente da natureza para a produção de um bem ou serviço. Todo fluxo de massa, energia, monetário e informação que entram pelas fronteiras do sistema produtivo são contabilizados e convertidos em uma unidade de medida comum, o emjoule solar (sej). Sob uma perspectiva de grande escala, esta metodologia possibilita medir a qualidade da energia, em uma cadeia hierárquica de energia no espaço e tempo. A qualidade da energia é expressa quantitativamente pelo Valor Unitário de Emergia (UEV), que é uma relação entre toda emergia demandada em um sistema e os seus fluxos de saída. Quanto mais emergia é previamente demandada para uma maior quantidade de produto, maior será o UEV do produto e sua qualidade e, assim, mais alta será sua posição na hierarquia de energia (ODUM, 1996). O UEV também é usado na conversão dos fluxos de energia para emergia e quando na unidade de sej/J é chamado de transformidade.

A Síntese em Emergia vem sendo aplicada para estudar diferentes sistemas, como por exemplo, para avaliar serviços ambientais (Brown e Campbell, 2007), sistemas agrícolas (Agostinho et al., 2008; Giannetti et al., 2011), construção civil (Carvalho et al., 2009), centros urbanos (Lei et al., 2008; Pulselli et al., 2008; Sevegnani et al., 2011;), bacia hidrográfica (Agostinho et al., 2010) entre outros. Relacionados à pecuária, que é o foco deste trabalho, pode-se citar: Alfaro-Arguello et al. (2010) que avaliaram em Chiapas, México, fazendas de gado e leite; Mendes et al. (2013) que analisaram um sistema de produção de leite e de laranja no estado de São Paulo; Rótolo et al. (2010), avaliaram uma fazenda leiteira em Santa Fé, na Argentina; Vigne et al. (2013), estudaram fazendas leiteiras em Mali na África, em Poitou – Charentes e Bretagne, ambos na França e em Reunion Island território francês no Oceano Índico; Jaklic et al. (2014), analisaram vários sistemas de produção leiteira na Eslovênia.

Uma unidade muito utilizada nos estudos de emergia na pecuária é o sej/ha , que indica a quantidade de emergia solar utilizada em um período, para cada hectare do sistema estudado.

3.2.1. Energia na Pecuária de Leite: Estado da Arte

A análise da pecuária empregando Síntese em Energia foi realizada por alguns pesquisadores em várias regiões do mundo e a seguir, alguns destes estudos são apresentados.

Brandt-Williams e Fogelberg (2005) utilizando dados do estudo de Cederberg (1998), avaliaram duas fazendas de leite da Suécia, sendo que uma utilizava o sistema orgânico de produção e a outra, o convencional (com uso intensivo de produtos industriais e a mobilização intensiva dos solos). Os resultados mostraram que o sistema orgânico utiliza 20% menos emergia e necessita da metade da área de apoio em sua produção, quando comparado ao convencional. Também concluíram que a Síntese em Energia e a Avaliação do Ciclo de Vida são metodologias que podem se complementar, possibilitando uma análise mais ampla de um sistema produtivo.

O desempenho ambiental de uma fazenda leiteira na província de Santa Fé, na Argentina, região de grande produção de leite foi analisado por Rótolo et al. (2010) aplicando a metodologia de Síntese de Energia. Em uma área de 1.200 ha, a fazenda produz leite e possui plantações de milho, soja e trigo, num sistema de integração entre pecuária e agricultura. O estudo analisou cada sistema de produção isoladamente e a integração entre eles. Os resultados mostraram que quando há a integração dos sistemas, ocorre uma melhora nos indicadores e um melhor aproveitamento dos dejetos, poderia reduzir a dependência de fertilizantes externos, melhorando a composição dos solos.

No Brasil Teixeira (2011) avaliou o desempenho ambiental de dois sistemas produtores de leite no Campo das Vertentes, Minas Gerais, empregando Síntese em Energia. A fazenda Santa Edwiges emprega métodos convencionais na produção de 3.000 L_{leite}/dia , tirados de vacas holandesas que pastoreiam em pastos divididos em piquetes, tendo como complemento na alimentação forrageiras e ração comercial. Boa Vida é uma fazenda que emprega o sistema silvipastoril na produção de leite. Cinturões de eucaliptos dividem os piquetes dos pastos. Complementa a

alimentação do gado, forrageiras e ração comercial. A autora concluiu que o sistema silvipastoril possui melhor desempenho ambiental, com menor gasto emergético, melhor uso dos recursos renováveis provocando menor estresse ao ambiente.

A análise da sustentabilidade de dois sistemas de produção, um de leite e outro de laranja, em uma fazenda no norte do estado de São Paulo, Brasil, num período de 6 anos e considerando os ciclos de cada sistema foi realizada por Mendes et al. (2013). Para o sistema de leite com produção de 650 L_{leite}/dia produzidos por 45 vacas em lactação, alimentação à base de pastagem, cana de açúcar, ureia e ração, os resultados em emergia mostraram que os recursos renováveis, com maior evidência para as chuvas, representam 14% dos fluxos de entrada, 0,35% para os não renováveis e 85% para os fluxos da economia, sendo a alimentação concentrada responsável por 38% deste total.

Emergia também foi empregada por Vigne et al. (2013), no estudo de fazendas no Sul de Mali, na África e em regiões da França, Poitou-Charentes, Bretagne e Reunion Island, para analisar diversos sistemas de produção de leite nos mais variados níveis. Três avaliações foram realizadas, a primeira para a fazenda toda, a segunda para o sistema leiteiro e a última apenas para o rebanho. Os sistemas em Mali, menos intensificados, foram os que mais utilizaram recursos renováveis e consequentemente seus indicadores em emergia indicaram maior sustentabilidade. Os sistemas de média e alta intensificação, Poitou-Charentes e Reunion Island apresentaram menor eficiência de transformação de recursos e os impactos ambientais mais elevados.

Na Eslovênia, Jaklic et al. (2014) avaliaram nove sistemas de produção de leite, de vários níveis de produção, desde pequenos produtores com reduzido grau de intensificação, passando por orgânicos e chegando a convencionais mais intensificados. Foi realizada uma avaliação socioeconômica e ambiental destes sistemas. Na avaliação ambiental foi empregada as metodologias de Síntese em Emergia e Inventário de Emissões. Para os sistemas mais intensificados foi detectada uma forte dependência de recursos externos, mas estes têm os melhores desempenhos econômicos, enquanto os orgânicos possuem bons indicadores em emergia, porém baixa produtividade da terra, alta dependência de recursos públicos e maiores emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE). Os autores detectaram

também uma forte dependência de ração (0 a 60 %), diesel (7 a 15%), mão de obra (70,3 a 88,5%) em todos os sistemas.

Pode-se notar que estes estudos analisaram isoladamente sistemas com diferentes fronteiras e níveis de intensificação. Variações nas entradas de dados, assim como nos UEVs utilizados podem produzir diferenças nos indicadores finais de cada estudo.

3.3. Energia Incorporada

Os combustíveis possuem uma energia interna, que quando utilizada em um processo é chamada de energia direta da operação (energia contida no combustível). Porém para este chegar ao consumidor, energias adicionais foram necessárias, iniciando pela sua retirada da natureza, passando pelo processamento e adicionando-se o transporte até o consumidor final. Todo o gasto energético para disponibilizar o combustível ao consumidor, adicionado à sua energia interna é conhecido como Requerimento Bruto de Energia (RBE) do combustível, também chamada de energia incorporada (IFIAS, 1974).

O método da contabilidade de energia incorporada (Slessor, 1974; Herendeen, 1998) considera o requerimento bruto direto e indireto de energia fóssil incorporada ao produto. Essa ferramenta fornece informações úteis sobre a eficiência energética do sistema em escala global, contabilizando todo o suprimento de energia comercial empregada.

A análise de energia incorporada de um produto, não contabiliza: todos os processos que utilizam materiais e energia que não requerem combustível fóssil, recursos fornecidos gratuitamente pelo meio ambiente como solo (nutrientes) e água, trabalho humano e serviços econômicos também não são incluídos na maioria das análises, porque representam uma porcentagem muito pequena de energia incorporada para sistemas industrializados. Esse método está focado em combustíveis, eletricidade, fertilizantes, produtos químicos, maquinaria e outros bens fornecidos aos processos em termos de energia de petróleo equivalente requeridos para produzi-lo.

3.3.1. Energia Incorporada na Pecuária de Leite: Estado da Arte

Alguns estudos que avaliaram a energia incorporada em sistemas produtivos de leite em vários países são apresentados a seguir.

Cederberg e Mattsson (2000) avaliaram a energia incorporada na produção de leite orgânico e convencional na Suécia com o auxílio da Análise do Ciclo de Vida. Os resultados mostraram o sistema orgânico incorpora 2,5 MJ para cada kg_{ECM} produzido e 3,5 MJ/kg_{ECM} para o convencional. No sistema convencional quase 50 % das emissões ocorrem fora das fronteiras da fazenda, especialmente na produção de fertilizantes. Como existem diferentes entradas entre os dois sistemas, para os autores deve-se dar atenção especial para a análise do uso da terra.

A Análise do Ciclo de Vida foi utilizada por Heller e Keoleiam (2011) para avaliar os sistemas produtivos de leite orgânico de seis fazendas produtoras, localizadas nos estados do Colorado e Téxas nos Estados Unidos. Com a unidade funcional relacionada ao volume de leite, na unidade 1 L de leite fluido embalado, em um período de dois anos de produção, os autores calcularam potencial de aquecimento global e a energia consumida dos sistemas. Os resultados mostraram que o consumo médio de energia foi de 18,3 MJ/L_{leite-emb} e uma emissão média de 2,3 kgCO_{2eq}/L_{leite-emb}, sendo que a fermentação entérica na digestão dos bovinos é a maior contribuinte.

Calcular a energia fóssil em explorações leiteiras nos territórios franceses de Poitou-Charentes (PC) e Reunion Island foi tarefa para Vigne et al. (2012). O objetivo dos autores era avaliar as incertezas inclusas nos cálculos. Com valores entre 3,6 a 5,0 MJ/L_{leite} para os sistemas de PC e de 5.8 a 8.2 MJ/L_{leite} em RI, concluíram que as incertezas sofrem grande influência da coleta dos dados de entrada e dos variados coeficientes de energia entre os diferentes territórios. Propõem uma análise inicial de sensibilidade com valores múltiplos de coeficientes de energia, além de uma maior precisão na coleta dos dados.

O'Brien et al. (2012) avaliaram um sistema de produção de leite com confinamento dos animais e outro à base de pastagem na Irlanda, considerando os impactos ambientais de aquecimento global, eutrofização, acidificação, uso da terra e uso de energia não renovável. Os impactos foram relacionados ao leite (Fat and Protein Corrected Milk-FPCM), à área (ha) de produção do leite e à área (ha)

agrícola. Os resultados mostraram que o sistema de confinamento tem maior impacto ambiental que o de pastagem, devido ao uso intensivo de alimentos concentrados. O uso de energia não renovável calculados foram 0,2 e 0,3 MJ_{eq}/kg_{FPCM} para o sistema em confinamento e de pastagem respectivamente.

Utilizando Avaliação do Ciclo de Vida, Olszensvski et al. (2010) analisaram 37 propriedades de leite em Santa Catarina, Brasil. O estudo identificou algumas categorias de impactos como eutrofização, acidificação e potencial de aquecimento global. A demanda de energia variou de 2,7 a 4,7 MJ_{eq}/kg_{leite}, sendo que a produção de alimentos é a maior responsável por esta demanda.

Estes estudos apresentam variações nos resultados, que podem ser explicados por diferenças nas fronteiras consideradas, nas unidades funcionais utilizadas e na seleção de dados das entradas.

3.4. Inventário de emissões: Potencial de Aquecimento Global

O objetivo de um inventário de emissões é obter a quantidade de gases emitidos pelo sistema, em escala local e global, uma vez que o inventário pode oferecer informações de emissões diretas e indiretas. De acordo com Zehetmeier et al. (2014) as explorações leiteiras liberam significativas quantidades de Gases de Efeito Estufa (GEE) na atmosfera. Opções viáveis de mitigação das emissões necessitam de análises robustas, em que concorda Verge et al. (2013) acrescentando que estes inventários são a base para promoção de políticas de mitigação de GEE e devem possuir a maior abrangência possível, contabilizando as emissões internas e externas aos sistemas produtivos. Flysjö et al. (2011) alertam que os inventários têm alto grau de incertezas e segundo Yan et al. (2011), esta vem com o escopo do estudo, qualidade dos dados, fronteiras dos sistemas e unidades funcionais. Estas questões, além de serem fontes de incertezas, também dificultam a comparação dos resultados obtidos em diferentes estudos de emissões de GEE.

Dentre as emissões de GEE de sistemas de produção de leite, as diretas são aquelas que acontecem no local, dentro do sistema em estudo, devido aos seus processos internos. Na pecuária leiteira, essas emissões são geralmente ocasionadas pela queima do diesel em máquinas, fermentação entérica na digestão dos bovinos e pelo manejo dos dejetos dos animais. As indiretas estão relacionadas com a produção dos insumos utilizados pelo sistema, onde apesar de terem sidos

produzidos em outros locais, também emitiram gases para a atmosfera e contribuíram para a carga ambiental global.

A emissão direta de gases em uma bovinocultura de leite devido aos animais está ligada à sua digestão e ao manejo dos seus dejetos. Na digestão destes ruminantes ocorre um processo anaeróbio que converte os carboidratos celulósicos em ácidos graxos de cadeia curta, ácidos acético, propiônico e butírico, produzindo CH₄ e CO₂, eliminados em parte pelo sistema respiratório. Segundo Rivera et al. (2010), a intensidade deste processo está relacionada com o tipo de animal, seu alimento, grau de digestibilidade da massa digerida, a intensidade de sua atividade física e as várias práticas de criação. Assim, Shibata e Terada (2010) alertam que a mudança do tipo e da quantidade de carboidrato da dieta e a inclusão de aditivos alimentares podem melhorar a eficiência do organismo na captação da energia alimentar, reduzindo a produção dos gases.

De acordo com IPCC (2007), a pecuária mundial baseia-se em sua maior parte em sistemas de produção com pastagens degradadas, ineficientes por possuírem baixos índices zootécnicos, assim como emitem maiores quantidades de GEE por quilo de carne ou de leite produzidos, proporcionais a quantidade de alimento ingerido. Beauchemin et al. (2008) e Lascano e Cárdenas (2010) observam que este tipo de pecuária possui uma perspectiva de produzir com mais eficiência, apenas melhorando o aproveitamento dos alimentos consumidos pelos animais e reduzindo a idade de abate. Dyer et al. (2011) lembra que sistemas com confinamento de animais utilizam-se de alimentos produzidos em outras regiões, emitindo GEE nestas regiões, porém, estes sistemas mais intensificados, segundo a FAO (2010), em termos de produção de leite, têm menor emissão de GEE por unidade de produto.

Já as emissões pelos dejetos, ocorrem principalmente em sistemas intensivos com confinamento, onde processos anaeróbios de manejo produzem CH₄ e N₂O, que variam em intensidades dependendo da forma de estocagem, seja sólido ou líquido.

MCT (2009) alerta que o Brasil possui um dos maiores rebanhos bovino do mundo, implicando num alto grau de emissões de CH₄ pelo processo de fermentação entérica na digestão dos bovinos, chegando a 86% das emissões deste gás no país. Assim torna-se importante a elaboração de políticas por parte do

governo, que incentivem a redução da emissão de GEE pelo setor agropecuário. Há um projeto coordenado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), chamado de “Projeto Dinâmica de Carbono e Gases de Efeito Estufa em Sistemas Brasileiros de Produção Agropecuária, Florestal e Agroflorestal” que tem por principal objetivo a avaliação do estoque de carbono e a quantificação das emissões de GEE nos agroecossistemas nacionais, para assim poder identificar manejos agrícolas sustentáveis e mitigadores. Quando finalizado, este projeto pode tornar-se fonte de importantes informações para estudos de GEE na agropecuária brasileira.

O Plano Mais Pecuária lançado pelo Ministério da Agricultura em 2014 tem por finalidade aumentar a produtividade e a competitividade da pecuária bovina de leite e de corte. Com uma meta de aumentar a produção em 40% e a produtividade em 100%. Baseado em quatro eixos; (melhoramento genético, ampliação de mercados, incorporação de tecnologias e segurança e qualidade dos produtos), este plano espera atingir seus objetivos em 2024. Apesar de não mencionar explicitamente a redução de GEE na pecuária, caso consiga atingir seus objetivos, o Governo Federal conseguirá liberar 46,2 milhões de hectares de pastagens, além de reduzir as emissões de GEE por unidade de produto, pelo simples aumento da eficiência dos sistemas.

Dentro de um inventário de emissões, alguns indicadores podem ser calculados, como o Potencial de Aquecimento Global (PAG), utilizado para comparar os potenciais impactos que alguns gases podem produzir sobre o efeito estufa. De acordo com Jensen et al. (1997) o PAG é estimado através de coeficientes que relacionam a quantidade de determinado gás com o efeito do CO₂ na reflexão da radiação de calor, sendo expresso em CO_{2eq}, ou seja, seus efeitos são expressos em relação ao efeito do CO₂.

3.4.1. Emissões de Gases de Efeito Estufa na Pecuária de Leite: Estado da Arte

Estudos têm sido conduzidos para examinar as emissões de gases provenientes da produção leiteira em várias regiões do planeta. Muitos destes estudos procuram relacionar as emissões ao leite, que pode vir na unidade quilograma (kg), litros (L), ou corrigido pela porcentagem de gordura e proteína

contidas no produto: Fat and Protein Corrected Milk (FPCM) ou Energy Corrected Milk (ECM). A seguir são apresentadas informações de alguns estudos que contabilizaram emissões de GEE na pecuária de leite.

A comparação entre sistemas extensivos, intensivos e orgânicos de produção de leite na Alemanha, utilizando Avaliação de Ciclo de Vida foi realizada por Haas et al. (2001). A unidade funcional (UF) utilizada foi relacionada a área na unidade ha e os resultados mostraram que os sistemas intensivos causam maiores impactos, seguido pelo extensivo e finalizando com o orgânico.

Vinte e três fazendas leiteiras suecas foram analisadas por Cederberg e Flysjö (2004), separadas em grupos de orgânicas e convencionais com variados níveis de produtividade. Os autores detectaram reduzidas diferenças de emissões de GEE entre os convencionais e os orgânicos, que variaram entre 0,76 a 1,26 kg CO_{2eq}/kg_{ECM} para os primeiros e de 0,73 a 1,11 kg CO_{2eq}/kg_{ECM} para as fazendas orgânicas.

As emissões de GEE a partir de sistemas de produção de leite irlandês foram estudadas por Casey e Holden (2005) que encontraram emissões de 1,3 a 1,5 kg CO_{2eq}/kg_{ECM}. A alocação econômica foi usada para dividir as emissões entre leite e carne. No mesmo período, Basset-Mens et al. (2005) avaliaram a pecuária de leite da Nova Zelândia, onde os autores calcularam uma média do PAG de 0,72 kgCO_{2eq}/kg_{ECM}.

O cálculo de indicadores ambientais de três metodologias diferentes, entre elas o Avaliação de Ciclo de Vida, utilizando como base de dados oito sistemas de produções orgânicas de leite da Holanda, foi feito por Thomassem e Boer (2005). As unidades funcionais empregadas relacionaram-se massa de leite, na unidade kg_{FPCM}, a área total da fazenda e a área específica da exploração, na unidade ha. As emissões devido à fermentação entérica na digestão dos bovinos e do manejo do esterco também foram calculadas. Os autores concluíram que os indicadores da ACV têm boa qualidade com exceção dos referentes à emissão de amônia dos dejetos dos animais, pois para este estudo, os cálculos foram baseados em valores de referência.

Um modelo de explorações leiteiras alemãs foi criado por Hirschfeld et al. (2008) para analisarem as emissões de GEE na pecuária de leite. Os autores

compararam fazendas orgânicas e convencionais e calcularam o PAG entre 0,64 e 0,85 kg CO_{2eq}/kg_{ECM}, respectivamente.

A produção de leite na Alemanha também foi estudada por Müller-Lindenlauf et al. (2010) que avaliaram quatro sistemas orgânicos. Os autores detectaram que a agricultura orgânica produz menor impacto ao ambiente, quando comparado ao sistema convencional.

Um modelo chamado 'DairyGHG' para calcular as emissões de GEE em CO_{2eq}/kg_{ECM} em uma fazenda, foi desenvolvido por Rotz et al. (2010). O modelo possibilita calcular as fontes importantes e sumidouros de CH₄, N₂O e CO₂ na produção de leite. Os autores avaliaram explorações leiteiras de vários níveis de intensificação. As emissões variaram entre 0,37 a 0,69 kgCO_{2eq}/kg_{ECM} e as emissões devido à fermentação entérica na digestão dos bovinos foram a principal fonte de emissão.

Hagemann et al. (2011) aplicaram a Avaliação de Ciclo de Vida no estudo de 38 fazendas produtoras de leite espalhadas pelo mundo todo, sendo que 6 delas foram avaliadas com maior detalhamento: na Alemanha, California, Nova Zelândia, Brasil, Bangladesh e Camarões. Os autores constataram maiores emissões por unidade de leite para as pequenas propriedades sendo a fermentação entérica na digestão e o manejo dos dejetos dos bovinos, os maiores emissores nas fazendas.

Treze estudos que aplicaram Avaliação de Ciclo de Vida em sistemas de produção de leite foram avaliados por Yan et al. (2011). Os autores detectaram que as variações das metodologias podem comprometer a avaliação, o que produz ineficiência na promoção de estratégias de mitigação dos impactos ambientais. Questões como, fronteiras dos sistemas, unidades funcionais, fatores e categorias de impacto devem ser observadas com atenção, para atingir os objetivos da avaliação com eficácia.

Nos Estados Unidos, Thoma et al. (2012) avaliaram as emissões de GEE provocadas pela cadeia do leite, considerando desde a produção de insumos até a chegada do produto ao consumidor. Baseados no período de 2007 a 2008, com informações de 536 fazendas e 50 laticínios espalhados por todo o país, os autores detectaram que a fermentação entérica na digestão, o manejo de dejetos e a produção de ração são os fatores que provocaram as maiores emissões. Na

fazenda, as emissões em média foram de 1,23 kgCO_{2eq}/kg_{ECM}. Os autores recomendam um melhor aproveitamento dos dejetos e uma alimentação de maior qualidade, para reduzir as emissões de GEE na produção leiteira.

Na Irlanda, O'Brien et al. (2012) aplicaram Avaliação de Ciclo de Vida em duas fazendas de leite, baseados em dados dos estudos de Patton et al. (2009) e Olmos et al. (2009), sendo um sistema à base de pastagem e o outro de confinamento. As unidades funcionais foram relativas à massa de leite, na unidade kg_{FPMC}, à área de exploração e à área total da fazenda, na unidade ha. Os autores concluíram que o maior uso de alimentos concentrados no sistema de confinamento junto ao longo período de armazenamento de chorume produz um impacto ambiental maior e que a redução de alimentos concentrados externos, com a inclusão de forrageiras produzidas internamente e a adoção de sistemas de depósitos anaeróbios dos dejetos são fatores que podem reduzir os impactos ambientais destes sistemas de produção de leite.

Em um estudo para a FAO, Opio et al. (2013) afirmam que muitas são as fontes emissoras de GEE na pecuária de leite. A maior delas, responsável por 46,5% das emissões é devido à fermentação entérica na digestão dos bovinos, fato confirmado por Roer et al. (2013) em análise da pecuária leiteira da Noruega. Em seguida está o depósito e manejo de dejetos com 17% e produção de alimentos com 10,9%. Segundo os autores, a pecuária enfrenta grandes desafios para aumentar a produção e atender a demanda, pois necessita adaptar-se às mudanças econômicas e ambientais e ao mesmo tempo melhorar seu desempenho ambiental. A análise deste estudo foi feita para todas as etapas da cadeia do leite, desde a produção de insumos agrícolas até a chegada ao distribuidor. Os resultados mostraram a possibilidade da redução das emissões na pecuária leiteira com o aumento da produtividade, através da melhora na alimentação, das pastagens, da genética e do manejo de esterco. Capper et al. (2008) e Gerber et al. (2011) concordam que há uma redução das emissões por unidade de produto com o aumento da produtividade.

Fator importante nos estudos científicos, a unidade funcional (UF) pode dificultar a interpretação ou a comparação dos resultados. Várias UF têm sido usadas na avaliação de emissões em sistemas de produção de leite. A Tabela 2 apresenta informações resumidas de alguns estudos sobre emissões, assim como o

país onde foi realizado e a unidade utilizada. Observa-se que a maior parte dos estudos relacionam os efeitos da produção com o próprio leite, que pode estar em litros, quilogramas ou em massa do produto corrigido pela qualidade (relação com o teor de gordura e proteína).

Tabela 2. Estudos de emissões de GEE na produção do leite, país onde foi realizado e a unidade empregada.

Autores	País	Unidade
Cederberg e Mattsson (2000)	Suécia	kg _{ECM}
Haas et al. (2001)	Alemanha	ha
Hogaas Eide (2002)	Noruega	L _{leite}
Cederberg e Stadig (2003)	Suécia	kg _{ECM}
Thomassen e De Boer (2005)	Holanda	kg _{FPCM}
Basset-Mens et al. (2005)	Nova Zelândia	kg _{ECM}
Casey; Holden (2005)	Irlanda	kg _{ECM}
Olesen et al. (2006)	Europa	kg _{leite}
Van der Werf et al. (2009)	França	kg _{FPCM}
Hirschfeld et al. (2008)	Alemanha	kg _{ECM}
Rotz et al. (2009)	EUA	kg _{ECM}
Basset-Means et al. (2009)	Nova Zelândia	kg _{leite}
Rotz et al. (2010)	EUA	kg _{ECM}
Kristensen et al. (2011)	Dinamarca	kg _{ECM}
Bartl et al. (2011)	Peru	kg _{ECM}
O'Brien et al. (2012)	Irlanda	kg _{FPCM}
Del Prado et al. (2013)	Espanha	kg _{ECM}
Roer et al., (2013)	Noruega	kg _{ECM}
Jaklic et al. (2014)	Eslovênia	kg _{leite}
Battini et al. 2016	Itália	kg _{FPCM}

GEE: gases de efeito estufa; ha: hectare; L: litro; ECM: Energy Corrected Milk; FPCM: Fat and Protein Corrected Milk.

Os estudos para a avaliação de emissões em sistemas de produção de leite espalhados pelo mundo, enfatizam os sistemas individualmente e assim como em emergia e energia incorporada, não foi encontrada uma análise de uma região como um todo.

3.5. Alternativas para o desenvolvimento

De acordo com Odum (1996, p. 164), "uma vez que o desenvolvimento econômico é aparentemente dependente do empower (fluxo de emergia por unidade de tempo), a Síntese em Emergia pode ser usada para selecionar planos de desenvolvimento que podem ser sustentados". Uma das hipóteses do autor é que

quando se considera as escalas temporais e espaciais de um desenvolvimento econômico regional, a produtividade depende da interação dos recursos naturais ("I", com baixa transformidade) com recursos adquiridos da economia ("F", com maior transformidade) em um processo combinatório (Figura 1). Neste sentido, Odum (1996) sugere que o indicador de Razão de Investimento em Emergia (EIR = F / I), que correlaciona os recursos da economia e os naturais, poderia ser utilizado para avaliar se esta combinação é a que mais contribui para a produtividade do sistema sob uma perspectiva regional. Para Odum (1996), o EIR fornece a priori um método de determinar se o uso econômico-ambiental se sustentará economicamente, o que seria alcançado quando o EIR do sistema produtivo for menor ou igual ao EIR da região em que ele está inserido.

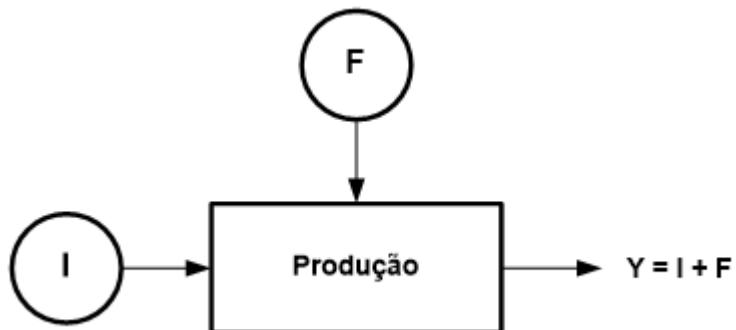


Figura 1. Diagrama de fluxos de emergia agregados.

Conforme os conceitos de fatores limitantes, qualquer entrada de um sistema pode tornar-se limitante quando o outro fator ou fatores estão disponíveis em excesso. Esse conceito corrobora com a ideia de que o melhor uso dos fluxos de emergia para a maximização da produção ocorre quando a emergia vinda da economia (F) se iguala a emergia das fontes naturais (I). Equilibrar as entradas de emergia é o mesmo que equilibrar potenciais fatores limitantes à produção e, neste caso, "a emergia é eficientemente utilizada quando aplicada igualmente a ambas as entradas" (Odum, 1996, p. 166).

Outro conceito importante que corrobora com o do fator limitante no estudo de alternativas de desenvolvimento regional, é o da curva de retorno decrescentes, conhecido principalmente nas ciências econômicas. De acordo com a curva dos retornos decrescentes, o maior fluxo de emergia em um sistema antrópico (geralmente F) em relação à outra (neste caso, I), pode resultar em um aumento de

produção, porém, em proporções mais baixas. Produção alta sob taxas mais baixas aumenta o índice EIR e, novamente, “a emergia é menos eficientemente utilizada” (Odum, 1996).

De acordo com a hipótese de Odum (1996), “os sistemas que prevalecem são aqueles que produzem mais emergia e utilizam-na de forma mais eficiente, então os sistemas com maior empower podem ser melhores e mais propensos a se manter”. Algebricamente, de acordo com os conceitos apresentados anteriormente, o EIR que representa uma utilização mais eficiente da emergia seria igual a 1. No entanto, uma região que contém os sistemas de produção caracterizadas com baixo EIR pode ser incapaz de manter esse padrão de desenvolvimento devido ao grande potencial de crescimento econômico, que está relacionado à maior demanda de recursos F e maior circulação de dinheiro. Isto significa que os sistemas de produção mais intensivos podem deslocar os menos intensivos. Assim, de acordo com Odum (1996), “o EIR sustentável tende a ser aquele da região”.

Neste sentido, o EIR regional pode ser usado para estimar o potencial de desenvolvimento de um sistema de produção através da multiplicação dos recursos naturais demandados pelo sistema ($I_{sistema}$) pelo EIR regional, o que resulta no chamado de valor de atração de emergia da região; $F_{sistema} = EIR_{regional} * I_{sistema}$. O resultado indica o valor de F potencial que o sistema deveria ter para alcançar um EIR igual ao EIR da região e, segundo Odum (1996), conseguir se manter.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

As etapas a serem realizadas para chegar aos objetivos propostos neste estudo são apresentadas na Figura 2 e detalhadamente descritas em seguida.

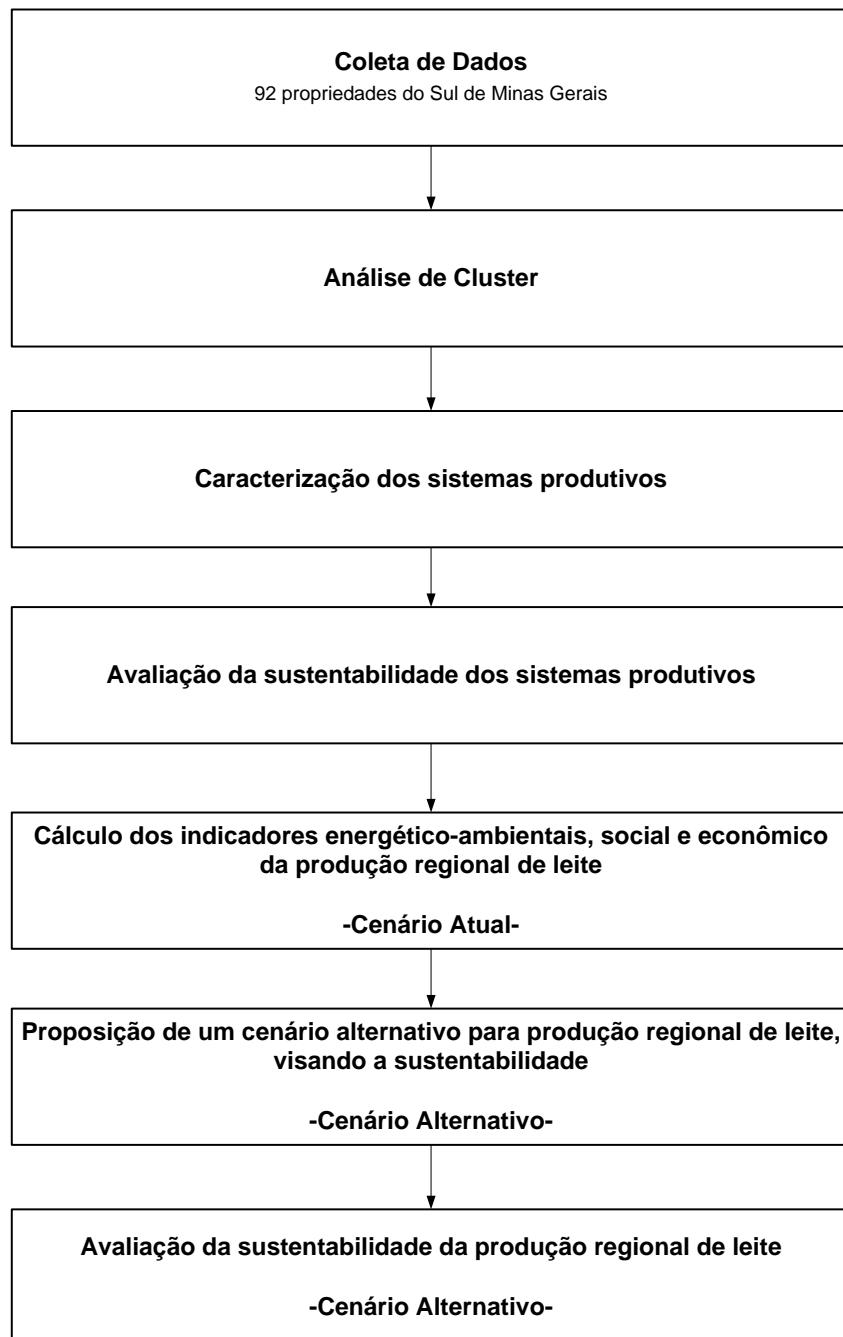


Figura 2. Etapas para a análise da produção de leite na região Sul de Minas Gerais.

4.1. Região Sul do Estado de Minas Gerais

A região Sul do Estado de Minas Gerais (Figura 3) inclui as microrregiões de Alfenas, Andrelândia, Itajubá, Poços de Caldas, Pouso Alegre, Santa Rita do Sapucaí, São Lourenço e Varginha. Difere da mesorregião Sul/Sudoeste de Minas Gerais estabelecida pelo IBGE pela não inclusão das microrregiões de Passos e São Sebastião do Paraíso, localizadas mais a oeste.

De acordo com IBGE (2013), o estado de Minas Gerais é o maior produtor de leite do Brasil com aproximadamente 27% da produção nacional. A região sul do estado, com 118 cidades, população de 1.946.750 habitantes e um PIB de 35 bilhões de reais, destaca-se na pecuária leiteira, responsável por 12% da produção estadual. Possui clima ameno, com precipitação média anual, segundo o INPE (2010) de 1.600 mm³/m², estações bem divididas, com verão chuvoso e inverno seco. A altitude varia entre 600 m a 2800 m (Pedra da mina em Passa Quatro) e o bioma de mata Atlântica.



Figura 3. Identificação da região sul do estado de Minas Gerais

O Sul de Minas Gerais possui área total de 3,7 milhões de hectares, dos quais, 1,2 milhões são pastagens, destinadas à produção de leite e carne. Estima-se que próximo de 75% desta pastagem possua no mínimo um moderado grau de degradação (MAPA, 2015). A região possui uma agricultura variada, com destaque para o café. Porém, mesmo com a importância da produção de café na região, a área destinada à produção de leite chega a ser 3,7 vezes maior que a de café. A Tabela 3 apresenta informações das principais áreas agrícolas da região.

Tabela 3. Áreas ocupadas pelas principais plantações do Sul de Minas.

	Banana	Café	Arroz	Batata	Cana	Feijão	Mandioca	Milho
Área (ha)	10.089	322.194	4.749	19.114	11.662	43.215	3.706	158.757

Na região, o setor de leite não possui uma homogeneidade de produção entre as cidades, coexistindo municípios com altas produções anuais como Três Corações (32 milhões L/ano), São Sebastião do Paraíso (25 milhões L/ano), Pouso Alegre (23,5 milhões L/ano), Carmo do Rio Claro (19,7 milhões L/ano), vizinhas de outras com baixas produções como São Lourenço (0,96 milhões L/ano), Córrego do Bom Jesus (1,1 milhões L/ano), Olímpio Noronha (1,2 milhões L/ano), Carvalhópolis (1,37 milhões L/ano). Individualmente há grandes produtores, com destaque nacional, como o 7º maior produtor de leite brasileiro, com média diária de 30.485 kg no ano de 2015 em Carmo do Rio Claro, ou o 33º em Três Corações com 14.100 kg/dia, ou em Boa Esperança o 41º com 13.295 kg/dia entre outros que produzem milhares de kg de leite diariamente (MilkPoint, 2015).

4.2. Coleta de dados sobre os sistemas de produção

Os dados para este estudo foram coletados *in situ* de 92 produtores de leite da região do Sul de Minas Gerais, escolhidos aleatoriamente, totalizando 49 cidades distribuídas por toda a região. As entrevistas foram realizadas aos próprios produtores ou responsáveis. Técnicos da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais (EMATER) e do Instituto Mineiro de Agropecuária (IMA) proporcionaram as oportunidades das entrevistas, quebrando a resistência natural que os pecuaristas possuem a dar informações de suas produções.

O objetivo deste estudo é a análise dos “sistemas de produção de leite”, assim, considerou-se que as fronteiras dos sistemas incluiriam apenas os setores da fazenda que estivessem ligados diretamente à produção de leite, como pastagens, produção de forrageiras e ordenha. Dez por cento destas áreas foram consideradas como estradas internas nas fazendas e incluídas nas áreas destinadas à produção de leite. Áreas de vegetação natural e outras (quando existem), não foram consideradas neste trabalho, apesar de se saber que estas áreas podem influenciar nos resultados da análise da sustentabilidade da fazenda, como verificado por Vigne

et al. (2013), que considerou três fronteiras na análise de fazendas com produção de leite em Mali na África e em alguns territórios franceses: na primeira, consideraram apenas os animais, em seguida a produção de leite e finalizou aumentando a fronteira para a fazenda toda. Neste estudo, os autores obtiveram diferentes resultados para cada fronteira considerada, influência das variações dos fluxos como as culturas e áreas naturais.

4.3. Análise de Cluster

Vários tipos de sistemas de produção de leite existem na região, com diferentes índices de produtividade, manejo, intensidade de trabalho, uso de energia e materiais externos. Com base na produtividade animal e no manejo alimentar, EMBRAPA (2005) classificou os sistemas de produção de leite em quatro tipos principais: (i) sistema extensivo: produtividade animal abaixo de 1.200 L_{leite} / ano, com animais criados exclusivamente pelo pastoreio; (ii) sistema semi-intensivo: produtividade por animal entre 1200 e 2000 L_{leite} / ano, alimentação em pastagem com um volume suplementar durante períodos de secas; (iii) sistema intensivo a pasto: produtividade de 2.000 a 4.500 L_{leite} / ano, pastagem com alta qualidade nutricional e volume suplementar ao longo do ano, ou parte dele; (iv) sistema intensivo de confinamento: produtividade animal acima de 4.500 L_{leite} / ano, volume suplementar ao longo de todo o ano e confinamento total.

Uma dificuldade operacional foi encontrada no enquadramento das unidades de produção pesquisadas, nos quatro tipos definidos pela EMBRAPA (2005) (extensivo, semi-intensivo, intensivo pasto, e intensivo com confinamento). Assim, foi realizada uma análise de cluster. Para isso, a classificação original da EMBRAPA foi reclassificada em três tipos: (i) sistema extensivo: gado criado em pasto, com forragem suplementar em tempos de pastos secos; (ii) sistema semi-intensivo: gado criado em pasto (tratado) com ração e forragem ao longo do ano; (iii) sistema intensivo: confinamento total, alimentação baseada em ração e forragem ao longo do ano. Essa nova classificação foi validada em comum acordo com as equipes técnicas do IMA, da EMATER e técnicos de algumas indústrias de laticínios regionais (CooperRita -Santa Rita do Sapucaí-, Danone -Poços de Caldas-).

Após a reclassificação, os seguintes indicadores foram considerados para a análise de cluster: (i) L_{leite}/ha_{pasto}(ano); (ii) UA/ha_{pasto}; (iii) L_{leite}/cabeça (dia); (iv)

L_{leite} /Mão de obra.dia; (v) kWh/ L_{leite} ; (vi) kg_{raçao}/vaca; (vii) Raça. O add-in "Action 2,5" (www.portalaction.com.br) para o Microsoft Excel foi usado para a análise de cluster. Esta abordagem permitiu agrupar cada uma das 92 propriedades rurais estudadas em grupos com características semelhantes expressas pelos indicadores considerados.

A análise de cluster gerou cinco grupos de sistemas produtivos com características semelhantes. Optou-se por eleger um sistema representativo de cada conjunto, para ter-se uma propriedade real para a análise. Assim, a produtividade média de cada grupo de sistemas foi calculada e aquele que possuísse este indicador mais próximo ao desta média foi escolhido como representante do grupo.

4.4. Unidades Funcionais

De acordo com Opio et al. (2013), a Unidade Funcional (UF) indica um fluxo de saída útil do sistema de produção representando uma quantidade e qualidade definidas. A UF é necessária para delinear as funções do sistema em estudo e viabilizar comparações com sistemas semelhantes.

Para este estudo, na etapa da Síntese em Emergia, a UF utilizada está relacionada a área, referenciada na unidade -ha- (relação entre as variáveis encontradas por unidade de área). No cálculo da transformidade do leite, o volume produzido deste insumo é transformado em energia (Joule), considerando 1 L_{leite} = 628,3 kcal ou 2626 kJ (USDA, 2015a).

Para o Potencial de Aquecimento Global e Energia Incorporada, a UF utilizada está relacionada à massa de leite produzido, corrigido pela sua energia, o Energy Corrected Milk (ECM). Utilizando parâmetros de gordura e proteína, Sjaunja et al. (1990) descreveram a equação para correção da energia do leite, apresentada na Eq.(1), a qual auxiliou nos cálculos desta unidade para este trabalho.

$kg_{ECM} =$ massa do leite $\times ((0,25 + 0,122 \times$ teor de gordura $) + (0,077 \times$ teor de proteína $)$

Eq. (1)

Onde:

massa do leite: produção de leite em kg ($1L_{leite} = 1,03 \text{ kg leite}$);

teor de gordura: porcentagem de gordura de 1 kg de leite (%);

teor de proteína: porcentagem de proteína de 1 kg de leite (%).

O teor de gordura e proteína utilizados foram informados pelos responsáveis das fazendas e representantes dos laticínios.

A unidade ECM é muito utilizada em estudos de energia e emissões da pecuária de leite e assim foi empregada neste estudo para validar os resultados encontrados para os sistemas do Sul de Minas Gerais. Outra UF utilizada para o PAG e Energia Incorporada esta relacionada à área, na unidade hectare (ha). Esta unidade é necessária para extrapolar os resultados individuais de cada grupo para toda a região. Todas as unidades utilizadas neste estudo referem-se ao período de um ano.

4.5. Sustentabilidade: Modelos conceituais e indicadores

A World Commission on Environment and Development em seu relatório "Our Common Future" conhecido como "Relatório Brundtland" (WCED, 1987), define desenvolvimento sustentável como: "desenvolvimento capaz de atender as necessidades presentes sem comprometer a capacidade das gerações futuras em atender suas próprias necessidades". Neste relatório está embutido o conceito de que o desenvolvimento sustentável deve compatibilizar o crescimento econômico com o desenvolvimento social e ambiental.

Segundo Ehlers (1996) variadas definições de sustentabilidade ambiental anunciam a "necessidade do estabelecimento de um novo padrão produtivo que não agrida o ambiente e que mantenha as características dos agro-ecossistemas por longos períodos". A FAO (1995) propõe que para se obter uma agricultura sustentável junto a um desenvolvimento rural é necessário que: (i) garanta atendimento às exigências nutricionais básicas das gerações presentes e futuras produzindo produtos agrícolas de qualidade; (ii) disponibilize empregos a longo prazo, com salário adequado e condições decentes de trabalho; (iii) mantenha ou aumente a capacidade produtiva dos recursos naturais como um todo, bem como a capacidade de regeneração dos recursos renováveis, sem interromper o funcionamento dos ciclos ecológicos básicos, os equilíbrios naturais, os atributos socioculturais das comunidades rurais, ou que cause contaminação ambiental; (iv) diminua a vulnerabilidade da agricultura para fatores adversos, sejam eles naturais ou socioeconômicos, fortalecendo a autossuficiência dos sistemas.

Para a avaliação da sustentabilidade regional, Pulselli et al. (2015) sugerem o emprego de indicadores das áreas ambiental, social e econômica em uma ordem lógica entre estas três dimensões da sustentabilidade. Partindo destes conceitos, este estudo considera a sustentabilidade baseada nos critérios ambiental, econômico e social. Dentre outros modelos existentes para representar a sustentabilidade, este trabalho considera o modelo de sistemas abertos (entrada-estado-saída; Figura 4) como proposto por Coscieme et al. (2013). Pulselli et al. (2011) lembram que várias podem ser as combinações de indicadores empregados neste modelo, e Bastianoni et al. (2016) salientam que esses indicadores devem ser apropriados para a avaliação dos diversos aspectos do sistema, sempre alinhados aos objetivos iniciais a que se deseja alcançar.



Figura 4. Modelo Imput-State-Output proposto por Coscieme et al. (2013)

Para a aplicação deste modelo para o estudo da produção de leite do Sul de Minas Gerais (Figura 5) considera-se os indicadores de emergia, energia incorporada, inventário de emissões, além de outros relacionados às dimensões social e econômica.

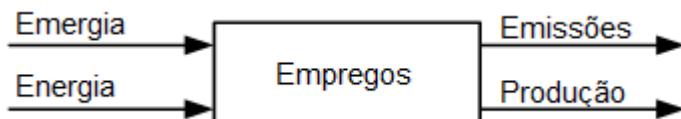


Figura 5. Modelo Entrada-Estado-Saída específico deste estudo.

Especificamente, os indicadores utilizados para a avaliação da sustentabilidade da produção de leite da região Sul de Minas Gerais, nos cenários Atual e Alternativo, são: ESI, da Síntese em Emergia, MJ/kg_{ECM} , oriundo da análise de Energia Incorporada, $kgCO_{2eq}/kg_{ECM}$, do Inventário de Emissões, h_{trab}/ano , e $R\$_{RB}/ano$. Nesta avaliação, considera-se que todos os indicadores possuem a mesmo peso para a avaliação da sustentabilidade.

4.6. Síntese em Emergia

Os procedimentos metodológicos relacionados à metodologia de Síntese em Emergia considerados neste trabalho estão de acordo com Odum (1996) e Brown e

Ulgiati (1997,2004), exceto pela inclusão das renovabilidades parciais. Reconhecendo que alguns sistemas utilizam insumos que podem possuir certo grau de renovabilidade, ou uma renovabilidade parcial, Tiezzi e Marchettini (1999) propuseram sua inclusão na contabilidade ambiental em emergia para melhor representar a sustentabilidade dos sistemas estudados. Posteriormente, Ortega et. al. (2002), Agostinho et al. (2008) e Ulgiati e Brown (2014) reconheceram a importância desta abordagem e também a utilizaram em seus estudos. No presente estudo, são consideradas as renovabilidades parciais dos materiais da economia, mão de obra e água para o consumo dos animais. No Apêndice A estão as porcentagens das renovabilidades dos fluxos considerados neste estudo. Esta medida é considerada um enriquecimento na metodologia emergética, representando um passo à frente na direção de descrever com maior fidelidade a sustentabilidade dos sistemas produtivos mais complexos. As renovabilidades parciais foram baseadas nos estudos de Ortega et al. (2002) e Cavalett et al. (2006).

O foco da metodologia está no cálculo de indicadores de desempenho ambiental que contabilizam recursos naturais e econômicos usados em sistemas naturais e humanos. A Síntese em Emergia baseia-se em quatro etapas:

(i) Elaboração de um diagrama de energia, que representa o sistema em estudo, indicando todos os fluxos de energia que cruzam suas fronteiras, pois em todos os processos da biosfera existem fluxos de energia. Segundo Odum (2000) o diagrama permite uma melhor compreensão do sistema, sendo uma etapa importante para o início dos cálculos matemáticos. Este diagrama é produzido por símbolos específicos, que são apresentados no Anexo A. Nesta etapa, busca-se identificar os fluxos mais relevantes ao funcionamento do sistema, assim como, deixar claro, o funcionamento do sistema produtivo que está sendo avaliado. Os fluxos identificados são classificados em recursos renováveis da natureza (R), não renováveis da natureza (N) e os recursos provindos da economia (F).

(ii) Organização de uma tabela contendo todos os fluxos identificados no diagrama anterior, incluindo a quantidade destes fluxos que entram no sistema por determinado período de tempo (usualmente um ano), a UEV correspondente a cada fluxo identificado e, finalmente, a emergia de cada fluxo obtido pela multiplicação da quantidade do fluxo pelo seu respectivo UEV.

- (iii) Na terceira etapa, os indicadores em emergia são calculados por relações entre os recursos “R”, “N”, e “F”, indicando o desempenho em emergia do sistema sob diferentes perspectivas, mas sempre relacionando à sustentabilidade do sistema.
- (iv) Para finalizar a avaliação há a necessidade da análise dos indicadores calculados, comparando-os entre si e com os de outros estudos de sistemas correlatos, podendo assim identificar os sistemas que possuem melhor desempenho ambiental.

As etapas da metodologia de Síntese em Emergia são explicadas detalhadamente nos subitens a seguir.

(i) Elaboração do diagrama de energia

O primeiro passo da Síntese em Emergia consiste na elaboração de um diagrama do sistema estudado, o qual será a base das demais etapas. Este diagrama deve conter todas as entradas de fluxos de energia (J), massa (kg) e monetários (R\$) do sistema, utilizando para isto, símbolos desenvolvidos por Odum (1996). No Anexo A são apresentados estes símbolos, com seus respectivos significados. A Figura 6 apresenta o esquema genérico de um diagrama de energia utilizado neste estudo.

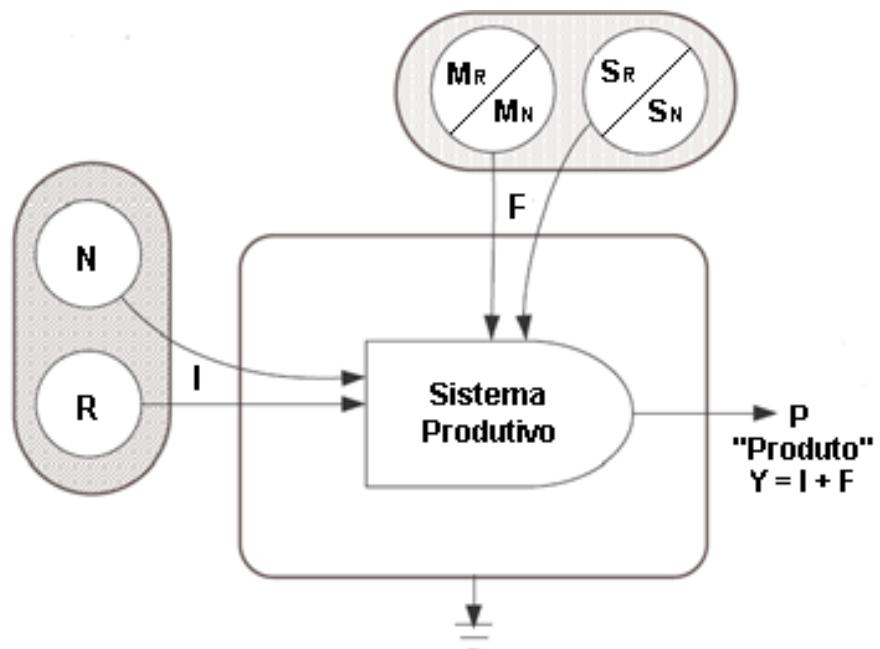


Figura 6. Diagrama genérico de um sistema produtivo.

R: renováveis; N: não renováveis; M_R : materiais renováveis; M_N : materiais não renováveis; S_R : serviços renováveis; S_N : serviços não renováveis; I: fluxos da natureza; F: fluxos da economia Y: fluxo total. Fonte: Adaptado de: Souza (2010)

No diagrama há uma diferenciação dos fluxos de energia, que também será utilizada na tabela de energia. É uma classificação das fontes e estoques energéticos, considerando da esquerda para a direita os recursos naturais renováveis (R), seguidos pelos não renováveis (N), pelos recursos da economia (F) e finalizando do lado direito do diagrama, com os fluxos que saem do sistema.

(ii) Elaboração da tabela de emergia

A segunda etapa da Síntese em Emergia é a elaboração de uma tabela que contenha todos os valores calculados dos fluxos de entrada do sistema. Cada fluxo de energia que entra pela fronteira do sistema é representado por uma linha na tabela. Estes fluxos são divididos em três categorias: fontes renováveis da natureza (R), fontes não renováveis da natureza (N), recursos da economia (F), que agrupa dois subgrupos, materiais (M) e serviços (S). Ao Final da tabela está o valor total em emergia do sistema (sej). A Tabela 4 apresenta um modelo utilizado para o cálculo dos fluxos de emergia. Em seguida está a Tabela 5, contendo os UEVs utilizados neste estudo.

Tabela 4. Modelo de tabela utilizado para a Síntese em Emergência.

Tabela 5. UEVs utilizados para os cálculos de emergia neste trabalho.

Item	Unid.	Valor mínimo para UEV (seJ/Unid.)	Referência	Valor máximo para UEV (seJ/Unid.)	Referência	Observação
Sol	J	1,00E00	Odum, 1996	1,00E00	Odum, 1996	Por definição
Chuva	J	3,10E04	Odum, 1996	3,10E04	Odum, 1996	-
Vento	J	2,45E03	Odum, 1996	2,45E03	Odum, 1996	-
Água	g	2,29E05	-	3,27E05	-	25% maior e menor que de Buenfill (2001) para água subterrânea
Perda de solo	J	1,24E05	Odum, 1996	1,24E05	Odum, 1996	-
Diesel	J	1,36E05	-	2,26E05	-	25% maior e menor que Brown e Ulgiati (2011)
Gasolina	J	1,40E05		2,34E05		
Aço	g	3,69E09	Bargigli e Ulgiati, 2003	6,94E11	Brown e Buranakarn, 2003	
Aço Inox	g	5,90E09	-	8,68E10	-	UEV mínimo do aço, acrescida de 60%. O UEV máximo do inox é 50% maior que sua UEV mínimo.*
Calcário	g	1,26E09	-	2,10E09	-	25% maior e menor que Odum (1996)
Nitrogênio	g	7,04E09		4,41E09		25% maior e menor que Brown et al. (2011)
Fósforo	g	4,88E09		8,13E09		25% maior e menor que Odum (1996)
Potássio	g	1,39E09		2,31E09		25% maior e menor que Odum (1996)
Milho	g	2,40E09	Odum, 1996	1,30E10	Brandt-Williams, 2002	-
Farelo de soja	g	1,24E09	-	2,00E09	-	25% maior e menor que o valor de Cavalett and Ortega (2009)
Sementes	g	2,98E09	Fahd et al., 2012	3,23E09	Bastianoni et al., 2008	-
Mudas	g	1,06E09	-	1,76E09	-	25% maior e menor que valor de Agostinho e Ortega (2012)
Eletricidade	J	5,87E04	Brown e Ulgiati, 2002	1,02E05	Brown e Ulgiati, 2004	
Concreto	g	1,81E09	-	3,02E09	-	25% maior e menor que o valor de Buranakarn (1998)
Mão de obra	J	9,66E06	-	9,66E06	-	Baseado em Giannetti et al. (2011)
Serviços	USD	3,40E12	Coelho et al., 2003	4,24E12	Giannetti et al., 2015	-

* O aço inoxidável requer 60% mais de energia fóssil para ser produzido do que o aço normal (Boustead e Hancock, 1979). Considerou-se o UEV mínimo do inox, como o UEV mínimo do aço, acrescido de 60%. O UEV máximo do inox é 50% maior que seu UEV mínimo.

O Baseline é a emergia total que dirige a biosfera (a soma da radiação solar, marés e calor interno da terra). É requerida por todos os processos dentro da biosfera. O Baseline utilizado neste estudo é de 15,83 E+24 sej/ano (Brown e Ulgiati, 2004).

(iii) Cálculos dos indicadores em emergia

Os indicadores em emergia mostram as relações entre os fluxos R, N e F que cruzam as fronteiras dos sistemas analisados e estes são apresentados na Tabela 6. Dos indicadores tradicionais, dois deles, renovabilidade e razão de carga ambiental utilizam as renovabilidades parciais dos fluxos em seus cálculos, sendo que sua sigla é diferenciada com a inclusão da letra “m” de modificado para diferenciar da nomenclatura usual utilizada em sínteses em emergia.

Tabela 6. Indicadores em emergia considerados neste estudo.

Índice	Equação	Definição
Renovabilidade (modificada)	$m\text{-}\%R = 100 (R + M_R + S_R) / Y$	Razão entre os recursos renováveis da natureza e economia pela emergia total do sistema
Razão de Carga Ambiental (modificada)	$m\text{-}ELR = (N + M_N + S_N) / (R + M_R + S_R)$	Razão entre os recursos não renováveis pelos renováveis
Razão de Rendimento em Emergia	$EYR = Y / F$	Razão da emergia total do sistema pela emergia provinda da economia
Razão de Investimento em Emergia	$EIR = F / (R + N)$	Razão entre os recursos da economia pela emergia da natureza
Índice de Sustentabilidade em Emergia	$ESI = EYR / m\text{-}ELR$	Razão entre o rendimento em emergia pela carga ambiental
Valor Unitário de Emergia	$UEV = Y / E$	Razão entre a emergia total do sistema pela energia total disponibilizada

A Renovabilidade (%R) indica a porcentagem de emergia renovável utilizada pelo sistema. Também é utilizada para indicar a sustentabilidade. De acordo com Brown e Ulgiati (2004) prevalecerão os sistemas com alta porcentagem de emergia renovável, enquanto aqueles que dependem muito dos recursos não renováveis entrarão em declínio, devido à escassez dos combustíveis fósseis.

A Razão de Carga Ambiental (ELR; do inglês Environmental Loading Ratio) avalia a pressão que os fluxos do sistema exercem sobre o meio ambiente, ou o estresse do ecossistema devido ao sistema produtivo. De acordo com Brown e Ulgiati (2004), valores de ELR abaixo de 2 indicam baixo impacto ambiental, quando

os valores estão entre 2 e 10 indicam carga ambiental moderada e maiores que 10 indicam alta carga ambiental. Valores altos de ELR mostram que o sistema está longe de um equilíbrio ambiental, por depender fortemente de recursos externos.

A Razão de Rendimento em Emergia (EYR; do inglês Energy Yield Ratio), avalia a habilidade do sistema em utilizar os recursos locais (R e N), ou a influência que os recursos vindos da economia possuem no sistema. Menor utilização de fluxos de energias fósseis e minerais é melhor para o futuro do sistema, pois estes recursos tendem a se tornarem escassos. O valor mínimo para este índice é 1 e isto ocorre quando não há contribuição da natureza ($R+N=0$). Valores de EYR menores que 2 não fornecem contribuições consideradas como fontes para os sistemas em que estão inseridos, apenas representam etapas na transformação das fontes de energia.

A Razão de Investimento em Emergia (EIR; do inglês Energy Investment Ratio) permite avaliar o investimento da economia em relação à contribuição da natureza no sistema de produção. Segundo Brown e Ulgiati (2004), o EIR mede a eficiência do sistema na utilização da energia investida, quando comparado a alternativas que utilizam os mesmos recursos. Valor abaixo de 1 indica que o ambiente fornece mais recursos para o sistema do que a economia. Quando EIR é igual a 1, há um equilíbrio entre os fluxos ambientais e econômicos.

O Índice de Sustentabilidade Ambiental (ESI; do inglês Environmental Sustainability Index) avalia a contribuição potencial de um recurso para a economia por unidade de carga ambiental (Brown e Ulgiati, 2004). Considerando que este índice é a relação entre o rendimento em energia (EYR) pela carga ambiental (ELR), tem-se que a sustentabilidade ambiental será maior, quanto maior o rendimento e menor o estresse provocado pelo sistema. Assim ESI menor que 1, indica que o sistema não é sustentável; de 1 à 5, pode ser considerado com uma sustentabilidade a médio prazo; acima de 5, possui uma sustentabilidade a longo prazo.

O Valor Unitário de Energia (UEV; do inglês Unit Energy Value) indica a eficiência do sistema. Ao se comparar sistemas, o UEV indica aquele que é mais eficiente entre eles, ou seja, aquele que utiliza menor quantidade de energia solar incorporada para produzir uma unidade de energia, massa ou valor monetário do produto. É utilizado na conversão de diferentes tipos de energia na mesma unidade

de emergia e também mostra a posição do sistema na escala hierárquica de energia na biosfera.

Geralmente na Síntese em Emergia, o analista escolhe um UEV que represente seu sistema, mas com o objetivo de reduzir as incertezas, recentemente estudos empregando esta metodologia, consideraram a análise de incertezas (Ingwersen; 2010; Agostinho et al.; 2015), método já aplicado em Avaliação de Ciclo de Vida. Desta forma, optou-se neste trabalho em utilizar análise de Monte Carlo para reduzir as incertezas.

A análise das incertezas foi aplicada nos UEVs representativos, assim como na escolha de renovabilidades parciais apropriadas. Na análise de Monte Carlo assumiu-se 10.000 repetições randômicas e uma função de curva normal para representar a distribuição de probabilidades.

Na Síntese em Emergia as incertezas também podem estar presentes em outros pontos, como na coleta de dados, porém determinou-se aqui aplicar a análise de Monte Carlo apenas para os UEVs e renovabilidades parciais, por se considerar que os dados coletados são valores assumidos como reais, porque foram fornecidos pelos representantes de cada sistema, com o uso de questionários aplicados in loco. A Figura 7 apresenta o esquema com os procedimentos dos cálculos dos índices em emergia considerando a análise de Monte Carlo.

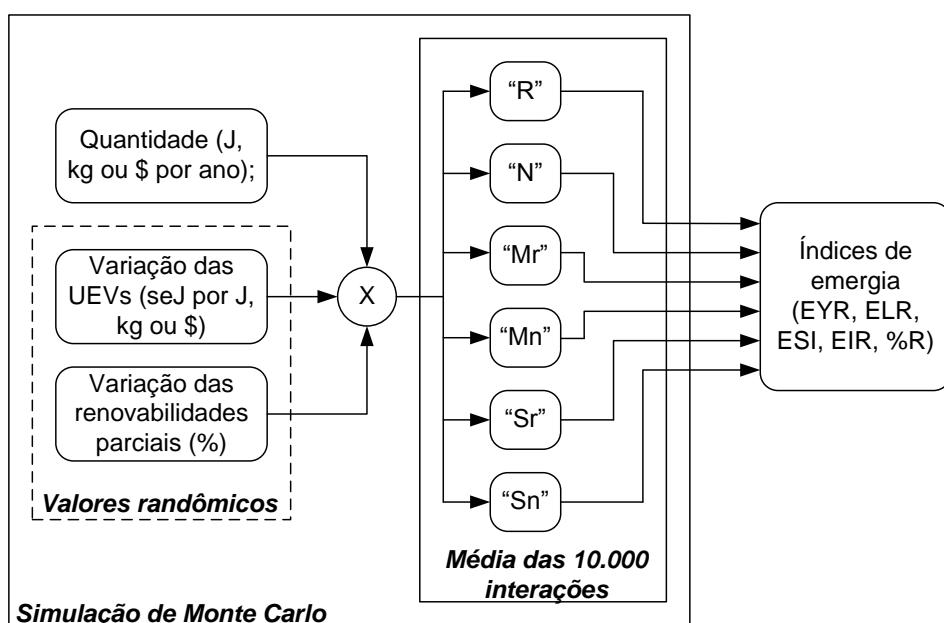


Figura 7. Procedimentos de cálculo dos índices em emergia.

4.7. Energia Incorporada

Toda energia comercial utilizada por unidade de produto (J, kg, L, etc) é chamada de intensidade ou fator de energia incorporada e é expressa em unidades de energia por unidade física de um bem ou serviço. São dois os principais indicadores fornecidos por esta metodologia: Requerimento Bruto de Energia (RBE) que mede a energia incorporada para produzir uma unidade de produto (J/L, J/kg, J/m³); Retorno de Energia sobre Investimentos (EROI), mede o rendimento da relação do total da energia incorporada e da energia fornecida (IFIAS, 1974). A Figura 8 apresenta um esquema de incorporação de energia em um produto.

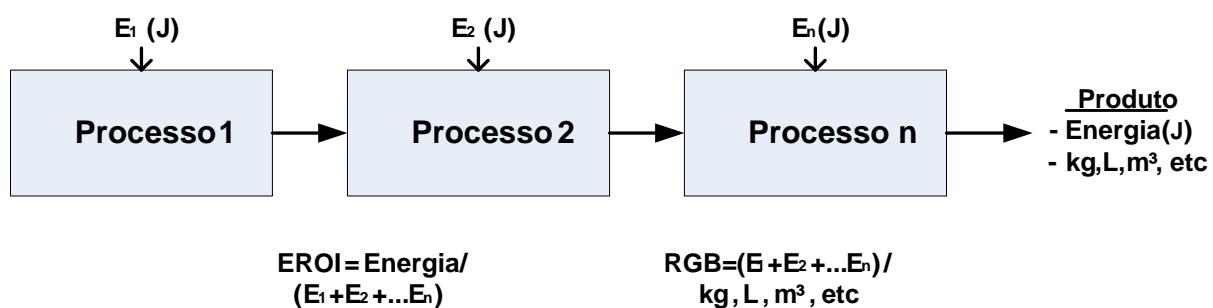


Figura 8. Esquema dos processos de incorporação de energia em um produto

Para o cálculo da Energia Incorporada, as entradas de insumos utilizados no sistema são quantificadas em massa (kg) ou energia (kWh) e multiplicadas pelos respectivos coeficientes de intensidade de energia incorporada. Estes coeficientes são obtidos do banco de dados da Ecoinvent (2015), com médias globais e representam a quantidade de MJ_{eq} demandado em cada unidade de massa ou energia do sistema.

A Tabela 7 apresenta a configuração de uma tabela de avaliação da Energia Incorporada de um sistema e os passos para preenchimento da tabela.

Tabela 7. Configuração da tabela utilizada para a avaliação da energia incorporada

1	2	3	4	5	6	7
Nota	Nome	Unid	Unid/ha	MJ _{eq} /unid	MJ _{eq} /ha	MJ _{eq} /kg _{EMC}
Entrada						
(1) Referência numérica do fluxo;						
(2) Nome do fluxo avaliado;						
(3) Unidade utilizada para o fluxo (J, kg, kWh);						
(4) Quantidade anual de fluxo que entra no sistema, dividido pela a área -ha- do sistema;						
(5) Quantidade de MJ _{eq} incorporado por unidade do fluxo;						
(6) Quantidade de MJ _{eq} incorporado por hectare do sistema. Resultado da multiplicação da coluna 4 pela coluna 5						
(7) Quantidade de MJ _{eq} incorporado em 1 kg _{EMC} . Resultado da divisão da coluna 6 pela produtividade por hectare do sistema.						

Na Tabela 8 são apresentados os valores dos coeficientes de intensidades de energias incorporadas (kg_{ep}/unid) utilizada na coluna 5 da Tabela 7.

Tabela 8. Intensidades de energia e referências utilizadas neste estudo.

Item	Unidade	Intensidade energética (MJ _{eq} /unidade)	Nome do item no Ecoinvent
Soja	kg	3,505	Market for soybean, feed, GLO
Milho	kg	6,387	Market for maize grain, feed, GLO
Diesel	kg	57,46	Market group for diesel, low-sulfur, GLO
Gasolina	kg	57,94	Market for petrol, 15% ETBE additive by volume, with ethanol from biomass
Sementes	kg	6,387	Market for maize grain, feed, GLO
Mudas *	kg	0,009	Sugarcane production
Nitrogênio	kg	73,38	Field application of ammonium chloride
Fósforo	kg	27,99	Market for phosphoric acid, industrial grade, without water, in 85% solution state
Potássio	kg	7,325	Market for potassium chloride, as K ₂ O
Calcário	kg	0,159	Market for limestone residue
Uréia	kg	59,56	Market for urea, as N
Aço	kg	22,61	Market for metal working, average for steel product manufacturing
Aço inox	kg	49,90	Steel production, chromium steel 18/18 hot rolled, RER.
Eletricidade	kWh	0,052	Electricity production, hydro, reservoir, tropical region
Concreto	kg	0,914	Market for concrete, 35MPa

* Mudas de cana de açúcar foi considerada 3% do consumo da energia para produção da cana de açúcar, baseado em Macedo et al. (2004).

4.8. Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa

No Inventário de Emissões, o indicador calculado é o Potencial de Aquecimento Global (PAG) na unidade kgCO₂eq. As emissões contabilizadas neste estudo (Figura 9) são: as indiretas representadas pela queima de combustíveis fósseis na produção de insumos que entram pela fronteira do sistema produtivo; as diretas representadas pela fermentação entérica na digestão dos animais e manejo dos dejetos dentro do sistema produtivo.

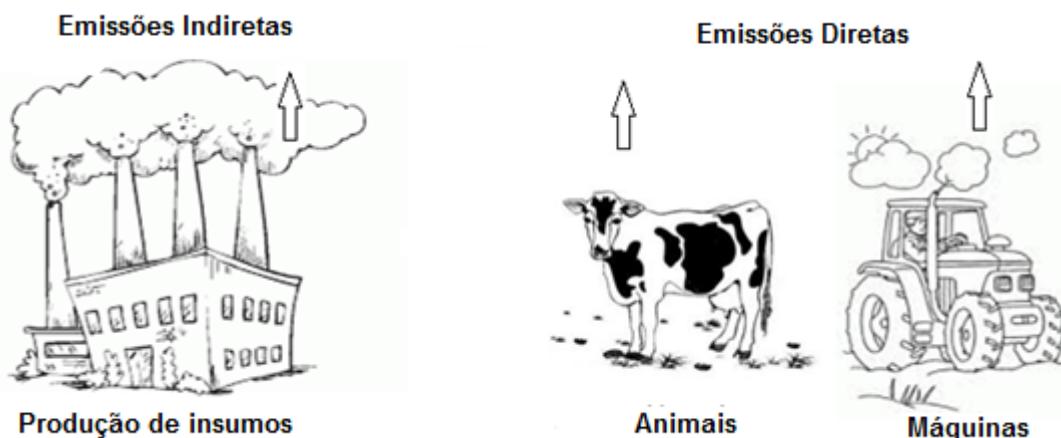


Figura 9. Emissões contabilizadas neste estudo.

Para o cálculo das emissões de CO_{2eq} devido ao uso de energia na produção dos insumos que entram nos sistemas de produção de leite do Sul de Minas Gerais, metodologia semelhante da avaliação da Energia Incorporada foi aplicada. As entradas de insumos utilizadas no sistema são quantificadas em massa (kg) ou energia (kWh) e multiplicadas pelos respectivos coeficientes de PAG. Estes coeficientes são obtidos do banco de dados da Ecoinvent (2015), com médias globais e representam a quantidade de CO_{2eq} emitido por cada unidade de massa ou energia do sistema (Tabela 9).

Tabela 9. Configuração da tabela usada para calcular o Potencial de Aquecimento Global de cada sistema analisado.

1	2	3	4	5	6	7
Nota	Nome	Unid	Unid/ha	kgCO _{2eq} /unid	kgCO _{2eq} /ha	kgCO _{2eq} /kg _{EMC}
Entrada						
(1) Referência numérica do fluxo;						
(2) Nome do fluxo avaliado;						
(3) Unidade utilizada para o fluxo (J, kg, kWh);						
(4) Quantidade anual de fluxo que entra no sistema, dividido pela a área -ha- do sistema;						
(5) Quantidade de kgCO _{2eq} emitido por unidade do fluxo;						
(6) Quantidade de kgCO _{2eq} emitido por hectare do sistema. Resultado da multiplicação da coluna 4 pela coluna 5.						
(7) Quantidade de kgCO _{2eq} emitido em 1 kg _{EMC} . Resultado da divisão da coluna 6 pela produtividade por hectare do sistema.						

A Tabela 10 apresenta os coeficientes do PAG de cada item que entra no sistema produtivo. Os valores são do Ecoinvent (2015), para um período de 20 anos.

Tabela 10. Coeficientes de Potencial de Aquecimento Global do Ecoinvent (2015).

Item	Unidade	Potencial de aquecimento global (kgCO ₂ eq.)	Nome do item no Ecoinvent
Soja	kg	1.638	Market for soybean, feed, GLO
Milho	kg	0.745	Market for maize grain, feed, GLO
Diesel	kg	0.708	Market group for diesel, low-sulfur, GLO
Gasolina	kg	1,064	Market for petrol, 15% ETBE additive by volume, with ethanol from biomass
Sementes	kg	0.745	Market for maize grain, feed, GLO
Mudas *	kg	0,002	Sugarcane production
Nitrogênio	kg	6,308	Field application of ammonium chloride
Fósforo	kg	1,779	Market for phosphoric acid, industrial grade, without water, in 85% solution state
Potássio	kg	0,539	Market for potassium chloride, as K ₂ O
Calcário	kg	0,006	Market for limestone residue
Uréia	kg	3,690	Market for urea, as N
Aço	kg	2,543	Market for metal working, average for steel product manufacturing
Aço inox	kg	5,710	Steel production, chromium steel 18/18 hot rolled, RER
Eletricidade	kWh	0.133	Electricity production, hydro, reservoir, tropical region
Concreto	kg	0,149	Market for concrete, 35MPa

Fonte: Ecoinvent (2015).

As emissões diretas pela queima de combustível em máquinas utilizadas dentro dos sistemas produtivos, foram calculadas da seguinte forma. A energia incorporada anual do diesel é multiplicada pelo respectivo fator de emissão (g/MJ) dos gases: CO=0,32; CH₄ = 0,0042; N₂O = 0,0019; CO₂ = 75,5; SO₂ = 0,12; NO_x = 0,89; hidrocarbonetos = 0,085 (EPA, 2008).

A fermentação entérica na digestão dos bovinos é uma importante fonte de emissão direta de uma bovinocultura de leite. Para o cálculo desta emissão há algumas equações que podem ser usadas, dependendo do nível de informações que se tenha. Neste estudo, como não havia detalhamento minucioso da alimentação dos animais, utilizou-se a equação do Tier 1 (IPCC, 1997), a qual não necessita de informações detalhadas dos sistemas. Assim, foi empregado a Eq. (2) para o cálculo das emissões em cada sistema, devido à fermentação entérica na digestão dos bovinos.

$$EE = NA \times FE$$

Eq. (2)

Onde:

EE = Emissão de CH₄ devido à fermentação entérica na digestão (kgCH₄/ano)

NA = Número de animais (cabeça/ano)

FE = Fator de emissão (kg CH₄/cabeça)

Assim como para as emissões devido à fermentação entérica na digestão dos bovinos, a equação do Tier 1 (IPCC, 1997) foi empregada para os cálculos das emissões devido ao manejo de dejetos. A Eq. (3) foi utilizada nestes cálculos.

$$EM = NA \times FE$$

Eq. (3)

Onde:

EM = Emissão de CH₄ devido ao manejo de dejetos (kgCH₄/ano)

NA = Número de animais (cabeça/ano)

FE = Fator de emissão (kg CH₄/cabeça)

Há muitos fatores de emissão devido à fermentação entérica na digestão e de manejo de dejetos de bovinos na literatura (Olszensvki et al. (2010); Primavesi et al. (2004); Lima et al. (2012)), cada qual com o emprego de uma metodologia, analisando os animais em variadas épocas e sistemas de alimentações específicas. Assim assumiu-se neste trabalho, considerar os fatores de emissão apresentados no 2º Inventário de Emissões Brasileiro (EMBRAPA 2010), que possui FE específico para Minas Gerais. Os fatores utilizados neste estudo são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11. Fatores de emissão de CH₄ no período de um ano do 2º Inventário Brasileiro.

Referência	Emissão Entérica kgCH ₄ / cabeça	Emissão Dejetos kgCH ₄ / cabeça
2º inventário	Fêmea = 74 Jovem = 43 Fêmea lac = 70	Fêmea = 1,4 Jovem = 0,9 Fêmea lac = 1,8

Para a obtenção do PAG, a quantidade total de cada gás emitido pelo sistema é multiplicada pelo fator de conversão (CO_{2eq}) de cada um (CO₂ = 1; CH₄ = 25; N₂O = 298; CO = 1,6; hidrocarbonetos = 3,1) (Jensen et al., 1997). Soma-se todos os valores resultantes de cada gás, tendo como resultado a quantidade (kg) de CO_{2eq} anual por cada hectare do sistema. O mesmo procedimento é feito para a unidade kg_{ECM}/ano.

4.9. Indicadores social e econômico

De acordo com Jannuzzi (2012) os indicadores sociais fornecem subsídios ao planejamento público em diferentes esferas de governo, além de servirem como base de informações para a investigação acadêmica sobre os diferentes fenômenos sociais. Segundo o autor, os indicadores sociais podem ser divididos em áreas como as da saúde, educação, mercado de trabalho, demográfico, habitacionais, entre outros.

A EMBRAPA para analisar os efeitos sociais provocados pela aplicação de novas tecnologias na agropecuária utiliza a metodologia Ambitec-Social, que possui indicadores sociais relacionados a quatro aspectos: empregos, educação, saúde, gestão e administração (EMBRAPA, 2008).

Cavallet (2008) utilizou o indicador empregos gerados (trabalhador/ha) e uso da mão de obra (h/J de produto) para analisar a sustentabilidade social da produção da soja no Brasil, assim como Pereira (2008) utilizou horas empregadas como unidade para avaliar a sustentabilidade social na produção do suco de laranja e do etanol. Segundo a autora, este indicador é importante para avaliar o aspecto social da produção, pois leva em consideração a geração de postos de trabalho e a absorção de trabalhadores, mas não considera a qualidade do posto de trabalho.

Neste estudo, o critério social é referenciado por meio do número de postos de trabalho (emprego formal) de cada sistema, fator este, considerado positivo quando deseja-se manter o homem no campo e sustentar sua família. Sua representação é a unidade h_{trab}/ano , ou seja, quantidade de horas de trabalho de contrato dos empregados envolvidos na produção no período de um ano. Cavalett (2008) observa a dificuldade em quantificar a sustentabilidade no aspecto social, que necessitaria de vários outros indicadores como distribuição de renda, grau de educação dos trabalhadores, emprego de crianças; acesso à saúde, grau de organização interna e grau de cooperativismo, entre outros.

Para o cálculo do indicador social de cada sistema de produção de leite na unidade h_{trab}/ano , a Consolidação das Leis do Trabalho (CLT) foi considerada. Segundo a CLT, a jornada de trabalho estipulada é de: 8 h / dia, 220 h / mês e 12 meses / ano (como é um emprego formal, considerou-se as férias). Para calcular este indicador, multiplica-se o número de funcionários por 220 (horas mensais de um trabalhador) e o resultado é multiplicado por 12 meses.

Para a expansão deste indicador para toda a região, primeiro divide-se o indicador individual pela área de cada sistema produtivo, tendo assim $h_{trab}/ha.ano$; depois multiplica-se pela área representativa de cada sistema na região, tendo agora h_{trab}/ano ; por fim, soma-se o resultado das representações de cada sistema.

Assim como para a área social, também a área econômica possui diversos indicadores como custo operacional efetivo, custo operacional total, custo total, produção, receita bruta, margem bruta, margem líquida, lucratividade entre outros. Porém, como o objetivo central deste estudo é a análise de uma região e considerando-se que os dados de venda do leite podem ser expandidos para a região, optou-se assim em utilizar o indicador receita bruta anual ($R\$_{RB}/ano$) para a área econômica.

Este indicador reflete de maneira simples e geral o dinheiro circulando nas propriedades do Sul de Minas Gerais decorrente da venda do leite. Para o seu cálculo, utilizou-se a produção anual multiplicada pelo preço de venda do insumo no laticínio. Este preço não é o mesmo para todos os produtores e variaram da seguinte maneira: R\$ 1,10 para G1, G4 e G5; R\$ 1,00 para G2; R\$ 0,9 para G3. Para a expansão para toda a região, a receita bruta anual por hectare de cada sistema é multiplicada pela área representativa deste e somando-se os resultados individuais ao final.

Importante destacar que devido à complexidade de se interpretar a área social e econômica no aspecto de sustentabilidade e a base de dados inicialmente formada para este trabalho, os indicadores aqui utilizados não promovem uma ampla visão do assunto, mas são indicadores quantitativos que possibilitam um início de discussão sobre a sustentabilidade dos aspectos social e econômico da pecuária regional.

4.10. Análise dos sistemas de produção de leite do Sul de Minas Gerais

Finalizada a etapa de cálculos dos indicadores de todas as metodologias envolvidas, inicia-se a comparação entre os sistemas.

Para o inventário de emissões, especificamente no PAG, devido ao grande número de estudos encontrados na literatura, é utilizado um gráfico Box Plot (Figura 10; Nuzzo, 2016) onde pode-se observar se os valores encontrados para os sistemas do Sul de Minas Gerais estão dentro dos limites encontrados nos outros

estudos. Para os outros indicadores energéticos ambientais, comparação mais simples foram realizadas, com a utilização de gráficos mais usuais (barras).

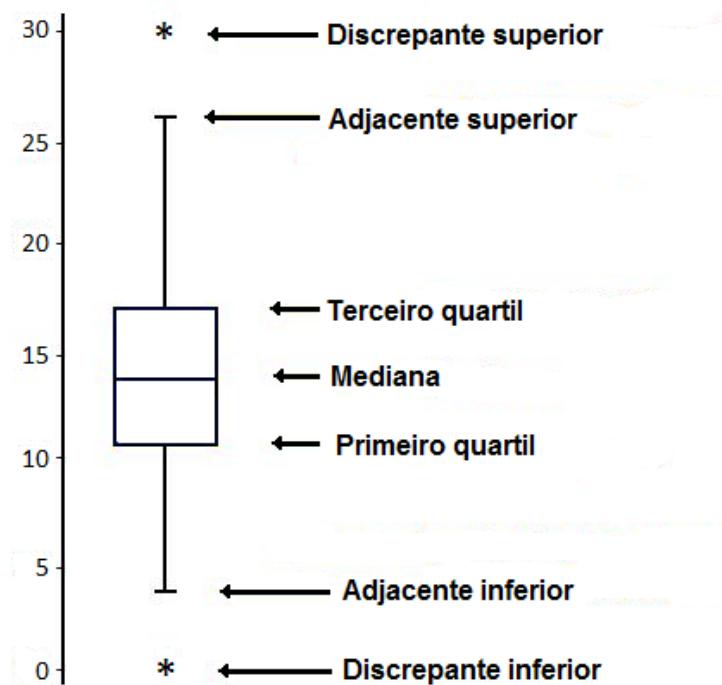


Figura 10. Representação geral de um gráfico Box Plot.

A Figura 10 é uma representação de um gráfico Box Plot, onde a caixa limitada pelo primeiro e terceiro quartil contém 50% dos valores do conjunto de dados. Os outros 50% dos valores encontram-se nas hastes inferior e superior (inferior: intervalo entre o ponto adjacente inferior e o início do primeiro quartil; superior: intervalo entre o final do terceiro quartil e o ponto adjacente superior). A mediana dos valores é representada pela linha que corta a caixa, informando a simetria da distribuição. Quando esta linha está no meio, significa que a distribuição é simétrica, quando não, significa uma assimetria, com os valores distribuídos com maior representatividade no primeiro ou no terceiro quartil. O asterisco representa pontos discrepantes (outliers: valores atípicos), ou seja, valores que devem ser averiguados por serem muito diferentes da maior parte dos valores encontrados.

Uma análise comparativa dos sistemas deste estudo, com todos os indicadores é realizada com a montagem de um gráfico radar. Como os indicadores possuem dimensões e escalas diferentes, segundo Ulgiati et al. (2011) faz-se necessária a normalização dos resultados. Várias técnicas para realizar esta função foram discutidas pelos autores citados, sendo que neste estudo, a normalização com

base no impacto total gerado é usada e descrita a seguir: o valor de cada indicador é dividido pela soma dos mesmos indicadores obtidos por cada sistema produtivo. Em seguida, os indicadores normalizados são apresentados em um gráfico radar para facilitar a interpretação. Como todos os indicadores (social, econômico e ambiental) são considerados com a mesma importância para o conceito de sustentabilidade, ou seja, pesos não foram considerados neste trabalho, diferenciando os indicadores de sustentabilidade considerados. A maior área apresentada no gráfico indica o sistema com melhor desempenho geral.

Uma observação para os indicadores que normalmente são considerados melhores, quanto menor seu valor (MJ/kg_{ECM} , CO_{2eq}/kg_{ECM}). Antes da normalização estes indicadores foram invertidos (exemplo: kg_{ECM}/MJ , kg_{ECM}/CO_{2eq}), para que na representação gráfica tenha-se a compreensão de que a maior área represente o melhor desempenho geral.

A divisão dos impactos atribuídos aos produtos de um sistema é chamada de alocação e pode ser considerada um fator importante nos estudos de impactos ambientais de sistemas agrícolas. Alguns autores como Cederberg e Mattsson (2000) e Roer et al. (2013), que analisam sistemas de produção de leite, dividiram os fluxos de saída dos sistemas entre a produção de leite e carne, considerando a venda destes produtos. Outros, como Nutter et al. (2013), consideraram a divisão por massa, ou ainda econômica e por massa como O'Brien et al. (2012). Para os sistemas G1, G4 e G5, a venda de bezerros machos e vacas velhas não é representativa economicamente, mas para G2 e principalmente para G3 sim, porém as informações sobre este item são superficiais e pareceram inconsistentes, então para este estudo resolveu-se não considerar a alocação. Talvez isso possa ser considerado como uma limitação deste trabalho para as metodologias empregadas.

4.11. Elaboração do Cenário Alternativo

O Sul de Minas Gerais é uma região tradicional produtora de leite. Suas características são semelhantes a de todo o Brasil, com uma maioria de pequenos produtores seguidos por médios e uma minoria de grandes produtores. Os extratos de produtores de cada sistema estudado foram baseados em dados do último censo agropecuário (IBGE 2006) e nos estudos da Milkpoint (2013), conciliando-os com dados de produção de cada cidade da região identificados em relatórios do IBGE

(2014). Assim, estimou-se uma divisão dos grupos de produção para o cenário atual, com a seguinte configuração sobre a área destinada à produção de leite na região Sul de Minas Gerais: G1 (1%), G2 (17%), G3 (80%), G4 (1%) e G5 (1%).

Com o objetivo de obter um cenário sustentável para a produção de leite regional, para o cenário alternativo, foi considerado o agrupamento ao qual, o EIR resultante ficasse igual ou mais próximo ao da região (estimado como sendo 0,5 de acordo com Oliveira e Agostinho (2015)). Esta abordagem está de acordo com a hipótese de Odum (1996), em que o EIR regional é um fator de atração dos sistemas produtivos nela contidos. Adicionalmente, nenhum sistema produtivo deve ter representatividade menor que 1%; este critério foi aqui adotado para que nenhum sistema produtivo seja excluído das atividades (considerou-se que uma porcentagem menor que 1% é uma representatividade muito pequena, em vias de extinção).

Dados do IBGE apontam que a área de pastagens degradadas ou em boas condições nas cidades existentes na região Sul de Minas Gerais analisadas neste estudo é de aproximadamente 1.200.000 ha e a produção anual de leite está próxima a 1,03 bilhões de litros. Após conversas pessoais com técnicos da EMATER-MG e IMA, foi indicado que em algumas destas cidades, a produção de leite é elevada, enquanto em outras a de carne se sobressai, podendo considerar uma porcentagem maior para essa última. Assim estimou-se que 45% da área total de pastagem da região Sul de Minas Gerais destina-se à pecuária leiteira, ou seja, 540.000 ha. Este dado foi validado por técnicos da EMATER-MG e do IMA, por meio de contato pessoal, corroborado também com o cálculo da produção de leite para a região que, baseado em dados deste estudo ficaram próximos a 1,1 bilhões de litros.

O cálculo de quais combinações ou distribuições dos sistemas de produção de leite da região Sul de Minas Gerais, resultam em um EIR próximo ao da região ($EIR_{regional} = 0,5$ Oliveira e Agostinho 2015), foi realizado da seguinte maneira:

- (a) Os fluxos de emergia F e I (em sej/ha) de cada sistema são multiplicadas pela área (em ha) total ocupada pelo mesmo sistema na região. Soma-se então os resultados para obter fluxos de emergia F e um I (sej/ano) representativos da produção de leite regional
- (b) Em seguida o EIR regional da produção de leite pode ser calculado.

$$EIR_{leite\ regional} = F_{leite\ regional} / I_{leite\ regional}$$

Este procedimento é realizado para todas as combinações possíveis de distribuição (em % de áreas) dos sistemas produtivos de leite da região. Uma base de dados em MySQL foi utilizada para realizar as simulações das distribuições e seus respectivos valores de $EIR_{leite\ regional}$, pois uma planilha eletrônica tradicional dificilmente conseguiria suportar o grande número de cálculos, considerando a quantidade de entradas disponíveis. Todos os cálculos foram realizados utilizando comandos Structured Query Language (SQL). A Figura 11 apresenta o algoritmo realizado no banco de dados para obter os $EIR_{leite\ regional}$ possíveis.

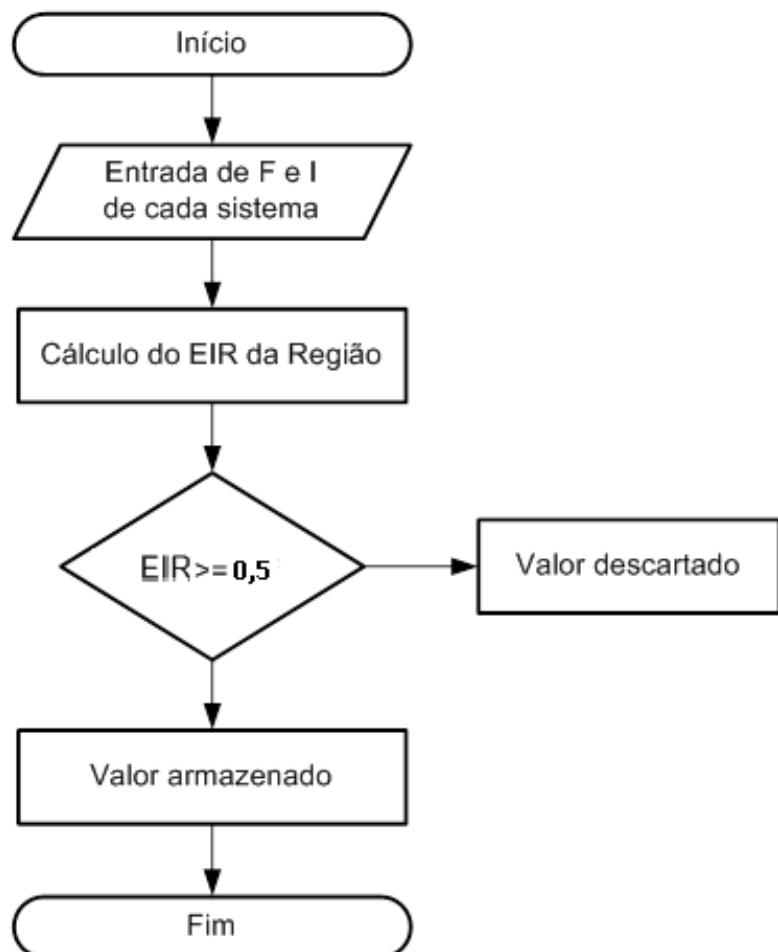


Figura 11. Fluxograma dos passos adotados para os cálculos e seleção dos EIR.

Os resultados procurados são os valores mais próximos ao EIR da região, 0,5, assim valores iguais ou maiores que 0,5 foram armazenados para serem analisados.

A execução de todas as etapas tem por finalidade atingir o objetivo proposto, pois foi planejada uma sequência lógica, com o intuito de inicialmente reconhecer a pecuária de leite regional, avalia-la nos aspectos energético-ambiental, social e

econômico e propor uma alternativa de desenvolvimento sustentável para a produção de leite regional.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Caracterização dos sistemas de produção de leite existentes na região Sul de Minas Gerais

A Figura 12 apresenta o Dendrograma resultante da análise de cluster dos sistemas de produção de leite do Sul de Minas Gerais. Logo a seguir está a Tabela 12, apresentando a distribuição dos sistemas de produção de leite, de acordo com o Dendrograma, assim como a produtividade média de cada grupo e o sistema produtivo selecionado de cada grupo.

O número de grupos foi estabelecido pelos autores que utilizaram os seus conhecimentos sobre os diferentes sistemas existentes na região como um critério. A análise de cluster resultou em 5 diferentes sistemas de produção, sendo um extensivo, dois semi-intensivos e dois intensivos. Os dados utilizados para esta análise estão no Apêndice B.

Os sistemas foram numerados de 1 a 92, sendo que os primeiros 47 enquadram-se no extensivo; de 48 a 87 no semi-intensivo; de 88 a 92 no intensivo. Após a montagem dos grupos, em vez de se calcular os valores médios para cada grupo obtido e assim obter propriedades de produção de leite fictícias, foi escolhido um representante de cada um, utilizando como critério, o indicador $L_{leite}/cabeça$ (dia); a propriedade que possuísse a produtividade mais próxima da produtividade média do grupo foi selecionada como a representante deste. Tal abordagem foi considerada de modo a evitar o estabelecimento de um sistema "hipotético".

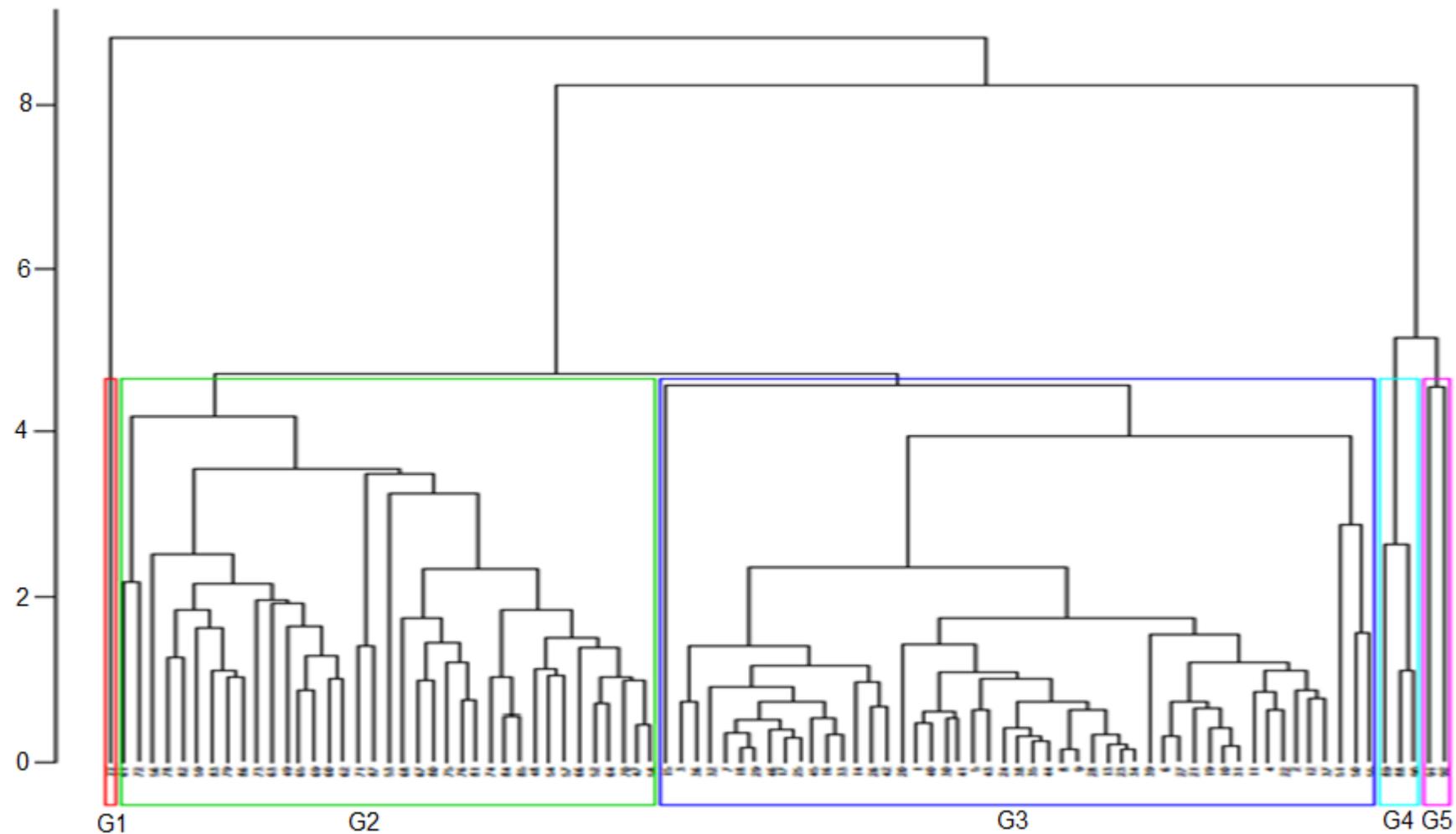


Figura 12. Dendrograma da análise de cluster dos sistemas de produção de leite do Sul de Minas Gerais.

Ver Tabela 12 para identificar os sistemas de produção existentes em cada grupo.

Tabela 12. Resultado da análise de cluster para os sistemas de produção de leite do Sul de Minas Gerais.

Grupo	Classificação	Sistemas de produção	Produtividade média $L_{leite}/cabeça^*$ (dia)	Sistema representativo do grupo
G1	Semi-intensivo	77	21	77
G2	Semi-intensivo	47, 48, 49, 52, 53, 54, 56, 57, 58, 59, 60, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 73, 74, 75, 76, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87	12	60
G3	Extensivo	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 50, 51, 55	5,5	46
G4	Intensivo	88, 89, 90	20	88
G5	Intensivo	91, 92	32	91

* Cabeça = vaca em lactação

Os sistemas representativos de cada grupo são caracterizados a seguir:

- G1, representado pela propriedade 77: É um sistema semi-intensivo, localizado em Carmo de Minas, com 290 ha de área total, dos quais 182 ha destinam-se à produção de 4.440 L_{leite}/dia , com uma produtividade diária de 21 $L_{leite}/cabeça$, contando com 8 funcionários contratados.
- O grupo G2, representado pela propriedade 60: É um sistema semi-intensivo, localizado em Santa Rita do Sapucaí, com 26 ha de área total, dos quais 19 ha destinam-se à produção de 360 L_{leite}/dia , com uma produtividade diária de 12 $L_{leite}/cabeça$. Mão de obra de 1 familiar e 1 contratado.
- G3, representado pela propriedade 46: É um sistema extensivo, localizado em Boa Esperança, com 19 ha de área total, dos quais 17 ha destinam-se à produção de 33 L_{leite}/dia , com uma produtividade diária de 5,5 $L_{leite}/cabeça$. A mão de obra é de 1 familiar.
- G4, representado pela propriedade 88: É um sistema intensivo, localizado em Borda da Mata, com 28 ha de área total, dos quais 22 ha destinam-se à produção de 1.060 L_{leite}/dia , com uma produtividade diária de 20 $L_{leite}/cabeça$. A mão de obra é composta de 4 funcionários.

- G5, representado pela propriedade 91: É um sistema intensivo, localizado em São Lourenço, com 130 ha de área total, dos quais 99 ha destinam-se à produção de 3.500 L_{leite}/dia, com uma produtividade diária de 32 L_{leite}/cabeça. Possui 6 funcionários.

Os sistemas produtivos aqui identificados apresentam variados níveis tecnológicos. Nota-se que o aumento da intensificação, proporciona uma elevação na produtividade média dos animais. Assim, G3, sistema com menor utilização de tecnologias é o de menor produtividade diária de 5,5 L_{leite}/cabeça e G5, sistema mais tecnificado dentre todos possui a maior produtividade diária, 32 L_{leite}/cabeça. Silva et al. (2011) e Godinho et al. (2012) também identificaram esta relação, sendo que os primeiros autores detectaram que produtores mais especializados, com maiores volumes de produção apresentam os maiores níveis de eficiência técnica, menores custos unitários e melhores taxas de lucratividade. Campos et al. (2014) alertam que muitos sistemas, apesar de altamente tecnificados, podem ser ineficientes ocasionada por má gestão.

Outro item a ser observado é o número de pessoas envolvidas diretamente em cada sistema. Com o aumento da intensificação e produção, também há um acréscimo deste número. G1, G5 e G4 possuem a maior quantidade de mão de obra empregada, enquanto G3 tem o proprietário praticamente como único responsável pelas tarefas da produção.

5.2. Avaliação comparativa da sustentabilidade dos sistemas de produção de leite

5.2.1. Síntese em Emergia dos sistemas de produção de leite

Os sistemas de produção de leite da região Sul do Estado de Minas Gerais nos seus diversos níveis de intensificação possuem semelhanças e assim, um diagrama dos fluxos de energia dos 5 grupos analisados neste estudo é representado na Figura 13. Basicamente as diferenças estão nas entradas de alguns insumos e na quantidade utilizada de outros. Em negrito estão os fluxos de entrada que diferenciam os sistemas semi e intensivos do extensivo. A utilização de sêmen, ração, pastagem rotacionada, animais com genética para produção de leite, ordenha automatizada, informação e gerenciamento contábil, são fluxos que o produtor

extensivo não possui em seu sistema e que auxiliam no aumento de produtividade dos sistemas semi-intensivos e intensivos.

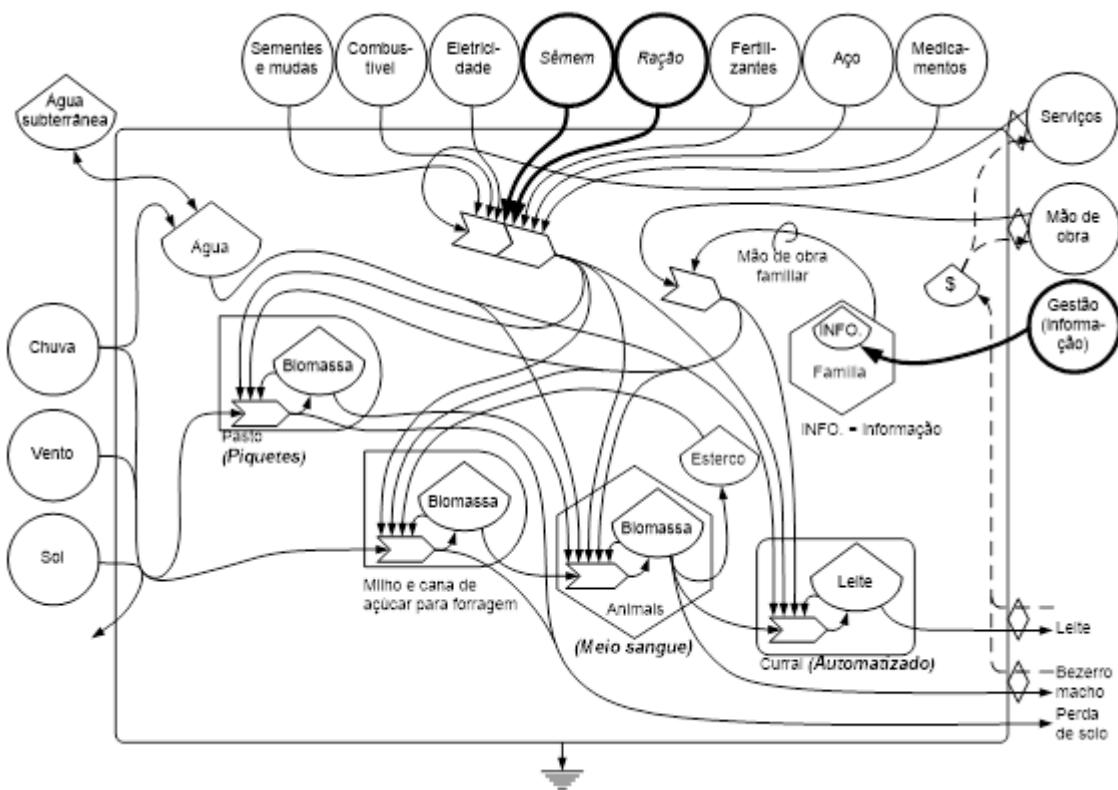


Figura 13. Diagrama de fluxos de energia representativo dos sistemas produtores de leite na região sul de Minas Gerais.

Informações destacadas referem-se somente aos sistemas mais intensificados.

Observa-se na Figura 13 que um sistema de produção de leite pode ser subdividido em subsistemas: pastagens (exceto no intensivo); plantação de forrageiras; animais; curral. Estes subsistemas são inter-relacionados por meio de fluxos de energia e matéria. As áreas de pasto e plantação de milho e cana de açúcar fornecem alimentos aos animais que produzem fertilizantes (esterco) para essas áreas. No curral e sala de ordenha é o ambiente onde os animais recebem alimentação no cocho e ocorre a retirada do leite.

As Tabelas de 13 a 17 apresentam os fluxos anuais de emergia calculados de cada sistema analisado. Estas tabelas representam uma média de cada fluxo de emergia, uma vez que os cálculos foram realizados através da análise de Monte Carlo, considerando diferentes valores de UEVs (Tabela 5) e porcentagens de renovabilidades de cada entrada do sistema (Apêndice A). Os memoriais de cálculos estão Apêndice C.

Tabela 13. Fluxos de entrada e energia do sistema G1 (semi-intensivo)

Nota	Item	unid	Fluxo de entrada (unid/ha)	Emergia (sej/ha)	Emergia (%)
R- Renováveis					11,5
1	Sol	J	4,67E13	4,67E+13	0,2
2	Chuva	J	8,00E10	2,48E+15	11,0
3	Vento	J	9,20E09	2,25E+13	0,1
4	Água (Subterrânea)	g	5,32E07	3,75E+13	0,2
N- Não renováveis					2,7
5	Perda de solo	J	4,58E+09	5,68E+14	2,5
6	Água (Subterrânea)	g	5,32E+07	3,79E+13	0,2
F- Materiais					51,9
7	Dísel	J	3,71E+09	6,68E+14	3,0
8	Gasolina	J	6,89E+07	1,29E+13	0,1
9	Aço	g	1,52E+04	8,06E+13	0,4
10	Inox	g	6,67E+02	5,60E+12	0,0
11	Calcário	g	4,51E+05	7,57E+14	3,4
12	Nitrogênio	g	9,45E+03	2,36E+14	1,1
13	Fósforo	g	3,31E+04	2,16E+14	0,9
14	Potássio	g	1,89E+04	3,50E+13	0,2
15	Uréia	g	1,37E+05	9,08E+14	4,1
16	Ração				
	Milho _(ração)	g	1,00E+06	6,40E+15	28,8
	Farelo de soja _(ração)	g	8,21E+05	1,63E+15	7,3
17	Sementes	g	3,12E+04	9,69E+13	0,4
18	Mudas	g	0,00E+00	0,00E+00	0,0
19	Eletricidade	J	1,02E+09	1,55E+14	0,7
20	Concreto	g	1,16E+05	2,79E+14	1,3
Mão de obra					5,5
21	Mão de obra	J	1,32E+08	1,23E+15	5,5
Serviços					28,4
22	Serviços	US\$	1,68E03	6,32E+15	28,4

* Unid = unidade; sej/ha: quantidade de energia solar demandada em cada hectare do sistema

Tabela 14. Fluxos de entrada e emergia do sistema G2 (semi-intensivo)

Nota	Item	unid	Fluxo de entrada (unid/ha)	Emergia (sej/ha)	Emergia (%)
	Renováveis				13,6
1	Sol	J	4,67E+13	4,67E+13	0,2
2	Chuva	J	8,00E+10	2,48E+15	13,1
3	Vento	J	9,20E+09	2,25E+13	0,1
4	Água (Subterrânea)	g	4,19E+07	2,96E+13	0,2
	Não renováveis				2,79
5	Perda de solo	J	4,02E+09	4,98E+14	2,63
6	Água (Subterrânea)	g	4,19E+07	2,97E+13	0,16
	Materiais				42,81
7	Díiesel	J	3,75E+09	6,74E+14	3,6
8	Gasolina	J	2,00E+02	3,75E+07	0,0
9	Aço	g	1,20E+04	6,35E+13	0,3
10	Inox	g	1,14E+03	9,63E+12	0,0
11	Calcário	g	1,16E+06	1,94E+15	10,3
12	Nitrogênio	g	1,22E+04	3,12E+14	1,7
13	Fósforo	g	4,27E+04	2,77E+14	1,5
14	Potássio	g	2,44E+04	4,53E+13	0,2
15	Uréia	g	1,47E+05	9,77E+14	5,2
16	Ração				
	Milho _(ração)	g	3,18E+05	2,41E+15	12,7
	Farelo de soja _(ração)	g	2,61E+05	5,17E+14	2,7
17	Sementes	g	2,11E+03	6,53E+12	0,0
18	Mudas	g	1,57E+05	2,22E+14	1,2
19	Eletricidade	J	1,78E+09	2,71E+14	1,4
20	Concreto	g	1,57E+05	3,77E+14	2,0
	Mão de obra				19,7
21	Mão de obra	J	4,02E+08	3,74E+15	19,7
	Serviços				21,1
22	Serviços	US\$	1,06E+03	4,00E+15	21,1

* Unid = unidade; seja/ha: quantidade de energia solar demandada em cada hectare do sistema

Tabela 15. Fluxos de entrada e energia do sistema G3 (extensivo)

Nota	Item	unid	Fluxo de entrada (unid/ha)	Emergia (sej/ha)	Emergia (%)
	Renováveis				29,2
1	Sol	J	4,67E+13	4,67E+13	0,5
2	Chuva	J	8,00E+10	2,48E+15	28,4
3	Vento	J	9,20E+09	2,25E+13	0,3
4	Água _(Subterrânea)	g	4,25E+06	3,00E+12	0,0
	Não renováveis				21,7
5	Perda de solo	J	1,40E+10	1,90E+15	21,7
6	Água _(Subterrânea)	g	4,25E+06	3,02E+12	0,0
	Materiais				13,9
7	Díesel	J	1,23E+09	2,24E+14	2,6
8	Gasolina	J	0,00E+00	0,00E+00	0,0
9	Aço	g	1,96E+03	1,04E+13	0,1
10	Inox	g	0,00E+00	0,00E+00	0,0
11	Calcário	g	5,76E+04	9,64E+13	1,1
12	Nitrogênio	g	4,15E+03	1,04E+14	1,2
13	Fósforo	g	1,45E+04	9,47E+13	1,1
14	Potássio	g	8,30E+03	1,54E+13	0,2
15	Uréia	g	3,46E+04	2,30E+14	2,6
16	Ração				
	Milho _(ração)	g	0,00E+00	0,00E+00	0,0
	Farelo de soja _(ração)	g	0,00E+00	0,00E+00	0,0
17	Sementes	g	6,34E+03	1,97E+13	0,2
18	Mudas	g	0,00E+00	0,00E+00	0,0
19	Eletricidade	J	4,77E+08	7,28E+13	0,8
20	Concreto	g	1,36E+05	3,26E+14	3,7
	Mão de obra				23,8
21	Mão de obra	J	2,23E+08	2,08E+15	23,8
	Serviços				11,4
22	Serviços	US\$	2,64E+02	9,97E+14	11,4

* Unid = unidade; seja/ha: quantidade de energia solar demandada em cada hectare do sistema

Tabela 16. Fluxos de entrada e energia do sistema G4 (intensivo)

Nota	Item	unid	Fluxo de entrada (unid/ha)	Energia (sej/ha)	Energia (%)
	Renováveis				2,7
1	Sol	J	4,67E+13	4,67E+13	0,1
2	Chuva	J	8,00E+10	2,48E+15	2,5
3	Vento	J	9,20E+09	2,25E+13	0,0
4	Água _(Subterrânea)	g	1,05E+08	7,46E+13	0,1
	Não renováveis				1,0
5	Perda de solo	J	3,22E+09	8,67E+14	0,9
6	Água _(Subterrânea)	g	1,05E+08	7,35E+13	0,1
	Materiais				62,5
7	Díiesel	J	2,25E+10	3,78E+15	3,9
8	Gasolina	J	0,00E+00	0,00E+00	0,0
9	Aço	g	4,42E+04	2,36E+14	0,2
10	Inox	g	2,44E+03	2,05E+13	0,0
11	Calcário	g	1,36E+06	2,28E+15	2,3
12	Nitrogênio	g	1,99E+04	5,01E+14	0,5
13	Fósforo	g	6,97E+04	4,53E+14	0,5
14	Potássio	g	3,98E+04	7,30E+13	0,1
15	Uréia	g	1,81E+05	1,20E+15	1,2
16	Ração				
	Milho _(ração)	g	5,48E+06	4,25E+16	43,4
	Farelo de soja _(ração)	g	4,48E+06	8,88E+15	9,1
17	Sementes	g	1,99E+04	6,18E+13	0,1
18	Mudas	g	0,00E+00	0,00E+00	0,0
19	Eletricidade	J	3,94E+09	6,27E+14	0,6
20	Concreto	g	2,72E+05	6,59E+14	0,7
	Mão de obra				5,2
21	Mão de obra	J	5,81E+08	5,06E+15	5,2
	Serviços				28,6
22	Serviços	US\$	7,43E+03	2,80E+16	28,6

* Unid = unidade; seja/ha: quantidade de energia solar demandada em cada hectare do sistema

Tabela 17. Fluxos de entrada e emergia do sistema G5 (intensivo)

Nota	Item	unid	Fluxo de entrada (unid/ha)	Emergia (sej/ha)	Emergia (%)
	Renováveis				3,7
1	Sol	J	4,67E+13	4,67E+13	0,1
2	Chuva	J	8,00E+10	2,48E+15	3,5
3	Vento	J	9,20E+09	2,25E+13	0,0
4	Água _(Subterrânea)	g	7,73E+07	5,49E+13	0,1
	Não renováveis				2,2
5	Perda de solo	J	3,49E+09	7,44E+14	1,1
6	Água _(Subterrânea)	g	7,73E+07	5,49E+13	0,1
	Materiais				47,0
7	Díesel	J	8,96E+09	1,61E+15	2,3
8	Gasolina	J	3,16E+08	5,92E+13	0,1
9	Aço	g	2,83E+04	1,50E+14	0,2
10	Inox	g	8,39E+02	7,02E+12	0,0
11	Calcário	g	7,05E+05	1,19E+15	1,6
12	Nitrogênio	g	1,61E+04	4,11E+14	0,6
13	Fósforo	g	5,64E+04	3,66E+14	0,5
14	Potássio	g	3,22E+04	5,98E+13	0,1
15	Uréia	g	2,01E+05	1,35E+15	1,8
16	Ração				
	Milho _(ração)	g	2,89E+06	2,17E+16	31,8
	Farelo de soja _(ração)	g	2,36E+06	4,69E+15	6,8
17	Sementes	g	3,12E+04	9,69E+13	0,1
18	Mudas	g	0,00E+00	0,00E+00	0,0
19	Eletricidade	J	1,76E+09	2,70E+14	0,4
20	Concreto	g	1,94E+05	4,65E+14	0,7
	Mão de obra				2,5
21	Mão de obra	J	1,81E+08	1,69E+15	2,5
	Serviços				44,6
22	Serviços	US\$	4,06E+03	3,05E+16	44,6

Unid = unidade; seja/ha: quantidade de energia solar demandada em cada hectare do sistema

Nas tabelas 13 a 17 pode-se observar que a chuva, entre os renováveis é o fluxo de maior representatividade em todos os sistemas, onde nos sistemas a pasto, ela possui importância ainda maior, representando em G1, G2 e G3 de 11 a 28% dos fluxos emergéticos e nos sistemas de confinamento G4 e G5, não chegam a

5%. Rótolo et al. (2010) obtiveram 29% para chuva enquanto Mendes et al. (2013) 14% e Vigne et al. (2013) apresentam valores variando entre 6,3 a 24%.

O sistema produtivo G3 tem na perda de solo um fluxo não renovável com representatividade expressiva, 21,7%, enquanto nos demais sistemas este fluxo está abaixo de 3%. Esse valor da perda de solo para o sistema extensivo deve-se principalmente à sua pastagem degradada. Jaklič et al. (2014) calculou de 9,1 a 24,7%, Rótolo et al. (2010) 5,41%, Vigne et al. (2013) variou de 0,4 a 2,9% e Mendes et al. (2013) 0,35%.

A ração é o item de maior fluxo emergético nos sistemas que a utilizam, chegando a 53% em G4 e 15% em G2. A ração nos sistemas estudados por Mendes et al (2013) atingiu 37,7%, Jaklič et al. (2014) calcularam valores de 0 a 60% e Vigne et al (2013) de 15,8 a 50,5%. A grande variação dos resultados calculados pelos dois últimos autores, está no fato de seus estudos analisarem sistemas produtivos com níveis de intensificação variados, tendo sistemas que não utilizam ou em reduzida quantidade a ração e outros que possuem grande demanda deste insumo.

A mão de obra obteve maior representação entre os menores produtores, G2 e G3. Enquanto os serviços atingiram maior representatividade para os mais intensivos G5 e G4. Os fluxos da mão de obra e serviços nos sistemas avaliados variaram de 35 a 47%. Jaklič et al. (2014) lembram que o alto percentual de mão de obra e serviços mostra que a produção de leite se baseia principalmente em contribuições indiretas da sociedade. Estes autores detectaram uma variação de 71 a 86% para esses fluxos, Mendes et al. (2013) calcularam 6,8%, Vigne et al. (2013) variou de 3,1 a 6,6% e Rótolo et al. (2010) 34%.

A Tabela 18 apresenta os fluxos R, N e F de cada sistema do Sul de Minas Gerais. Uma vez determinados os fluxos emergéticos de cada sistema produtor, seus indicadores de energia puderam ser calculados.

Tabela 18. Fluxos anuais de emergia em E+15 seJ/ha calculados para cada sistema deste estudo.

seJ/ha*	G1	G2	G3	G4	G5
R	2,52	2,58	2,55	2,56	2,60
N	0,60	0,53	1,90	0,94	0,79
Mr	1,88	0,75	0,05	10,02	5,24
Mn	11,0	7,39	1,14	51,4	27,8
Sr	0,42	1,61	0,98	1,89	0,55
Sn	7,16	6,14	2,08	31,1	16,4
F	20,5	15,9	4,26	94,6	50,1
Y	23,6	19,0	8,71	98,0	53,5
I	3,12	3,11	4,45	3,50	3,40

R: Renováveis; N: Não renováveis; Mr: Materiais renováveis; Mn: Materiais não renováveis; Sr: Serviços renováveis; Sn: Serviços não renováveis; F: Fluxos da economia; Y: Fluxo total; I: Fluxos da natureza. O valor de R contabilizou apenas os fluxos da chuva e parte da água subterrânea renovável

*Os fluxos representados nesta tabela são para o período de um ano. G1 e G2 (semi-intensivos); G3 (extensivo); G4 e G5 (intensivos).

Ao observar a Tabela 18, nota-se que os sistemas mais intensificados consomem mais emergia (Y) por área de produção. Assim G4, sistema intensivo com confinamento consome 11,25 vezes mais emergia por unidade de área do que G3, sistema extensivo. É importante notar também que as maiores variações de fluxos são as da economia, que podem diferenciar em 22 vezes do menor consumidor G3 para o maior G4.

Os indicadores em emergia dos cinco grupos de produção de leite deste estudo, além dos indicadores de outros estudos são comparados a seguir. As siglas aqui utilizadas são as mesmas empregadas nos estudos originais e têm os seguintes significados: G1 a G5, fazendas do Sul de Minas Gerais avaliadas neste estudo. SF é uma fazenda localizada em Santa Fé, importante centro de pecuária de leite da Argentina, com bom nível de intensificação, estudada por Rótolo et al. (2010). F1, F4 e F8 são sistemas de leite da Eslovênia, sendo respectivamente, de subsistência, orgânica intensiva e convencional altamente intensificada, avaliadas por Jaklič et al. (2014); SM, Sul de Mali, sistema parecido ao extensivo do Brasil; RI, em Reunion Island, de alto nível de consumo energético, PC, Poitou-Charentes e BR, Bretagne, ambos com um nível intermediário de consumo energético, todas avaliadas por Vigne et al. (2013). AA, fazenda no Alto do Araúna, no estado de São Paulo, Brasil, analisada por Mendes et al. (2013); SE e BV, respectivamente fazenda

Santa Edwiges com sistema semi-intensivo tradicional de produção e Boa Vida que utiliza o sistema silvipastoril, ambas na região dos campos das vertentes em Minas Gerais, estudadas por Teixeira (2011).

A Figura 14 apresenta os indicadores de renovabilidade (%R) dos sistemas de produção de leite deste e dos demais estudos. Verifica-se que no Sul de Minas Gerais, o sistema G3 possui a melhor relação entre o uso dos recursos renováveis e o total de energia utilizada pelo sistema. Nota-se que na medida em que vai se intensificando os sistemas, a renovabilidade vai diminuindo, assim, segue-se os semi-intensivos G2, G1, finalizando com os intensivos G5 e G4. A relação entre os recursos renováveis e o total de energia de G3 chega a ser 2,7 vezes maior quando comparado a G4, apresentando-se assim como o sistema com menor dependência de recursos externos dos 5 grupos do Sul de Minas Gerais. Os demais sistemas mostraram um alto grau de dependência de recursos não renováveis, que chega a 85 % em G4 e G5.

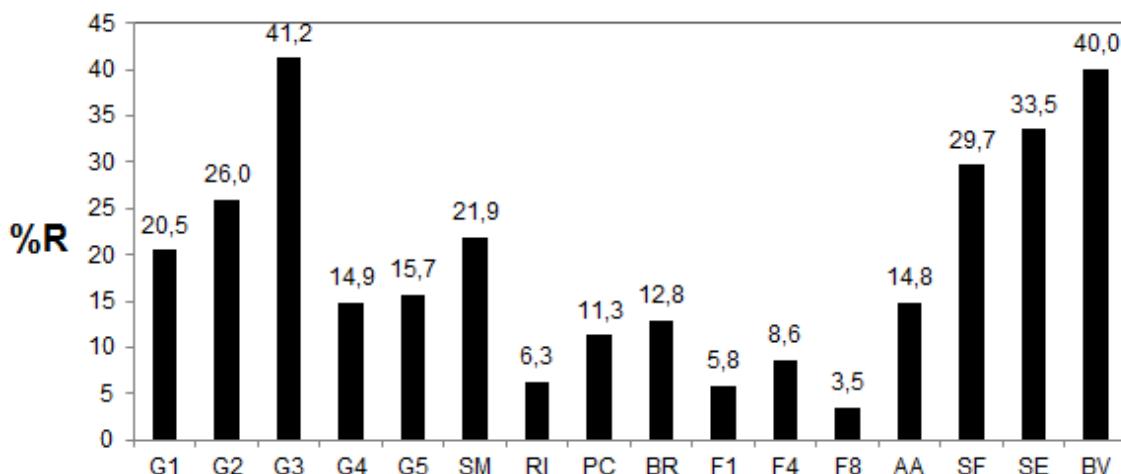


Figura 14. Indicadores de renovabilidade (%R) de sistemas de produção de leite. G1 e G2 (semi-intensivos); G3 (extensivo); G4 e G5 (intensivos); SM (Sul de Mali); RI (Reunion Island); PC (Poitou -Charentes); BR (Bretagne); F1 (Subsistência -Eslovênia); F4 (Orgânica - Eslovênia); F8 (Intensiva -Eslovênia); AA (Alto do Araúna); SF (Santa Fé); SE (Santa Edwiges); BV (Boa Vida);

Em relação aos demais estudos, alguns chamam a atenção por possuírem um alto grau de renovabilidade, comparáveis à G3, como BV, um sistema silvipastoril e SE, sistema semi-intensivo, ambos nos Campos das Vertentes, região vizinha ao Sul de Minas. F1, sistema extensivo da Eslovênia, junto aos de alto nível de intensificação RI e F8 apresentam os menores índices de renovabilidade entre todos, indicando uma dependência de recursos não renováveis de 93 a 96 %.

O indicador de Razão de Rendimento em Emergia (EYR) é uma medida do ganho em energia primária disponibilizada para ser utilizada pela sociedade. Na Figura 15 são apresentados os valores deste indicador para os sistemas deste e dos demais estudos. O destaque do Sul de Minas é G3, seguido pelos semi-intensivos G1 e G2, finalizando com os intensivos G5 e G4. Portanto G3 é o sistema que mais incorpora recursos da natureza para cada recurso econômico utilizado em sua produção, chegando a ser o dobro do sistema intensivo G4.

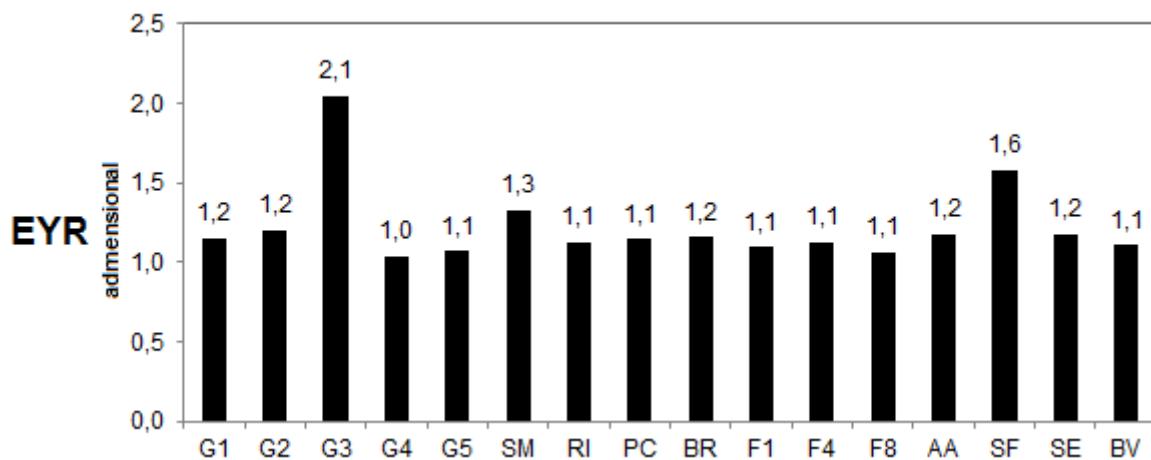


Figura 15. Razão de rendimento em emergia de sistemas de produção de leite G1 e G2 (semi-intensivos); G3 (extensivo); G4 e G5 (intensivos); SM (Sul de Mali); RI (Reunion Island); PC (Poitou -Charentes); BR (Bretagne); F1 (Subsistência -Eslovênia); F4 (Orgânica - Eslovênia); F8 (Intensiva -Eslovênia); AA (Alto do Araúna); SF(Santa Fé); SE (Santa Edwiges); BV (Boa Vida);

Para este indicador, a maior parte dos sistemas encontram-se no intervalo entre 1 e 1,3, valores comuns para produções agrícolas, porém, de acordo com Brown e Ulgiati (2002) o valor nesse intervalo representa que esses sistemas usam pouca emergia da natureza para retornar seu produto para a região. Com a redução da disponibilidade de petróleo, é importante que os sistemas com EYR baixos, passem a utilizar em suas produções, mais recursos renováveis.

A Razão de Carga Ambiental (ELR) é uma medida do impacto ambiental resultante do sistema produtivo. Observando-se a Figura 16, nota-se que G3 é o sistema do Sul de Minas Gerais que menos estresse provoca ao meio ambiente, com um ELR igual a 1,4, considerada baixa segundo Brown e Ulgiati (2002), enquanto os outros sistemas da região enquadram-se em moderada carga ambiental. Nota-se que o ELR dos sistemas do Sul de Minas Gerais apresenta uma tendência à elevação, na medida em que ocorre o aumento de intensificação dos sistemas produtivos.

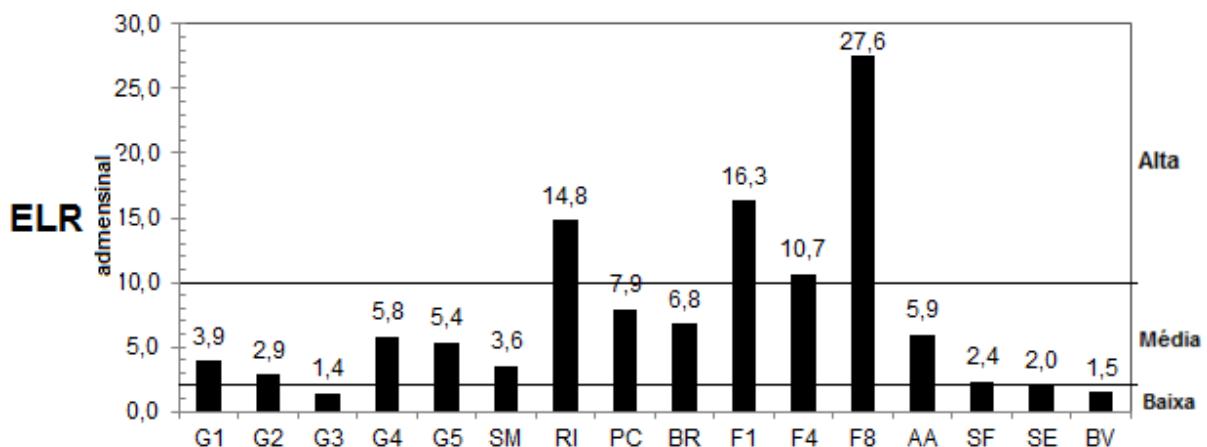


Figura 16. Razão de carga ambiental de sistemas de produção de leite.

G1 e G2 (Semi-intensivos); G3 (Extensivo); G4 e G5 (Intensivos); SM (Sul de Mali); RI (Reunion Island); PC (Poitou -Charentes); BR (Bretagne); F1 (Subsistência -Eslovênia); F4 (Orgânica - Eslovênia); F8 (Intensiva -Eslovênia); AA (Alto do Araúna); SF(Santa Fé); SE (Santa Edwiges); BV (Boa Vida);

Dos demais estudos, alguns sistemas de produção de leite enquadram-se na zona de alto impacto, RI, F8 e até mesmo o esloveno de subsistência F1 e o orgânico F4. Isto mostra uma grande desproporção no uso de não renováveis em relação aos renováveis. Ao analisar os resultados do indicador de carga ambiental dos sistemas de produção de leite em geral, conclui-se que a maior parte dos sistemas provocam médio ou alto impacto nos ecossistemas em que se encontram.

O indicador de Razão de Investimento em Emergia (EIR) é apresentado na Figura 17. De acordo com Odum (1986), quando EIR está perto da unidade, o sistema utiliza a emergia com maior eficiência. G3 possui o melhor índice entre os sistemas do Sul de Minas Gerais, 0,96 que representa que ele necessita apenas 4% menos emergia da economia para cada unidade de emergia vinda da natureza. Seguindo estão os sistemas semi-intensivos G2, G1 e os intensivos G5 e G4. Pode-se analisar também que G3 apresenta-se como o sistema mais competitivo em termos de uso de recursos entre os sistemas deste estudo, pois necessita de menos recursos externos do que os outros para sua produção, porém produz menos leite e a produtividade de seus animais é a menor.

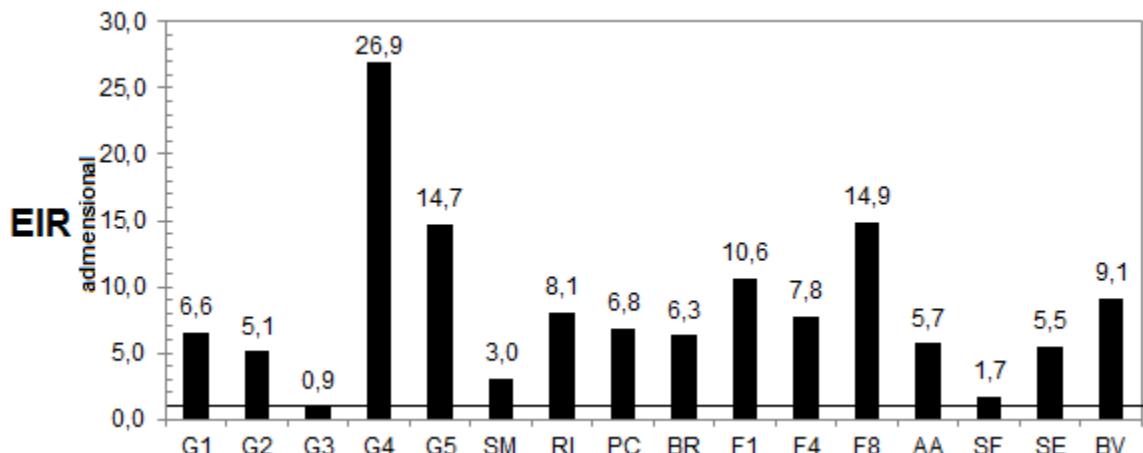


Figura 17. Indicadores de razão de investimento ambiental de sistemas de produção de leite. G1 e G2 (semi-intensivos); G3 (extensivo); G4 e G5 (intensivos); SM (Sul de Mali); RI (Reunion Island); PC (Poitou -Charentes); BR (Bretagne); F1 (Subsistência -Eslovênia); F4 (Orgânica - Eslovênia); F8 (Intensiva -Eslovênia); AA (Alto do Araúna); SF (Santa Fé); SE (Santa Edwiges); BV (Boa Vida);

Os intensivos G4 e G5 são altamente dependentes dos recursos da economia, principalmente G4 que chega a ter o EIR 27 vezes maior que G3. Igualmente ao ELR, o EIR tende a aumentar junto a intensificação dos sistemas do Sul de Minas Gerais.

Este indicador nos outros estudos, apenas SF na Argentina tem o destaque de bom desempenho. Considerando os estudos da agricultura ecológica como Francescatto et al. (2008) e Ortega et al. (2005), que encontraram valores entre 0,37 e 0,45, a maior parte dos sistemas de produção de leite necessitam melhorar o aproveitamento de seus recursos locais gratuitos, para reduzir a utilização de investimentos externos e a dependência dos fluxos de energia fóssil (da economia).

Os valores do indicador de Sustentabilidade (ESI) são apresentados na Figura 18. Com exceção de G3 os outros sistemas da região Sul de Minas Gerais, segundo Brown e Ulgiati (2004) enquadram-se no intervalo de não sustentáveis, por estarem abaixo de 1. G4 e G5 possuem o indicador de sustentabilidade muito pequeno, 0,18 e 0,20, o que mostra que estes sistemas devem com urgência empregar princípios agroecológicos, para aumentar a capacidade de trabalhar mais os recursos internos da fazenda e reduzir a dependência aos investimentos externos.

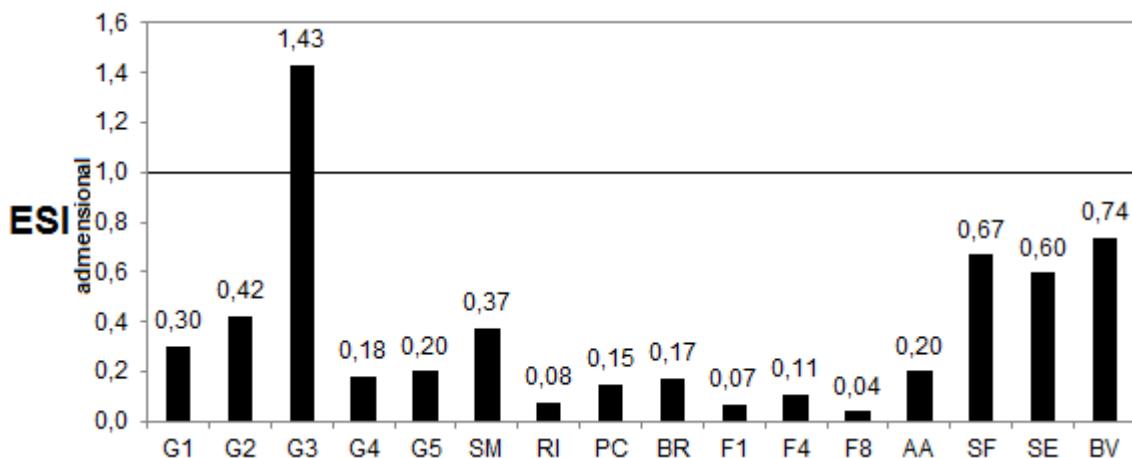


Figura 18. Indicadores de Sustentabilidade ambiental de sistemas de produção de leite. G1 e G2 (semi-intensivos); G3 (extensivo); G4 e G5 (intensivos); SM (Sul de Mali); RI (Reunion Island); PC (Poitou -Charentes); BR (Bretagne); F1 (Subsistência -Eslovênia); F4 (Orgânica - Eslovênia); F8 (Intensiva-Eslovênia); AA (Alto do Araúna); SF (Santa Fé); SE (Santa Edwiges); BV (Boa Vida);

Fora do Sul de Minas Gerais, todos os sistemas estão enquadrados em não sustentáveis, inclusive SM, sistema no Sul de Mali, parecido ao extensivo brasileiro ou F1 e F4, sistemas da Eslovênia de subsistência e orgânico respectivamente. Isto mostra que a relação entre o rendimento em emergia e a carga ambiental destes sistemas é muito pequena. Essa baixa sustentabilidade dos sistemas produtores de leite em geral, ocorre pela forte dependência de recursos externos.

A Transformidade é a emergia empregada para produzir uma unidade de energia de um determinado produto. Pode ser a representação da eficiência do sistema de produção. Assim quanto menor a transformidade, mais eficiente foi o sistema na produção de leite, pois necessitou de menor quantidade de emergia para cada litro de leite produzido. A Figura 19 apresenta as transformidades dos sistemas do Sul de Minas Gerais analisados, assim como de outros estudos que calcularam este indicador.

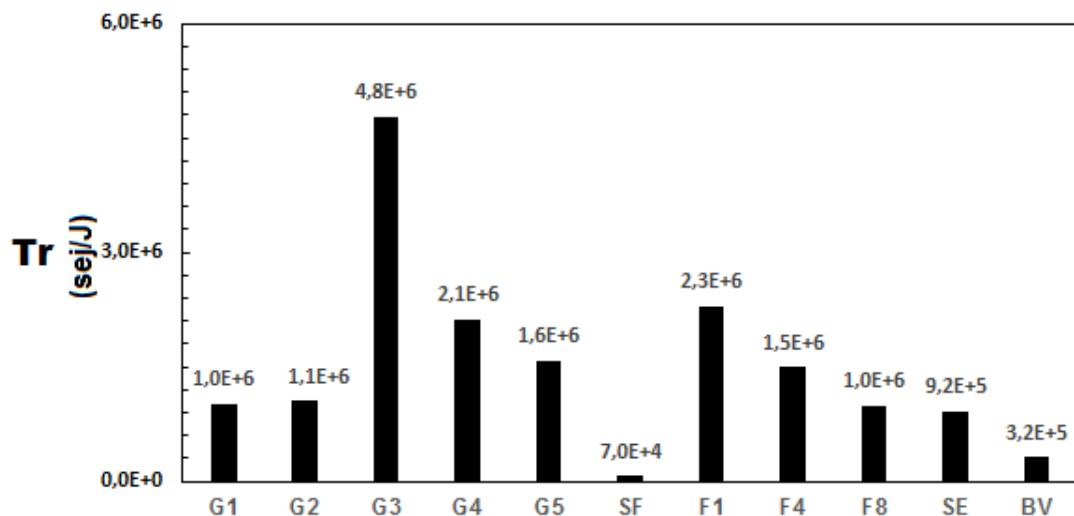


Figura 19. Valor da transformidade do leite em sistemas de produção de leite. G1 e G2 (semi-intensivos); G3 (extensivo); G4 e G5 (intensivos); SF(Santa Fé); F1 (Subsistência - Eslovênia); F4 (Orgânica -Eslovênia); F8 (Intensiva -Eslovênia); AA (Alto do Araúna);; SE (Santa Edwiges); BV (Boa Vida)

Dos sistemas da região Sul de Minas Gerais, G3 é o que necessita de mais energia para a produção de leite, isto significa que ele é o menos eficiente. G1 e G2 são os mais eficientes da região pois utilizam menor quantidade de energia na produção de cada Joule de leite de seus sistemas.

SF na Argentina apresenta-se como o mais eficiente, com a menor transformidade entre todos estudos e o sistema de subsistência esloveno F1, só é menor que G3, demonstrando que esses sistemas extensivos são pouco eficientes na utilização da energia para produzir leite.

Um indicador técnico de eficiência utilizada por pecuaristas relaciona a produção com a área. Para este indicador, G4 é o melhor, com uma produção anual de 17.507 L_{leite}/ ha, seguido de G5 com 12.904, G1 com 8.824, G2 com 6.916 e G3 com apenas 694. Nota-se que as terras do produtor familiar extensivo possuem uma produtividade baixa, consequência de pastagem degradada com reduzida lotação. Os sistemas com confinamento obtiveram os melhores valores para este indicador, pois produzem mais em pequenas áreas, enquanto o sistema a pasto tem sua produção distribuída por áreas maiores.

5.2.2. Energia incorporada dos sistemas de produção de leite

A unidade funcional utilizada nesta etapa está relacionada à massa de leite produzida, corrigida pelo teor de gordura e proteína, na unidade kg_{EMC} . Esta UF foi calculada, para comparar os resultados dos sistemas do Sul de Minas Gerais com os resultados apresentados na literatura, pois a maior parte dos estudos, utilizou como unidade o kg_{EMC} . A Tabela 19 apresenta as quantidades de leite produzidas anualmente, assim como as porcentagens de gordura e proteína do leite para cada sistema analisado. Estas duas últimas variáveis foram obtidas a partir de entrevistas aos responsáveis das fazendas, exceto para G3, cujos dados foram requisitados em uma agroindústria do IFSULDEMINAS, campus Inconfidentes-MG, por desconhecimento do proprietário destas informações.

Tabela 19. Quantidade anual de leite produzido, porcentagem de gordura e proteína presentes no leite de cada sistema avaliado neste estudo.

	G1	G2	G3	G4	G5
Quantidade (kg / ano)	1.654.180	135.342	12.406	398.507	1.315.825
% gordura	3,4	3,3	3,2	3,4	3,5
% proteína	3,1	3,0	3,1	3,1	3,2

G1 e G2 (semi-intensivos); G3 (extensivo); G4 e G5 (intensivos)

A energia incorporada em cada insumo dos sistemas de produção de leite da região Sul de Minas Gerais, na unidade kg_{ECM} , como também a porcentagem de cada um é apresentada na Tabela 20. Os cálculos encontram-se no Apêndice D.

Pode ser observado na Tabela 20 que a ureia tem grande representatividade, principalmente nos sistemas que utilizam pasto, variando de 32% a 43% da energia incorporada. O coeficiente de incorporação deste insumo é 59,6 MJeq/kg, comparável ao do diesel de 57,5 MJeq/kg, outro grande consumidor de energia nos sistemas do Sul de Minas Gerais, variando de 20,5% em G2 chegando a 35,6% em G3.

Tabela 20. Energia incorporada e porcentagens de cada insumo dos sistemas G1, G2, G3, G4 e G5.

Insumo	G1		G2		G3		G4		G5	
	MJ/kg _{ECM}	%								
Diesel	0,629	20,2	0,840	25,3	2,710	35,6	1,763	30,0	1,018	22,1
Gasolina	0,012	0,39	0,085	2,55	0,000	0,00	0,000	0,00	0,037	0,80
Aço	0,042	1,36	0,044	1,33	0,071	0,94	0,061	1,05	0,053	1,15
Inox	0,004	0,13	0,009	0,28	0,000	0,00	0,007	0,13	0,003	0,08
Calcário	0,009	0,28	0,030	0,90	0,015	0,19	0,013	0,23	0,009	0,20
Nitrogênio	0,086	2,75	0,146	4,40	0,489	6,42	0,090	1,53	0,098	2,13
Fósforo	0,114	3,68	0,195	5,88	0,652	8,57	0,120	2,04	0,131	2,84
Potássio	0,017	0,55	0,029	0,88	0,098	1,28	0,018	0,30	0,020	0,42
Uréia	1,010	32,5	1,434	43,1	3,306	43,4	0,662	11,3	0,994	21,6
milho Ração	0,791	25,4	0,332	9,98	0,000	0,00	2,144	36,5	1,525	33,1
soja Ração	0,355	11,4	0,149	4,48	0,000	0,00	0,962	16,4	0,684	14,9
Sementes	0,025	0,79	0,002	0,07	0,065	0,85	0,008	0,13	0,016	0,36
Mudas	0,000	0,00	0,002	0,05	0,000	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00
Eletricidade	0,002	0,06	0,004	0,12	0,011	0,14	0,003	0,06	0,002	0,04
Concreto	0,013	0,42	0,023	0,70	0,198	2,61	0,015	0,26	0,015	0,32
Total	3,108	100	3,325	100	7,614	100	5,867	100	4,605	100

G1 e G2 (semi-intensivos); G3 (extensivo); G4 e G5 (intensivos); MJ/kg_{ECM}: energia incorporada por quilo de leite corrigido.

A ração de base em soja e milho é um grande consumidor de energia nos sistemas que a utilizam, variando de 14,5% em G2 até 53 % em G4, fato também detectado por Olszensvski et al. (2010) em sistemas de produção de leite no Leste de Santa Catarina.

Os resultados finais mostram que o uso de energia fóssil nos sistemas do Sul de Minas Gerais variou entre 3,1 a 7,6 MJ/kg_{ECM}. Cederberg e Mattson (2000) calcularam para produção de leite na Suécia, 2,5 MJ/kg_{ECM} a 3,5 MJ/kg_{ECM}, em sistema orgânico e convencional respectivamente. Vigne et al. (2012) em fazendas de territórios franceses calcularam valores que variaram de 4,0 a 9,1 MJ/kg_{ECM} e salientam que há muita incerteza em estudos que utilizam metodologias para cálculos da energia incorporada, provocados principalmente por variedades de coeficientes encontrados na literatura e diferenças no contexto das aplicações. Essa pode ser a explicação das diferenças nos resultados destes três estudos.

Importante observar que estes valores são referentes a energia incorporada por unidade de massa de leite produzido. Isto quer dizer que, quando a produção é grande, o total de energia incorporada do sistema é distribuído por esta grande produção, o que resulta em energia incorporada maior por massa de leite produzido para sistemas de reduzida produção. Assim, G3 que produz apenas 12.000 kg_{EMC} por ano, aparece como o sistema que incorporou maior quantidade de energia por massa de leite que G1, que produz 1.600.000 kg_{EMC}.

Considerando-se a energia incorporada nos insumos dos sistemas deste estudo, em termos absolutos, ou seja, sem relacioná-la a nenhuma saída, os grandes produtores com sistemas mais intensificados são os maiores consumidores de energia. Assim, G5 é o sistema com maior energia incorporada, seguido de G1, G4, G2 e G3.

5.2.3. Potencial de Aquecimento Global dos sistemas de produção de leite

A Tabela 21 apresenta os resultados dos cálculos do inventário de emissões para o indicador Potencial de Aquecimento Global em cada sistema produtivo, nas unidades kg_{ECM} e ha, para o período de um ano. As tabelas dos cálculos das emissões por queima direta e indireta de combustíveis fósseis estão no Apêndice E e por fermentação entérica na digestão dos bovinos e manejo de dejetos estão no Apêndice F.

Tabela 21. Potencial de Aquecimento Global dos sistemas produtivos de leite deste estudo.

	G1	G2	G3	G4	G5
kgCO _{2eq} /kg _{ECM} *	0,87	1,37	2,59	1,14	0,80
kgCO _{2eq} /ha*(E+03)	7,05	8,39	1,61	18,6	9,63

* Os valores desta tabela são referentes a um ano. G1 e G2 (Semi-intensivos); G3 (Extensivo); G4 e G5 (Intensivos)

O PAG na unidade kg_{ECM} tem o sistema extensivo G3 como maior emissor, seguido por G2 e G4, finalizando com G1 e G5 com as menores emissões. Na unidade ha, G3 passa a ser o menor emissor e G4 o maior. A diferença entre os extremos na primeira unidade é de 220%, enquanto na segunda chega a 1150%. Essa expressiva variação nos resultados é consequência das grandes diferenças entre as produções de leite, que chega a ter G1 com uma produção anual 133 vezes maior que a de G3, enquanto as áreas destes dois sistemas têm uma diferença de 10 vezes maior para G1. Assim a emissão bruta, quando dividida por uma grande

quantidade de leite, apresenta resultados menores para esses grandes produtores e quando dividida pelas áreas (que não são relativamente grandes as diferenças), o resultado mostra o pequeno produtor como menor emissor.

A maior parte dos estudos de emissões para o cálculo de PAG pelo mundo, utilizaram a unidade funcional relacionada ao leite, seja ela na unidade L, ou kg_{FPMC} ou ainda em kg_{EMC} . A Figura 20 mostra um gráfico Box Plot com o resultado alguns destes estudos assim como os valores encontrados para os sistemas do Sul de Minas Gerais. Os dados utilizados neste gráfico encontram-se no Apêndice G.

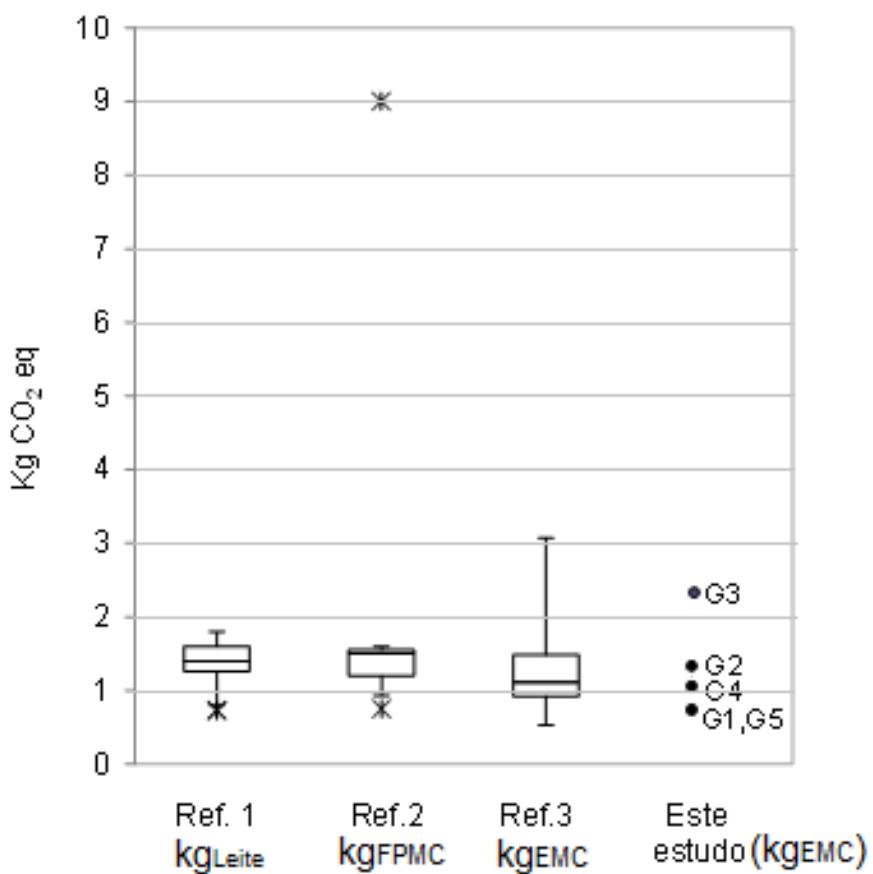


Figura 20. Emissões de CO₂eq por diversas UFs de variados estudos.

Ref 1: Olszensvski et al. (2010), Weiss e Leip (2012), Hagemann et al. (2011), Cederberg e Flysø (2004), Jaklic et al. (2014); Ref. 2: Basset-Means et al. (2009), Battini et al. (2016), Thoma et al. (2013), Opio et al. (2013); Ref 3: Kristensen et al. (2011), Casey e Holden (2005), Cederberg e Mattson (2000), Del Pablo et al. (2013), Thomassen et al. (2008), Rotz et al. (2010), Flysjö et al. (2012), Hirschfeld et al. (2008). G1 e G2 (semi-intensivos); G3 (extensivo); G4 e G5 (intensivos).

Opio et al. (2013) salienta as dificuldades em se comparar resultados de outros estudos, consequência de diferenças nas unidades funcionais, nas fronteiras, premissas e algoritmos dos cálculos, além das grandes incertezas associadas as variáveis usadas no cálculo dos fatores de emissão ou nas estimativas dos dados da atividade. No entanto, as comparações são úteis para validar os resultados.

As unidades kg_{leite} , kg_{FPMC} e kg_{EMC} não possuem grandes discrepâncias entre si, sendo de aproximadamente de 8 a 10 % a diferença entre o kg de leite e a massa corrigida pelo teor de gordura e proteína.

Os valores de emissão encontrados neste estudo estão próximos aos resultados calculados em outros estudos espalhados pelo mundo. Tanto G3, como G1 e G5, sistemas do Sul de Minas Gerais, respectivamente com maior emissão e menores emissões na unidade kg_{EMC} , encontra-se dentro dos limites calculados nas análises que utilizaram esta unidade. O sistema extensivo de Minas Gerais apresenta um valor maior, pois de acordo com Opio et al. (2013), a produção de leite em regiões que utilizam sistemas extensivos possui baixa produtividade e emitem maiores quantidades de GEE por litro de leite produzido. Assim as emissões encontradas pelos autores em sistemas africanos, chegaram a 9 $\text{kgCO}_{2\text{eq}}/\text{kg}_{\text{FPMC}}$, valor que pode ser considerado um outline, devido a discrepância em relação aos valores encontrados na literatura. Hagemann et al (2011) calcularam 3,07 $\text{kgCO}_{2\text{eq}}/\text{kg}_{\text{EMC}}$ em Bangladesh na Ásia, porém este valor está no limite superior dos valores de PAG na unidade kg_{EMC} .

Com o intuito de identificar as atividades que mais impactam na emissão de $\text{CO}_{2\text{eq}}$ nos sistemas avaliados neste estudo, uma divisão por parâmetros foi realizada e é apresentada na Figura 21.

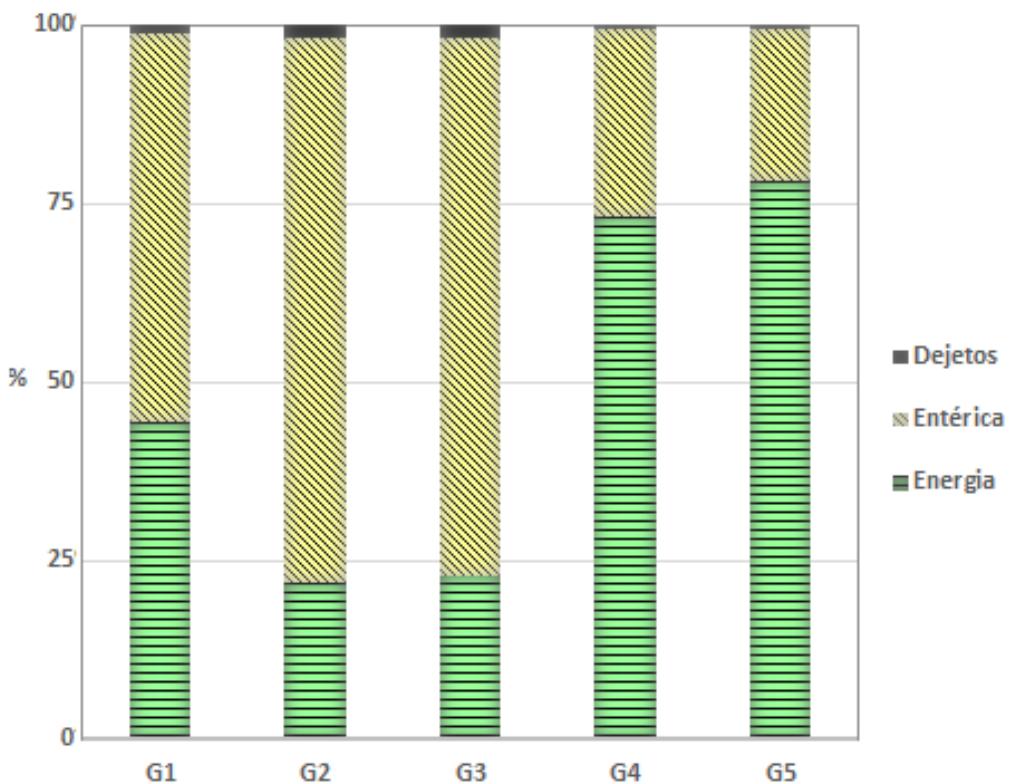


Figura 21. Analise do Potencial de Aquecimento Global em $\text{CO}_{2\text{eq}}/\text{kg}_{\text{ECM}}$ em cada sistema.
G1 e G2 (semi-intensivos); G3 (extensivo); G4 e G5 (intensivos)

Nota-se que nos sistemas que utilizam pastos G1, G2 e G3, a emissão por fermentação entérica na digestão dos bovinos representa a maior parte das emissões, 54, 76 e 75 % respectivamente. Os intensivos G4 e G5 possuem a emissão por energia como a mais representativa, 73 e 78 % respectivamente. A emissão por manejo não possui grande representativa em nenhum dos sistemas mineiros. De acordo com Opio et al. (2013), a fermentação entérica na digestão dos bovinos foi a grande emissora de GEE no setor leiteiro em diversas regiões do mundo, representando 46,5% no estudo destes autores, 41,7% na análise de Baek et al. (2014) e variou de 60 a 64% em sistemas produtivos de leite na Irlanda (O'Brien et al., 2012). Estes pesquisadores ressaltam a importância de uma alimentação mais balanceada para a redução destes gases por parte dos bovinos leiteiros.

5.2.4. Indicadores Social e econômico dos sistemas de produção de leite

A Tabela 22 apresenta os valores do indicador $h_{\text{trab}}/\text{ano}$ e $\text{R\$}_{\text{RB}}/\text{ano}$ para cada sistema estudado no Sul de Minas Gerais. Estes indicadores estão associados respectivamente às áreas social e econômica do setor.

Tabela 22. Horas de trabalho e rendimento bruto, relativos a um ano, de cada sistema.

	G1	G2	G3	G4	G5
h_{trab}/ano	21.120	5.280	2.640	10.560	15.840
R\$ _{RB} /ano	1.766.600	131.400	10.841	425.590	1.405.250

G1 e G2 (semi-intensivos); G3 (extensivo); G4 e G5 (intensivos)

Pode ser observado na Tabela 22 que à medida que aumenta a intensificação dos sistemas e a produção, ocorre um acréscimo na utilização de mão de obra junto a um crescente da escala do rendimento bruto da produção de leite. Outro fator que ocorre, porém não observado na Tabela 22 é o acréscimo de qualificação dos funcionários, pois estes, em sistemas mais intensificados, passam a conviver com tecnologias até então não encontradas em sistemas mais simples, fato também detectado por Ponchio (2006) e Souza e Buainain (2013). Mas esta tecnificação pode aumentar a dependência e reduzir a autonomia dos produtores.

De acordo com Aguiar e Ribeiro (2013) o leite só é viável economicamente quando utiliza um sistema intensificado, quando comparado a outras atividades agrícolas. Sistemas extensivos como G3 são os mais encontrados na região, consequentemente são adequados para a inclusão em projetos como Minas Leite ou Balde Cheio, porém as modificações dos sistemas produtivos só ocorrem mediante a necessidade e aceitação por parte dos produtores em mudar seus padrões de comportamento. Esses produtores familiares têm necessidade de modificarem seus sistemas para melhorarem suas produções, mas mudar seus padrões torna-se uma grande barreira para que estes projetos tenham êxito.

Em 2005 a EMBRAPA (Bonadio et al., 2005) avaliou o impacto econômico social de um projeto da mesma empresa que auxiliava o produtor familiar de leite a intensificar sua produção. Concluíram que além do acréscimo na produção, ocorreu uma melhoria significativa no bem estar das famílias envolvidas, junto ao aumento da mão de obra dos sistemas produtivos.

5.2.5. Comparação entre os sistemas produtivos do Sul de Minas Gerais

Segundo Jaklic et al. (2014), a agricultura é beneficiária dos recursos da natureza, assim é indispensável que ela possua um contínuo e eficiente funcionamento. Para estes autores, um planejamento estratégico da produção de leite, deve levar em consideração com a mesma importância o bem estar financeiro

e social do produtor (objetivo a curto prazo) e o pleno funcionamento do ecossistema (objetivo a longo prazo).

A análise de sustentabilidade considerou indicadores ambientais, econômico e social, todos com o mesmo peso (importância). A Figura 22 apresenta um gráfico radar normalizado, com alguns indicadores dos sistemas estudados aqui. A normalização foi feita de maneira que, quanto maior a área do polígono resultante, melhores resultados dos indicadores obteve o sistema. Este gráfico auxilia na visão geral dos resultados. Importante salientar que cada indicador foi calculado com métricas e focos diferentes, alinhados no gráfico na sequência (sentido horário), emergia, energia incorporada, potencial de aquecimento global, rendimento bruto e horas de trabalho por ano.

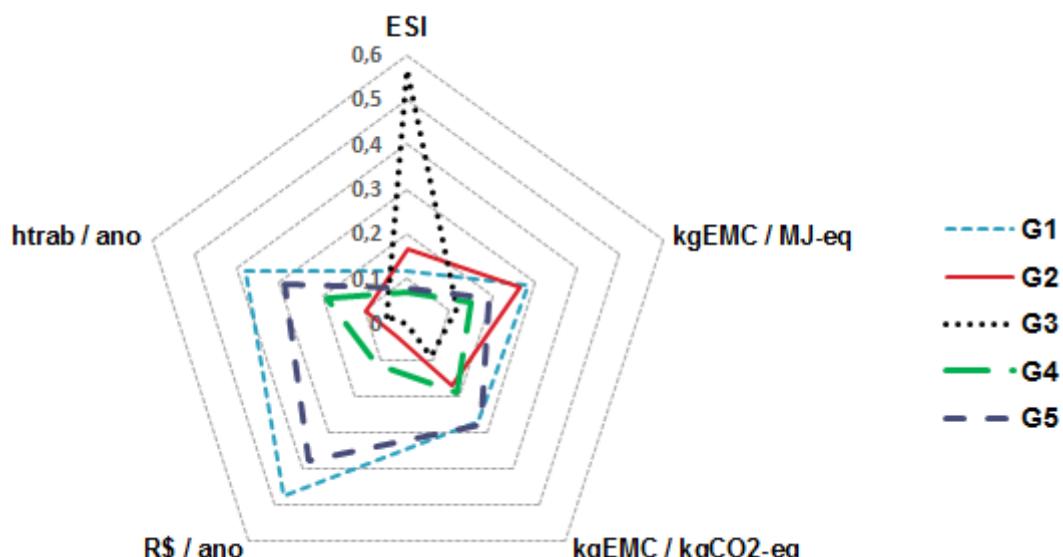


Figura 22. Comparativo dos indicadores de sustentabilidade dos sistemas de produção da região Sul de Minas Gerais.

G1 e G2: semi-intensivos; G3: extensivo; G4 e G5: intensivos; ESI: Índice de Sustentabilidade em Emergia; kg_{EMC} / MJ-eq: Energia Incorporada por massa de leite corrigido; kg_{EMC} / kgCO₂eq: emissão de CO₂eq por massa de leite corrigido; R\$_{RB} / ano: rendimento bruto por ano; h_{trab} / ano: horas de trabalho por ano.

A análise considerando vários aspectos pode dificultar a conclusão, pois um sistema produtivo pode ter melhor desempenho em alguns pontos e pior em outros. Mas, para uma observação ampla dos sistemas, a variedade de indicadores permite ao gestor identificar pontos fortes e fracos, podendo trabalhar melhor aqueles que necessitem de maiores cuidados.

Observando-se a Figura 22, G1 apresenta-se como o sistema produtivo com melhor desempenho geral entre todos os outros. Apenas no indicador de

sustentabilidade ambiental em energia (ESI) é que G1 não obteve o melhor valor comparado aos demais. Assim de acordo com os critérios utilizados, pode-se concluir que este sistema é o que possui maior sustentabilidade entre os sistemas produtores de leite do Sul de Minas Gerais avaliados neste estudo.

G3 possui o melhor indicador de sustentabilidade ambiental em energia, porém a rentabilidade bruta anual de leite e mão de obra empregada são as menores entre todos, e as emissões por kg_{ECM} são as maiores, resultado da pequena produção. Estes produtores necessitam de assistência técnica para melhorarem sua produção, com aumento da qualidade e volume do leite, o que favorecerá os indicadores socioeconômicos (IPEA, 2009). Deve-se alertar também, que este produtor familiar sem o auxílio externo, possivelmente deixará sua terra em busca de melhores condições de vida nas cidades, o que provocará novos problemas, pois são trabalhadores com pouca qualificação para os empregos destes centros urbanos.

Os sistemas mais intensivos necessitam melhorar seus indicadores ambientais. Mendes et al. (2013a) concluíram após a análise utilizando a Síntese em Energia de um sistema semi-intensivo de produção de leite na região de Araçatuba-SP, que para melhorar os indicadores em energia é necessário a mudança do gerenciamento do sistema, como a adoção dos princípios agroecológicos. Para corroborar a conclusão destes autores, tem-se os estudos de Haas et al. (2001), Brandt-Williams e Fogelberg (2005) e Müller-Lindenlauf et al. (2010), que empregando a ACV compararam a pecuária orgânica com a convencional e detectaram que a orgânica, causa menos impactos ao meio ambiente.

Os sistemas de produção agrícola que utilizam princípios agroecológicos têm mostrado resultados ambientais melhores do que os sistemas tradicionais, porém a incorporação destes princípios, segundo Altieri (2004), necessita de mudanças nas estratégias de gestores, que devem incorporar aspectos sociais e econômicas em suas políticas de sustentabilidade, além das dimensões tecnológicas. Mas segundo o autor, o agricultor não adotará um sistema alternativo de produção se ele não identificar benefícios a curto e médio prazo da agricultura sustentável, incluindo um bom retorno financeiro, pelo aumento da produção ou pela redução dos custos.

5.3. Cenário atual

Para a expansão dos indicadores à toda a região, considerou-se a representatividade e áreas de cada sistema apresentada na Tabela 23.

Tabela 23. Representatividade dos sistemas na região Sul de Minas Gerais.

Grupo	G1	G2	G3	G4	G5
% Regional	1	17	80	1	1
Área (ha)	5.400	91.800	432.000	5.400	5.400

G1 e G2 (semi-intensivos); G3 (extensivo); G4 e G5 (intensivos)

Os cálculos dos indicadores para toda a região do Sul de Minas Gerais, referentes à produção de leite, consideraram os resultados dos indicadores individuais, na unidade relacionada a área (ha) utilizando dados da Tabelas 18, 21, 22, 23 e o Apêndice D. A Tabela 24 apresenta os resultados destes cálculos considerando o Cenário Atual da região Sul de Minas Gerais.

Tabela 24. Indicadores da região Sul de Minas Gerais para o Cenário Atual.

%R	EYR	ELR	EIR	ESI	R\$ _{RB} /ano	h _{trab} / ano	MJ/ano	kgCO _{2eq} /ano
33,39	1,54	2,00	1,85	0,77	1,14 E9	9,6 E7	4,87 E9	1,79 E9

%R: renovabilidade; EYR: razão de rendimento em emergia; ELR: razão de carga ambiental; EIR: razão de investimento em emergia; R\$_{RB}/ano: rendimento bruto anual; h_{trab}/ano: horas de trabalho por ano; MJ/ano: energia incorporada por ano; kgCO_{2eq}/ano.

Os indicadores calculados para o Cenário Atual são importantes neste estudo para comparar com o Cenário Alternativo, o que será feito no item 5.5 a seguir. Neste momento, uma comparação adicional é realizada, com os indicadores em emergia calculados para algumas regiões do Brasil.

Considerando o estudo de Demétrio (2011), que avaliou o Brasil e seus estados empregando emergia, a produção de leite da região Sul de Minas Gerais possui renovabilidade maior que a de Minas Gerais (15%), porém menor que a do Brasil (40%). A sustentabilidade está próxima a da região Sudeste (0,66), menor que a do Brasil (4,6). A carga ambiental é menor que a de Minas Gerais (5,6) e maior que a do Brasil (1,49). Deve-se levar em consideração que o estudo de Demétrio (2011) considerou diferentes fluxos aos deste estudo, pois as fronteiras estabelecidas foram os limites estaduais e do país como um todo e não somente a produção agrícola ou de leite.

5.4. Alternativa para desenvolvimento da produção de leite: Cenário alternativo

A Razão de Investimento em Emergia é uma medida da proporção de emergia retroalimentada do setor econômico em relação às entradas de emergia da natureza. Regiões altamente industrializadas ou tecnológicas possuem EIR alto. Pereira (2012) calculou para o município de Campinas um EIR de 169,4, que segundo o autor é o resultado de uma fração renovável muito pequena em relação ao total utilizado de emergia, resultando em uma sustentabilidade praticamente nula. Quando expandida a fronteira da análise para o estado de São Paulo, o autor calculou um EIR de 10,1, consequência de uma maior incorporação de fluxos renováveis e não renováveis, que aumentaram em relação à Campinas na ordem 1000 vezes cada um, enquanto os fluxos da economia aumentaram na ordem de 100 vezes. Já a bacia hidrográfica Mogi-Guaçu Pardo, região com áreas agrícolas, florestas, mineração entre outras, foi analisada por Agostinho et al. (2010), que calcularam um EIR de 1,31.

Considerando a hipótese de Odum (1996) de que a Razão de Investimento em Emergia, pode servir como base para a análise de planos de desenvolvimento regional e que um EIR sustentável tende a ser aquele da região, a análise do EIR regional referente à produção de leite do Sul de Minas Gerais que mais se aproximasse do EIR desta região (0,5 Oliveira e Agostinho, 2015) foi realizada, resultando em valores que iniciam em 1,34 (Figura 23).

Valores menores que 1,34 só ocorrem quando a participação de algum sistema de produção de leite é menor que 1%, o que não foi proposto, pois sistemas com essa pequena representatividade foram considerados em vias de extinção.

Na Figura 23 está uma sequência crescente dos resultados encontrados para o EIR regional referente à produção de leite do Sul de Minas Gerais, sendo que os dados dos cálculos desta distribuição encontram-se no Apêndice H.

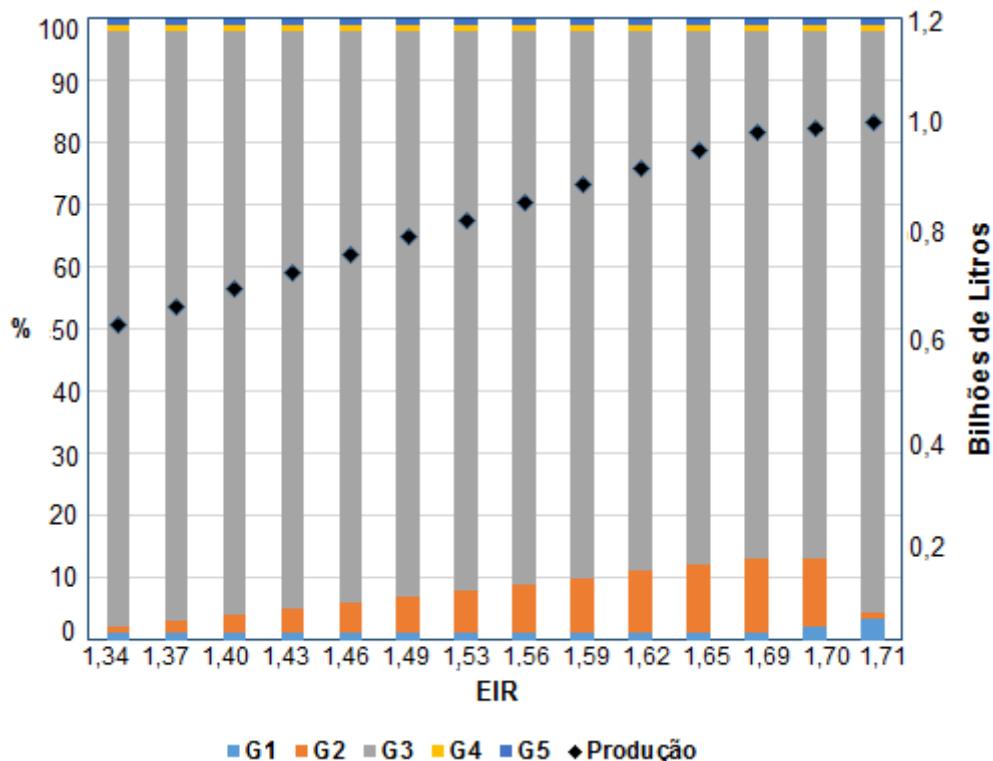


Figura 23. Relação entre o EIR regional, a distribuição dos sistemas de produção de leite e a produção total de leite na região Sul de Minas Gerais.
 G1 e G2 (semi-intensivos); G3 (extensivo); G4 e G5 (intensivos)

O eixo vertical à esquerda do gráfico indica a porcentagem das áreas representativas de cada sistema na região Sul de Minas Gerais e o eixo vertical à direita, indica a produção de leite de cada combinação de sistemas encontrada. Ambos os eixos estão relacionados aos EIRs calculados e apresentados no eixo horizontal.

É possível observar na Figura 23, que à medida que aumenta o EIR da produção regional de leite, ocorre simultaneamente uma redução da participação do sistema extensivo G3 junto a um acréscimo dos sistemas semi-intensivos G2 e G1. Isto ocorre pois, como este indicador relaciona os fluxos da economia (F) com os da natureza (I) e para se intensificar a produção de leite em sistemas convencionais é comum o incremento de mais recursos externos (F), proporcionando uma ampliação da diferença entre estes fluxos de recursos externos e os locais da natureza. Assim, com a elevação do EIR, a tendência é um aumento da participação dos sistemas mais intensificados e uma redução dos extensivos, justamente o que o governo objetiva com seus programas de incentivo ao produtor (ABC, INOVAGRO, MODERAGRO, PRONAF, PRONAMP, Minas Leite e Balde Cheio).

Fato semelhante ocorreu na Argentina, que a partir da década de 90, a produção de leite do país sofreu um processo de intensificação dos sistemas produtivos, o que levou a um aumento da produção, concomitante à redução do número de produtores (Rótolo, 2010). A autora observa que esta é uma tendência mundial e que pode afetar fortemente a sustentabilidade ambiental da produção de leite e o bem-estar de toda uma região.

Importante notar que o EIR calculado mais próximo de 0,5 é 1,34, com uma distribuição dos sistemas produtivos que proporcionariam uma produção anual de 609 milhões de litros, 46% menor que a produção atual, próxima de 1,14 bilhões com EIR de 1,85. No entanto, à medida que aumenta o EIR regional da produção de leite, ocorre também um aumento no volume de leite produzido na região, consequência da maior participação dos sistemas de maior produtividade (mais intensificados).

Segundo Odum (1996), este aumento do EIR juntamente com a produção, ocorre de maneira menos eficiente, por provocar um desequilíbrio entre os fatores limitantes, o que pode deixar a produção regional de leite com uma sustentabilidade fraca, pois passará a depender de mais de recursos externos, geralmente à base de energia fóssil, o que deveria ser evitado em um cenário de declínio destes recursos.

5.5. Avaliação comparativa entre os cenários Atual e Alternativo

Para o novo cenário, a representatividade do sistema G3 (produtor familiar) prevê um aumento de 80 para 96%, enquanto os demais, a representatividade será de 1% cada um. Essa nova distribuição provocará mudanças nos indicadores socioeconômicos e ambientais da produção regional de leite. Assim, após o cálculo destes indicadores, o Cenário Alternativo pôde ser quantificado e em seguida uma comparação entre o Cenário Atual e o Alternativo é realizada. A Figura 24 apresenta um gráfico radar, normalizado, com os indicadores calculados para os dois cenários.

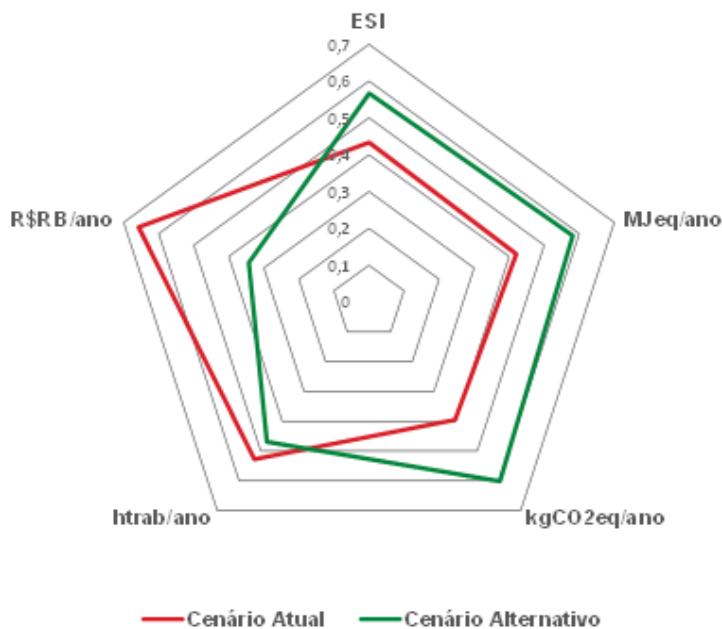


Figura 24. Gráfico comparativo entre o Cenário Atual e Alternativo

Na área ambiental, o Cenário Alternativo apresenta-se com melhores indicadores, pois este possui melhor desempenho referente ao Cenário Atual nos seguintes aspectos: 31% maior sustentabilidade ambiental (ESI); utiliza 28% menos energia (MJ_{eq}/ano); seu Potencial de Aquecimento Global (CO_{2eq}/ano) é 34% menor.

Na área socioeconômica, o Cenário Alternativo não possui melhor desempenho comparado ao Atual, pois seu indicador de horas de trabalho é de 11% menor e seu rendimento bruto é 48% menor. Essa piora nos indicadores socioeconômicos é decorrente da maior participação do produtor familiar no Cenário Alternativo, pois além de produzir menos, emprega menor quantidade de pessoas.

Gomes (1999) analisou um cenário ao qual a produção de leite do Brasil seria abastecida apenas por produtores mais tecnificados e eficientes. Neste cenário, o autor atesta que poderia ocorrer uma redução no número de produtores de 8,5 a 15,75%, resultados estes, opostos ao obtido pelo Cenário Alternativo aqui avaliado. Este último que prevê uma expansão dos produtores familiares, resultando em uma melhora nos indicadores ambientais, comparado ao atual, mas os indicadores socioeconômicos, apresentariam pior desempenho.

O Cenário Alternativo foi proposto baseado no EIR regional, ou seja, é a alternativa que prevê a maior sustentabilidade de acordo com abordagem metodológica utilizada, como proposta por Odum (1996). Este cenário possui um EIR mais próximo possível ao do Sul de Minas Gerais (0,5).

Mas como adequar o Cenário Alternativo às demandas da população por mais leite e as pretensões governamentais de tecnificar os sistemas produtivos? Expandir a presença dos produtores familiares, com sistemas extensivos tradicionais, pode ser uma alternativa para aumentar a sustentabilidade regional da produção de leite, de acordo com os conceitos teóricos empregados neste estudo, mas a pressão por maior produção poderia impor a tecnificação destes sistemas.

Neste sentido, uma alternativa potencial seria através da agroecologia. O emprego de princípios agroecológicos na produção de leite, que procuram reduzir a dependência a fluxos externos, aumentar a produção preocupando-se com o bem estar dos animais e também dos empregados tem apresentado bons resultados sociais, econômicos e ambientais (Cederberg e Mattson, (2000); Müller-Lindenlauf et al. (2010); Teixeira (2011)). Estes princípios podem ser utilizados pelos produtores familiares, auxiliando-os na redução da dependência externa de recursos e melhorando a rentabilidade de seu sistema. Para isto, é necessário que esses produtores familiares recebam informações técnicas destes princípios agroecológicos, mas também que identifiquem vantagens econômicas em sua adoção. De qualquer forma, esses sistemas não foram avaliados neste estudo e poderiam ser considerados em trabalhos futuros, para auxiliar na proposição de alternativas sustentáveis de produção de leite na região Sul de Minas Gerais.

6. CONCLUSÕES

Sistemas produtores de variados níveis de intensificação e produção de leite coexistem na região Sul de Minas Gerais, onde a produção de leite é reconhecidamente tradicional. Ocorre grande participação de pequenos produtores familiares que utilizam o manejo extensivo para produzir. Estes são os que mais necessitam de auxílio externo, seja este do governo, em forma de programas de financiamento ou de tecnificação, ou de cooperativas, na forma de auxílio na comercialização de insumos e do próprio leite produzido.

A produção de leite a pasto é dominante na região, via sistemas extensivos ou semi-intensivos (98%). O sistema intensivo com confinamento dos animais também ocorre, entretanto, com menor participação, no que tange a ocupação das terras, em comparação com os demais sistemas. Observa-se que este último possui melhor desempenho em produtividade, tanto dos animais como da terra.

Como resposta à primeira pergunta de pesquisa deste estudo, (qual o sistema de produção de leite mais sustentável dentre os já existentes na região Sul do Estado de Minas Gerais?), os resultados apontam para o sistema semi-intensivo G1, por apresentar melhor desempenho em relação aos indicadores de emissão (0,87 kgCO_{2eq}/kg_{ECM}), energia incorporada (3,1 MJ/kg_{ECM}), mão de obra empregada (21.120 h_{trab}/ano) e rentabilidade bruta (1.766.600 R\$/ano), em comparação com os mesmos indicadores dos outros sistemas aqui analisados. Somente para o indicador de sustentabilidade em emergia, o sistema extensivo G3, que representa o agricultor familiar, apresentou o melhor desempenho (1,43).

A projeção de um cenário alternativo visando a análise da sustentabilidade regional da produção de leite, baseado na Razão de Investimento em Emergia (EIR) resultou em uma nova distribuição dos sistemas produtivos da região Sul de Minas Gerais. Assim, o G1, atualmente com 1% de representatividade na área destinada à produção de leite da região, continuaria com 1%; o G2 reduziria de 17% para 1%; o G3 se elevaria de 80% para 96%; o G4 e o G5 continuariam em 1%. Porém, com essa nova distribuição, a produção de leite regional seria reduzida em 42% (de 1,1 para 0,68 bilhão de litros anuais). Tal distribuição é resultado de um EIR=1,34, valor

mais próximo ao da região Sul de Minas Gerais, como sugerido pelo método considerado neste estudo.

O cenário alternativo aqui proposto alteraria as distribuições dos sistemas produtivos de leite da região Sul de Minas Gerais e diminuiria a produção regional, além de prever uma redução em mão de obra empregada no setor (de 96,6 bilhões para 86 bilhões h_{trab}/ano) e uma redução na renda bruta regional (de 1.137 bilhões para 594 milhões R\$/ano), referente à venda do leite produzido. Por outro lado, ter-se-ia melhor desempenho dos indicadores energético-ambientais, com a redução da energia incorporada (de 4,8 bilhões para 4,5 bilhões MJ_{eq}/ano) e do potencial de aquecimento global (de 1,78 bilhões para 1,17 bilhões $kgCO_{2eq}/ano$), além do aumento do indicador de sustentabilidade em emergia (de 0,77 para 1,01). Desta forma, respondendo a segunda pergunta de pesquisa deste estudo, (Existe uma alternativa para melhorar a sustentabilidade da produção de leite da região?), tem-se que, de acordo com a abordagem metodológica aqui utilizada, baseada no EIR regional, o cenário alternativo resultaria em maior sustentabilidade que o atual, por ser a alternativa que mais se aproxima do EIR do Sul de Minas Gerais.

Reconhece-se que um maior detalhamento das informações dos dados primários dos sistemas avaliados poderia ser útil na utilização de procedimentos de alocação nos métodos de energia incorporada e avaliação de ciclo de vida, principalmente para o sistema G3, que depende do leite e cabeças de gado produzidos, além de propiciar a escolha de outros ou maior quantidade de indicadores sociais e econômicos. É importante ressaltar que as avaliações realizadas neste estudo se basearam nas áreas das fazendas diretamente ligadas à produção de leite, sendo que o aumento ou redução das fronteiras das análises, com a incorporação de outras áreas na avaliação, pode resultar em diferentes números e interpretações.

7. PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

Realizar trabalho semelhante na região Sul de Minas Gerais, relativo à produção de leite regional, com maior detalhamento na coleta de dados, principalmente das áreas social e econômica, para que se possam incluir novos indicadores destes setores ao estudo.

Aumentar a fronteira do estudo, incorporando as áreas de preservação e agrícolas (não utilizadas neste estudo) para uma análise de maior abrangência da região.

Utilizar a mesma abordagem deste estudo para a avaliação de outros setores agrícolas da região, como a produção de carne bovina ou a de café, setores também importantes no Sul de Minas Gerais.

8. REFERÊNCIAIS BIBLIOGRÁFICOS

- Agostinho, F. Diniz, G. Siche R. Ortega, E. The use of emergy assessment and the Geographical Information System in the diagnosis of small family farms in Brazil. *Ecological Modelling*, Volume 210, Issues 1–2, 10 January 2008, Pages 37-57.
- Agostinho, F., Ortega, E.. Integrated food, energy and environmental services production as an alternative for small rural properties in Brazil. *Energy*. 2012. 37, 103-114.
- Agostinho, F.; Ambrósio, L.A.; Ortega, O. Assessment of a large watershed in Brazil using Energy Evaluation and Geographical Information System. *Ecological Modelling*, 2010, v. 221, p.1209-1220.
- Agostinho, F.; Bertaglia, A. B. B.; Almeida, C. M.V.B.; Giannetti, B. F. Influence of cellulose enzyme production on the energetic–environmental performance of lignocellulosic ethanol. *Ecological Modelling*. 2015. 315, 46–56.
- Aguiar, G.; Ribeiro, R. Rentabilidade em 2012: Caminhos opostos para agricultura e pecuária. *Carta Gestor*. Ano 4. Edição 43. Scot Consultoria. Bebedouro, 2013. Disponível em: <http://www.scotconsultoria.com.br/noticias/cartas/28521/carta-gestor---rentabilidade-em-2012:-caminhos-opostos-para-agricultura-e-pecuaria.htm>.
- Alfaro-Arguello R.; Diemont, S. A. W.; Ferguson, B. G.; Martin, J. F.; Nahed-Toral, J.; Álvarez-Solís, J.D.; Ruiz, R. P. 2010. "Steps toward sustainable ranching: An emergy evaluation of conventional and holistic management in Chiapas, Mexico," *Agricultural Systems* 103.
- Almeida, E. F. L. Aspectos Sociais da Produção de Leite no Brasil. In: Madalena, F. E.; Matos, L. L.; Holanda JR., E. V. (editores). *Produção de Leite e Sociedade: uma análise crítica da cadeia do leite no Brasil*. Belo Horizonte: FEPMVZ, 2001.
- Altieri, M. A. *Agroecology: the scientific basis of alternative agriculture*. Boulder: Westview Press, 1987.
- Altieri, M. A. *Agroecologia: A dinâmica produtiva da agricultura sustentável*. 4.ed. – Porto Alegre : Editora da UFRGS, 2004.
- Baek, C. Y.; Lee, K. M.; Park, K. H. Quantification and control of the greenhouse gas emissions from a dairy cow system. *Journal of Cleaner Production*. 2014. 70, 50-60.
- Bargigli, S., Ulgiati, S. Emery and life-cycle assessment of steel production. In: *Proceedings of 2nd Biennial Emery Conference, Emery Synthesis 2, Theory and applications of the emery methodology*. 2003. Center for Environmental Policy, Department of Environmental Engineering Sciences, University of Florida, Gainesville, FL.
- Barros, G.S.C., Fachinello, A.S., Silva, A.F.: Desenvolvimento metodológico e cálculo do PIB das cadeias produtivas do algodão, cana de açúcar, soja, pecuária de corte e leite no Brasil (Methodological development and calculation of GDP for brazilian productive chains of cotton, sugar cane, soybeans, beef cattle and milk). Relatório Final, Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA), Piracicaba, SP. 2011.
- Bartl, K., Gómez, C. A.; Nemecek, T. Life cycle assessment of milk produced in two smallholder dairy systems in the highlands and the coast of Peru. *Journal of Cleaner Production*. 2011. 19, 1494-1505.
- Basset-Mens, C., Ledgard, S., Boyes, M. Eco-efficiency of intensification scenarios for milk production in New Zealand. *Ecol Econ*. 2009. 68, 1615–25.

- Basset-Mens, C., Ledgard, S., Carran, A. First life cycle assessment of milk production from New Zealand dairy farm systems. S. I. (NZ). AgResearch Limited/Ruakura Research Centre, Hamilton, New Zealand. 2005.
- Bastianoni, S., Coppola, F., Tiezzi, E., Colacevich, A., Borghini, F., Focardi, S. Biofuel potential production from Orbetello lagoon macroalgae: A comparison with sunflower feedstock. *Biomass and Bioenergy*. 2008. 32, 619–628.
- Bastianoni, S.; Coscieme, L.; Pulselli, F. M. The input-state-output model and related indicators to investigate the relationships among environment, society and economy. *Ecological Modelling*. 2016. 325, 84–88.
- Batista, E. H. A.; Hespanhol, R. A. M. Política social e pobreza econômica na experiência brasileira: o caso do norte do Estado de Minas Gerais, Brasil. *Revista Desenvolvimento Social*. N°11/01. Universidade Federal de Montes Claros. Minas Gerais, 2014.
- Battini, F; Agostini, A.; Tabaglio, V.; Amaducci, S. Environmental impacts of different dairy farming systems in the Po Valley. *Journal of Cleaner Production*. 2016. 112, 91e102
- Beauchemin, K.A.; Kreuzer, M.; O'Marac, F.; Mcallister, T.A. Nutritional management for enteric methane abatement: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 2008. v.48, p.21–27.
- Beloti, V.; Ribeiro Junior, J. C.; Tamanini, R.; Ymada, A. K.; Silva, L. C. C.; Shecaira, C. L.; Novaes, D. G.; Silva, F. F.; Giombelli, C. J.; Mantovani, F. D.; Silva, M. R. Qualidade microbiológica e físico-química do leite cru resfriado produzido no município de Sapopema/PR. *Revista científica eletrônica de medicina veterinária*. nº16, 2011.
- BNDES. Banco Nacional de Desenvolvimento. Site: <http://www.bnDES.gov.br/programas/agropecuarios#>. 2015. Acessado em 21/02/2015.
- Bonadio, L. F.; Tupy, O.; Rodrigues, G. S.; Rodrigues, I. A.; Camargo, A. C. Impacto social de inovações tecnológicas na agricultura familiar: Tecnologias para produção de leite. Documentos 44. Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos, 2005.
- Borba, M. F. S.; Trindade, J. P. P. Redesenho dos Sistemas de Produção da Pecuária Familiar. Documentos / Embrapa Pecuária Sul, ISSN 1982-5390 ; 123. 2011. Endereço eletrônico: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/77120/1/DT123.pdf>. Acessado em 20/09/2015.
- Boustead, I.; Hancock, G.F. *Handbook of Industrial Energy Analysis*. Ellis Horwood Limited. England. 1979.
- Brandt-Williams, S. L.; Fogelberg, C. L. Nested Comparative Energy Assessments Using Milk Production In: Biennial Energy Conference, 3rd. , 2005, University of Florida, Gainesville, FL. Theory and Applications of the Energy Methodology.
- Brandt-Williams, S. L. *Handbook of Energy Evaluation: A Compendium of Data for Energy Computation Issued in a Series of Folios*. Folio No.4, 2002 – Energy of Florida Agriculture. Center for Environmental Policy, Environmental Engineering Sciences, University of Florida, Gainesville. Available in: <http://www.ees.ufl.edu/cep/>. Accessed in 25 August 2013
- BRASIL. Lei nº 11.947 de 16/06/2009. Atendimento da alimentação escolar e do Programa Dinheiro Direto na Escola aos alunos da educação básica. Brasília, 2009.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 51 de 18/09/2002. Diário Oficial da União. Brasília: MAPA, 2002;
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 62 de 29/12/2011. Diário Oficial da União. Brasília: MAPA, 2011.

- Brown, M. T.; Ulgiati, S. Energy-based indices and ratios to evaluate sustainability: monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation. *Ecological Engineering*. 1997. 9, 51-69.
- Brown, M. T.; Buranakarn, V. Energy indices and ratios for sustainable material cycles and recycle options. *Resources, Conservation and Recycling*. 2003. 38, 1 - 22.
- Brown, M. T.; Campbell, E. Evaluation of natural capital and environmental services of U.S. national forests using energy synthesis. Center for environmental policy university of Florida. Gainesville, Florida EUA, 2007.
- Brown, M.T. Ulgiati, S. Energy evaluations and environmental loading of electricity production systems. *Journal of Cleaner Production*. 2002. 10, p. 321-334.
- Brown, M.T., Ulgiati, S. Energy analysis and environmental accounting. *Encyclopedia of Energy*. 2004. 2, 329-354.
- Brown, M.T.; Ulgiati, S. Understanding the global economic crisis: A biophysical perspective. *Ecological Modelling*. 2011. 223, 4-13.
- Buenfil, A. Energy Evaluation of Water. Ph.D. dissertation, University of Florida, pp. 264. 2001.
- Buranakarn, V. Evaluation of recycling and reuse of building materials using the energy analysis method. 110 p. Thesis (Doctor in philosophy). University of Florida, Gainesville, 1998.
- Camarano, A. A.; Abramovay, R. Exodus rural, envelhecimento e masculinização no Brasil: panorama dos últimos cinquenta anos. *Revista Brasileira de Estudos de População*. Vol. 15, nº 2. Brasília, 1998.
- Campos, S. A. C.; Coelho, A. B.; Gomes, A. P.; Mattos, L. B.; Eficiência e custos associados à adequação ambiental para a produção láctea em Minas Gerais. *Organizações Rurais & Agroindustriais*, Lavras, v. 16, n. 3, p. 324-342, 2014.
- Campos, S. A. C.; Ferreira Neto, J. A.; Amodeo, N. B. P.: Eficiência Técnica dos Produtores de Leite no Projeto de Assentamento Fruta d'Anta - João Pinheiro MG. In: XLVI Congresso da Sober - Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 2008, Rio Branco - AC. Anais do XLVI Congresso da Sober, 2008.
- Capper, J., Cady, R.A. & Bauman, E.D. The relationship between cow production and environmental impact. 2008.
- Carvalho, G. R.: A indústria de laticínios no Brasil: passado, presente e futuro. Circular Técnica 102. Juiz de Fora: Embrapa Leite, 2010. Disponível em: http://www.cnpli.embrapa.br/nova/livraria/abrir_pdf.php?id=26.
- Carvalho, J. G. A.; Bonilla, S.; Almeida, C. Contabilidade Ambiental em Energia da Construção de uma Casa Residencial. In: 2nd International Workshop Advances IN Cleaner Production. São Paulo, 2009.
- Casey, J. W.; Holden, N. M. Analysis of greenhouse gas emissions from the average Irish milk production system. *Agricultural Systems*. 2005. 86, 97-114.
- Cavalett O. Análise do ciclo de vida da soja. Tese de doutorado. Engenharia de Alimentos. UNICAMP, Campinas-SP. 2008.
- Cavalett, O., Ortega, E. Energy, nutrients balance, and economic assessment of soybean production and industrialization in Brazil. *Journal of Cleaner Production*. 2009. 17, 762-771.
- Cavalett, O.; Queiroz, J. F.; Ortega, E. Energy assessment of integrated production systems of grains, pig and fish in small farms in the South Brazil. *Ecological Modelling*. 2006. 193, 205-224.

- Castagma, A. A.; Aronovich, M.; Rodrigues, E. Pastoreiro racional voisin: manejo agroecológico de pastagem. Niterói-RJ. Programa Rio Rural. Manual Técnico, 2008.
- Cederberg C, Stadig M. System expansion and allocation in life cycle assessment of milk and beef production. *Int J Life Cycle Assess.* 2003. 8, 350–356.
- Cederberg, C. Life cycle assessment of milk production – a comparison of conventional and organic farming. Swedish Institute for Food and Biotechnology report no. 643. Gothenburg, Sweden. 1998.
- Cederberg, C., Flysjö, A. Life Cycle Inventory of 23 Dairy Farms in South-Western Sweden. Swedish Institute for Food and Biotechnology, SIK-Rapport, Gothenburg, Sweden. 2004.
- Cederberg, C., Mattson, B. Life cycle assessment of milk production- a comparison of conventional and organic farming. *Journal Cleaner Production.* 2000. 8,49-60.
- CEPEA. 2013. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. ESALQ, USP. Endereço eletrônico: <http://cepea.esalq.usp.br/>. Acessado em: 15/09/2013.
- CEPEA. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. Boletim do Leite, ano 22, n249. 2016. Endereço eletrônico: <http://cepea.esalq.usp.br/leite/boletim/249.pdf>
- Coelho, O., Ortega, E., Comar, V., 2003. Emergy assessment of Brazil using statistics of 1996, 1989 and 1981. In: Ecological Engineering and Sustainable Agriculture. Disponível em <<http://wwwfea.unicamp.br/docentes/ortega/livro/C05-Brasil-COC.pdf>>. Acessado em 16/06/14.
- Coscieme, L., Pulselli, F.M., Jørgensen, S.E., Bastianoni, S. Thermodynamics- based categorization of ecosystems in a socio-ecological context. *Ecol. Modell.* 2013. 258, 1-8.
- Del Prado, A.; Mas, K.; Pardo, G.; Gallejones, P. Modelling the interactions between C and N farm balances and GHG emissions from confinement dairy farms in northern Spain. *Science of the Total Environment.* 2013. 465, 156-165.
- Demétrio, F. J. C. Avaliação de Sustentabilidade Ambiental do Brasil com a Contabilidade em Emergia. Tese de doutorado para o programa de Engenharia de produção da Universidade Paulista-UNIP. São Paulo-SP. 2011.
- Dyer, J.A., Vergé, X.P.C., Kulshreshtha, S.N., Desjardins, R.L., McConkey, B.G. Areas and Greenhouse gas emissions from feed crops not used in Canadian livestock production in 2001. *Journal of Sustainable Agriculture.* 2011. 35, 780-803.
- Ecoinvent. Banco de Dados para Análise de Ciclo de Vida. 2015. Endereço eletrônico: <http://www.ecoinvent.org/>. Acessado em 22/10/2016.
- Ehlers, E. Agricultura sustentável: origens e perspectivas de um novo paradigma. Livros da Terra, São Paulo. 1996.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Segundo inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa. Emissões de metano por fermentação entérica e Manejo de dejetos de animais Relatórios de Referência. 2010.
- EMBRAPA. 2005. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistemas de produção de leite no Brasil. Circular Técnica 85. Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora-MG
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2013a. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Endereço eletrônico: <http://www.cppse.embrapa.br/balde-cheio>. Acessado em 29/10/2013.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2013b. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Endereço eletrônico: <http://www.cnplg.embrapa.br/sistema-producao/>. Acessado em 20/12/2013

- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Avaliação dos impactos de tecnologias geradas pela Embrapa: metodologia de referência / editores técnicos, Antônio Flávio Dias Ávila, Geraldo Stachetti Rodrigues, Graciela Luzia Vedovoto. – Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica, 2008.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Estudo Preliminar. Contribuição para o Plano Pecuário 2012. Diagnóstico da Pecuária de Leite Nacional. 2011. Endereço eletrônico: http://www.cnpq.embrapa.br/nova/Plano_Pecuario_2012.pdf
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Indicadores: Leite e Derivados. – Ano 7, n. 53 (Abril/2016) – Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2016.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Projeto Balde Cheio. 2014. Endereço eletrônico: <https://www.embrapa.br/pecuaria-sudeste/busca-de-projetos/-projeto/38110/projeto-balde-cheio>. Acessado em 25/07/2014
- EPA. U.S. Environmental Protection Agency, Technology Transfer Network Clearinghouse for Inventories & Emissions Factors. 2008. Endereço eletrônico <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/index.html>. Acessado em 21/11/2014.
- Fahd, S., Fiorentino, G., Mellino, S., Ulgiati, S. Cropping bioenergy and biomaterials in marginal land: The added value of the biorefinery concept. *Energy*. 2012. 37, 79-93.
- Fantin V.; Buttol, P.; Pergalli, R.; Masoni, P. Life cycle assessment of Italian high quality milk production. A comparison with an EPD study. *Journal of Cleaner Production*. 2012. 28, 150-159.
- FAO - Food and Agriculture Organization of United Nation. Trainer's Manual, v.1, Sustainability issues in agricultural and rural development policies, 1995.
- FAO. Greenhouse Gas Emissions from the Dairy Sector: A Life Cycle Assessment. Food and Agriculture Organization of the United nations, Rome, Italy. 2010.
- FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Livestock's long shadow. Environmental issues and options. Animal Production and Health Division. 2006
- Flysjö, A., Cederberg, C., Henriksson, M., Ledgard, L. The interaction between milk and beef production and emissions from land use change e critical considerations in life cycle assessment and carbon footprint studies of milk. *Journal Cleaner Production*. 2012. 28, 134-42.
- Flysjö, A.; Henriksson, M., Cederberg, C.; Ledgard, S.; Englund, J. The impact of various parameters on the carbon footprint of milk production in New Zealand and Sweden. *Agricultural Systems*. 2011. 104, 459–469.
- Francescato, G., Agostinho, F., Nachtigall, G.R., Nobre Jr, A. A.; Ortega, Enrique. 2008. Energy and economic assessment of apple production system in south of Brazil. In: V Biennial Energy Analysis Conference, 2008, Gainesville, Florida. Energy Synthesis 5. Gainesville, Florida: University of Florida
- Gerber, P., Vellinga, T., Opio, C. & Steinfeld, H. Productivity gains and greenhouse gas emissions intensity in dairy systems. *Livestock Science*. 2011. 139(1-2): 100–108.
- Giannetti, B. F., Almeida, C.M.V.B., Agostinho, F., Bonilla, S.H., Ulgiati, S. Primary Evidenceson the Robustness of Environmental Accounting from Energy. *Journal of Environmental Accounting and Management*. 2013. 1(2), 203-212.
- Giannetti, B. F.; Agostinho, F.; Moraes, L. C.; Almeida C. M.V.B.; Ulgiati, S. Multicriteria cost-benefit assessment of tannery production: The need for breakthrough process alternatives beyond conventional technology optimization. *Environmental Impact Assessment Review*. 2015. 54, 22-38.

- Giannetti, B.F., Ogura, Y., Bonilla, S.H., Almeida, C.M.V.B. Accounting energy flows to determine the best production model of a coffee plantation. *Energy Policy*. 2011. 39, 7399-7407.
- Godinho, R. F.; Soares, V. E.; Bertipaglia, L. M. A.; Carvalho, R. C. R.; Dian, P. H. M.: Gestão empresarial em sistemas de produção de leite na microregião de São João Batista do Glória (MG). *Ciência et Praxis* v. 6, n. 12, 2013.
- Godinho, R. F.; Soares, V. E.; Bertipaglia, L. M. A.; Carvalho, R. C. R.; Dian, P. H. M. Caracterização da produção leiteira em São João Batista do Glória-MG. *Ciência et Praxis* v. 6, n. 10, 2012.
- Gomes, A. P. Impáctos no número da produção de leite e requerimento da mão de obra e capital. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 1999.
- Haas, G., Wetterich, F., Köpke, U.. Comparing intensive, extensified and organic grassland farming in southern Germany by process life cycle assessment. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2001. 83, 43-53.
- Hagemann, M., Hemme, T., Ndambi, A., Alqaisi, O. Benchmarking of greenhouse gas emissions of bovine milk production systems for 38 countries. *Animal Feed Science and Technology*. 2011. 166-167, 46-58.
- Heikkilä, A.M.; Nousiainen, J.I.; Jauhainen, L. Optimal Replacement Policy and Economic Value of Dairy Cows with Diverse Health Status and Production Capacity. *Journal of Dairy Science*, Volume 91, Issue 6, June 2008, Pages 2342-2352
- Heller, M. C.; Keoleian, G. A. Life Cycle Energy and Greenhouse Gas Analysis of a Large-Scale Vertically Integrated Organic Dairy in the United States. *Environ. Sci. Technol.* 2011. 45, 1903-1910.
- Herendeen, R. Embodied energy, embodied everything ... now what? In: *Advances in Energy Studies: Energy flows in ecology and economy* pp.13-48. Rome, Itália, 1998.
- Hirschfeld, J., Weiß, J., Preidl, M., Korbun, T. The Impact of German Agriculture on Climate Change. *Schriftreihe des IÖW* 186/08, Berlin, Germany (in German). 2008.
- Hogaas Eide, M. Life Cycle Assessment (LCA) of Industrial Milk Production. *Int. J Life Cycle Assess.* 2002. 7 (2), 115-126.
- Huysveld, S.; Linden, V. V.; De Meester, S.; Nico Peiren, N.; Muylle, H.; Ludwig, L.; Dewulf, J.: Resource use assessment of an agricultural system from a life cycle perspective – a dairy farm as case study. *Agricultural Systems*. 2015. 135, 77-89.
- IBGE. 2013a. Produção da pecuária municipal. Vol 41, 2013. Endereço eletrônico: ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Pecuaria/Producao_da_Pecuaria_Municipal/2013/ppm2013.pdf. Acessado em 25/08/2014.
- IBGE. 2006. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Pecuária Municipal. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/pesquisas/pesquisa_resultados.php?id_pesquisa=21. Acessado em 05/09/2013
- IBGE. 2014. Cidades. Endereço eletrônico: http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/uf.php?lang=&c_odeuf=31&search=minas-gerais
- IFIAS. Energy Analysis Workshop on Methodology and Conventions. International Federation of Institutes for Advanced Study, Nobel House, Stockholm, Sweden, 89pp. 197. 1974.
- IMPE. 2010. Climatologia de precipitação e temperatura. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliesp10a/chuesp.html>. Acessado em 12/10/2013.
- Ingwersen, W. W. Uncertainty characterization for energy values. *Ecological Modelling*. 2010. 221, 445-452.

- MilkPoint. Os 100 maiores produtores de Leite do Brasil. 2015 Endereço eletrônico: <http://www.milkpoint.com.br/top100/2015/EBOOK-TOP100.pdf>. Acessado em 11/11/2015.
- Minas Gerais. Decreto nº 44.163, de 05 de dezembro de 2005. Institui o Minas Leite - Programa Estadual da Cadeia Produtiva do Leite e dá outras providências. Belo Horizonte-MG, 2005.
- Müller-Lindenlau F., M., Deittert, C., Köpke, U. Assessment of environmental effects, animal welfare and milk quality among organic dairy farms. *Livestock Science*. 2010. 128, 140-148.
- Nutter, D. W., Kimb, D-S., Ulrich, R., Thoma, G.. Greenhouse gas emission analysis for USA fluid milk processing plants: Processing, packaging, and distribution. *International Dairy Journal*. 2013. 31, 57-64.
- Nuzzo RL. The box plots alternative for visualizing quantitative data. *Physical Medicine & Rehabilitation*. 2016. 8, 268-272.
- O'Brien, D.; Shalloo, L., Patton, J., Buckley, F., Grainger C., Wallace, M. A life cycle assessment of seasonal grass-based and confinement dairy farms. *Agricultural Systems*. , 2012. 107, 33-46.
- Odum, H. T. *Handbook of Emergy Evaluation: A Compendium of Data for Emergy Computation Issued in a Series of Folios*. Folio No. 2 - Emergy of Global Processes. Center for Environmental Policy, Environmental Engineering Sciences, Univ. of Florida, Gainesville, USA, 2000.
- Odum, H.T. *Environmental Accounting: Emergy and Environmental Decision Making* John Wiley and Sons. New York, 1996.
- ODUM, H.T. *Systems Ecology: an introduction*. John Wiley, New York, 644 pp. 1983.
- Olesen, J. E., Schelde, K., Weiske, A., Weisbjerg, M. R., Asman, W. A. H., Djurhuus, J. Modelling greenhouse gas emissions from European conventional and organic dairy farms. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2006; 112, 207-220.
- Oliveira, M.W., Agostinho, F.: Assessing alternative developments for milk production in the southern region of Minas Gerais State, Brazil: an emergy perspective. In: Brown M.T. et al. (eds.), *proceedings of 8th Biennal energy research conference*, University of Florida, Gainesville, USA, 2015.
- Olmos, G., Mee, J.F., Hanlon, A., Patton, J., Murphy, J.J., Boyle, L. Peripartum health and welfare of Holstein–Friesian cows in a confinement-TMR system compared to a pasture-based system. *Anim. Welfare*. 2009. 18, 467-476.
- Olszensvski, F. T.; Silva Jr, V. P.; Meireles, S.; Leis, C. M.; Lenzi, F. S.; Soares, S. R. Avaliação do ciclo de vida da produção de leite em mesorregiões de Santa Catarina. *2º Congresso Brasileiro em Gestão de Ciclo de Vida em Produtos e Serviços*. Florianópolis, SC, Novembro, 2010.
- Opio, C., Gerber, P., Mottet, A., Falcucci, A., Tempio, G., MacLeod, M., Vellinga, T., Henderson, B. & Steinfield, H. *Greenhouse gas emissions from ruminant supply chains – A global life cycle assessment*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome. 2013.
- Ortega, E., Anami, M., Diniz, G. Certification of food products using emergy analysis. *Proceedings of 3rd International Workshop Advances in Energy Studies*, Porto Venere, Itália. 2002. 227-237.
- Ortega, E., Cavalett, O., Bonifácio, R., Watanabe, M. Brazilian soybean production: emergy analysis with an expanded scope. *Bulletin of Science, Technology & Society*. 2005. 25, 323-334.

- Patton, J., Murphy, J.J., Butler, M. Comparison of total mixed ration and pasture feeding systems – Irish dairying new thinking for challenging times (Moorepark Open Day 2009), Teagasc. 2009. 107-109.
- Pereira, C. L. F. Avaliação da Sustentabilidade Ampliada de Produtos Agroindustriais. Estudo de caso: Suco de Laranja e Etanol. Tese de Doutorado. Engenharia de Alimentos. UNICAMP. Campinas, 2008.
- Pereira, L. G. Análise multiescala multicritério do desempenho energético-ambiental brasileiro. Tese de Doutorado. Engenharia de Alimentos. UNICAMP. Campinas, 2012.
- Ponchio, L. A. Produtividade, custo e lucro na produção de leite no Brasil. Dissertação de mestrado em Economia aplicada. USP. Escola superior de Agricultura “Luiz de Queróz”. Piracicaba-SP, 2006.
- Primavesi, O., Berndt. A., Lima, M. A. De, Frighetto, R. T. S., demarchi, J. J. A. De A., Pedreira, M. Dos s. (2012) Produção de gases de efeito estufa em sistemas agropecuários: Bases para inventário de emissão de metano por ruminantes. In: Lima, M. A., Boddey, R. M., Alves, B. J. R., Machado, P. L. O. De A., Urquiaga, S. (Edrs). Estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa na agropecuária brasileira. Brasília, DF: Embrapa p. 239-70.
- Primavesi, O.; Frighetto, R. T. S.; Pedreira, M. S. Lima, M. A.; Berchielli, T. T.; Barbosa, P. F. Metano entérico de bovinos leiteiros em condições tropicais brasileiras. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília. 2004. v.39, n.3, p.277-283.
- Pulselli, F. M.; Coscieme, L.; Neri, L.; Regoli, P.C.S., Lemmi, A.; Bastianoni. The world economy in a cube: A more rational structural representation of sustainability. *Global Environmental Change*. 2015. 35, 41-51
- Pulselli, F.M., Coscieme, L., Bastianoni, S. Ecosystem services as a counterpart of energy flows to ecosystems. *Ecol. Modell.* 2011. 22, 2924-2928.
- Pulselli, R.M., Pulselli, F.M., Rustici, M. *Emergy accounting of the Province of Siena: towards a thermodynamic geography for regional studies. Journal of Environmental Management*. 2008. 86, 342-353.
- Kitamura, P. C. Agricultura sustentável no Brasil. Avanços e perspectivas. *Ciência & Ambiente*, 2003. 7-28.
- Rivera, A.R.; Berchielli, T.T.; Messana, J.D.; Velasquez, P.T.; Franco, A.V.M.; Fernandes, L.B. Fermentação ruminal e produção de metano em bovinos alimentados com feno de capim-tifton 85 e concentrado com aditivos. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 2010. v.39, p.617-624.
- Roer, A-G., Johansen, A., Bakken, A. K., Daugstad, K., Fystro, G., Strømmanna, A. H. (2013). Environmental impacts of combined milk and meat production in Norway according to a life cycle assessment with expanded system boundaries. *Livestock Science*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2013.05.004>
- Rótolo, G. C., Charlón, V., Franzese, P. P. “Energy Accounting Of An Integrated Grazing-Milking System In Argentina’s Pampas.”, Sixth biennial energy evaluation and research conference”. January 14 through January 16, 2010 Gainesville, Florida.
- Rotz, C. A.; Soder, K. J.; Skinner, R. H.; Dell, C. J.; Kleinman, P. J.; John P. Schmidt, J. P.; Bryant, R. B. Grazing Can Reduce the Environmental Impact of Dairy Production Systems. *Plant Management Network*. 2009.
- Rotz, C.A., Montes, F., Chianese, D.S. The carbon footprint of dairy production systems through partial life cycle assessment. *J. Dairy Sci.* 2010. 93, 1266-1282.
- Sevegnani, F.; Almeida, C. M. V. B. ; Giannetti B. F.; Bonilla, S. H. . Environmental Accounting of ABC Paulista Using the Energy Synthesis. In: 3rd International Workshop

- Advances in Cleaner Production, 2011, São Paulo. Conference Proceedings. São Paulo, 2011.
- Shibata, M; Terada, F. Factors affecting methane production and mitigation in ruminants. In: Review article. Animal Science Journal. 2010. 81, 2-10.
- Shortall, O. K., Barnes, A. P. Greenhouse gas emissions and the technical efficiency of dairy farmers. Ecological Indicators. 2013. 29. 478-488.
- Silva, F. D. V.; Carvalho, R. M.; Campos, R. T.. Eficiência e rentabilidade da produção de leite no estado do Ceará. In: VII Encontro Economia do Ceará em Debate, 2011, Fortaleza. VII Encontro Economia do Ceará em Debate. Fortaleza, CE: IPECE, 2011.
- Sjaunja, L. O., Baevre, L., Junkkarinen, L., Pedersen, J., Setälä, J. (1990). A Nordic proposal for an energy corrected milk (ECM) formula. Proceedings of the 27th Biennal Session of the International Committee for Animal Recording (ICAR) (pp. 156-157). Paris, France: EAAP Publication.
- Slesser, M. Energy Analysis Workshop on Methodology and Conventions. IFIAS, Stockholm, Sweden. 1974.
- Souza, A. M. Sustentabilidade e viabilidade econômica de um projeto de microdestilaria de álcool combustível em um grupo de agricultores do assentamento gleba XV de Novembro. Tese de doutorado. Unicamp. Campinas-SP, 2010.
- Souza, R. P.; Buainain, A. M. A competitividade da producao de leite da agricultura familiar: os limites da exclusão. Estudos Sociedade e Agricultura, Rio de Janeiro. 2013. 21, 308-331.
- Sweeney, S., Cohen, D., King, Brown, M. Creation of a Global Energy Database for standardized national energy synthesis. In Bardi, E. et al (eds.) Energy Synthesis 4: Proceedings of the 4th Biennial Energy Research Conference, Gainesville, FL, pp. 23.1-23.18. 2007.
- Teixeira, M. P. R. Contabilidade ambiental emergética: uma análise comparativa entre sistemas de produção leiteira. Dissertação de mestrado em administração. Universidade Federal de Lavras. Lavras-MG, Brasil. 2011.
- Thoma, G. ; Popp, J.; Shonnard, D.; Nutter, D, Matlock, M.; Ulrich, R.; Kellogg, W.; Kim, D. S.; Neiderman, Z.; Nathan Kemper, N.; Adom, F.; East, C. Regional analysis of greenhouse gas emissions from USA dairy farms: A cradle to farm-gate assessment of the American dairy industry circa 2008. International Dairy Journal. 2013. 31. S29-S40.
- Thoma, G.; Popp, J.; Nutter, D.; Shonnard, D.; Ulrich, R.; Matlock, M.; Kim, D. S.; Neiderman, Z.; Kemper, N.; East, C.; Adom, F.: Greenhouse gas emissions from milk production and consumption in the United States: A cradle-to-grave life cycle assessment circa 2008. International Dairy Journal xxx. 2012. 1-12.
- Thomassem, M. A.; Boer, I. J. M.: Evaluation of indicators to assess the environmental impact of dairy production systems. Agriculture, Ecosystems and Environment. 2005. 111, 185-199
- Thomassen M. A., Dalgaard, R., Heijungs, R., De Boer, I. J. M. Attributional and consequential LCA of milk production. Int J Life Cycle Assess. 2008. 13, 339-349.
- Tiezzi, E., Marchettini, N. Che Cos'è Lo Sviluppo Sostenibile? Le basi scientifiche sostennibili e i guasti del pensiero único. Donzelli Editore, Roma, Itália. 1999.
- Ulgiati, S., Ascione, M., Bargigli, S., Cherubini, F., Franzesea, P.P., Raugeid, M., Viglia, S., Zucaroa, A.: Material, energy and environmental performance of technological and social systems under a Life Cycle Assessment perspective. Eco. Mod. 2011. 222, 176-189.

- Ulgiati, S., Brown, M.T. Labor and services as information carriers in energy-LCA accounting. *Journal of Environmental Accounting and Management*. 2014. 2, 160-167
- USDA. United States Department of Agriculture. 2015. Brazil. Dairy and Products Annual. Annual Dairy Report. Disponível em: http://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Dairy%20and%20Products%20Annual_Brasilia_Brazil_10-20-2015.pdf. Acessado em 25/03/2016
- USDA. United States Department of Agriculture 2015a. Disponível em: <http://usda.mannlib.cornell.edu/usda/current/dairy-market/dairy-market-12-17-2015.pdf>
- Van der Werf, H.M.G., Kanyarushoki, C., Corson, M.S. An operational method for the evaluation of resource use and environmental impacts of dairy farms by life cycle assessment. *J. Environ. Manage.* 2009. 90, 3643-3652.
- Vergé, X. P. C.; Maxime, D.; Dyer, J. A.; Desjardins, R. L.; Arcand, Y.; Vanderzaag, A. Carbon footprint of Canadian dairy products: Calculations and issues. *J. Dairy Sci.* 2013. 96, 6091-6104.
- Viana, G.; Ferras, R. P. R. A cadeia produtiva do leite: um estudo sobre a organização da cadeia e sua importância para o desenvolvimento regional. *Revista Capital Científico do Setor de Ciências Sociais Aplicadas* Vol. 5 nº1 Jan/ Dez. 2007
- Vigne, M. ; Peyraud, J. L. ; Lecomte, P. ; Corson, M. S. ; Wilfart, A. "Energy evaluation of contrasting dairy systems at multiple levels". *Journal of Environmental Management*. 2013. 129, 44-53.
- Vigne, M.; Martin, O.; Faverdin, P.; Peyraud, J. L. Comparative uncertainty analysis of energy coefficients in energy analysis of dairy farms from two French territories. *Journal of Cleaner Production*. 2012. 37, 185-191.
- von BERTALANFFY, L. *General Systems Theory*. George Braziller, New York. 1968.
- Weiss, F.; Leip, A. Greenhouse gas emissions from the EU livestock sector: A life cycle assessment carried out with the CAPRI model. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2012. 149, 124-134.
- Weiss-Altaner, E. R. Rural exodus in the third world: a Malthusian crisis? *History of European Ideas*. 1983. Vol. 4, nº2. 183-201.
- Weissteiner, C. J.; Boschetti, M.; Böttcher, K.; Carrara, P.; Bordogna, G.; Brivi, P. A. Spatial explicit assessment of rural land abandonment in the Mediterranean area. *Global and Planetary Change*. 2011. 79, 20-36.
- World Commission on Environment and Development (WCED). 1987. *Our Common Future*. Oxford University Press, Oxford.
- Yan, M. J.; Humphreys, J.; Holden, N. M. An evaluation of life cycle assessment of European milk production. *Journal of Environmental Management*. 2011. 92, 372-379.
- Zehetmeier, M.; Gandorfer, M.; Hoffmann, H.; Müller, U. K.; de Boer, I.J.M.; Heißenhuber, A. The impact of uncertainties on predicted greenhouse gas emissions of dairy cow production systems. *Journal of Cleaner Production*. 2014. 73, 116-124.
- Zoccal, R., Alves, E. R., Gasques, J. G. (2012) Diagnóstico da Pecuária de Leite Nacional. Estudo Preliminar (Preliminary Report): Contribuição para o Plano Pecuário 2012. Disponível em: http://www.cnplg.embrapa.br/nova/Plano_Pecuario_2012.pdf

9. ADENDOS

9.1. Apêndice A. Renovabilidades parciais utilizadas neste estudo.

Item	% renovável	Observação
Sol	100	Renovável por definição
Chuva	100	Renovável por definição
Vento	100	Renovável por definição
Água	50 a 85	Estimativa dos autores baseada no volume anual de carga das bacias hidrográficas regionais.
Perda de solo	0	Não renovável por definição
Diesel	0	a
Aço	0	a
Aço inoxidável	0	a
Lime	0	a
Ração	0	a
Sementes	0	a
Mudas	0	a
Eletricidade	0	a
Concreto	0	a
Mão de obra	15 a 90	O índice de renovabilidade do Brasil (15%, de Sweeney et al. 2007) é considerado como renovabilidade parcial mínima para a mão de obra. O valor de 90% considerado como máximo foi assumido pelos autores.
Emergia por PIB do Brasil em 2013	15.2	Sweeney et al. (2007)

^a Materiais de economia são não renováveis porque a escala de tempo de sua produção é muito grande e está fora da janela de interesse desta pesquisa.

9.2. Apêndice B: Dados para a análise de cluster.

Memorial de cálculo de cada sistema de produção analisado neste estudo.

Prop	Cidade	L _{leite} /ha _{pasto} (ano)	UA/pasto	L _{leite} /cabeça (dia)	Lleite/MO (dia)	kWh/L _{leite} (ano)	kg _{Ração} /UA	Raça*
1	Ouro Fino	1095	0.6	5.2	60	0.14	0.00	1
2	Ouro Fino	1643	1.1	4.3	90	0.03	0.00	1
3	Ipuiuna	2117	1.2	4.8	29	0.17	0.00	1
4	Piranguinho	2565	1.4	5.2	130	0.05	0.00	1
5	Bueno Brandão	1270	0.6	5.7	80	0.10	0.00	1
6	Monte Sião	1825	1.1	4.4	38	0.08	0.00	1
7	Inconfidentes	840	0.5	4.6	12	0.21	0.00	1
8	Borda da Mata	1241	0.7	4.9	17	0.09	0.00	1
9	Tocos do Moji	1095	0.7	4.5	23	0.09	0.00	1
10	Machado	2636	1.2	5.9	65	0.08	0.00	1
11	Silvianópolis	3285	1.4	6.4	68	0.04	0.00	1
12	Poço Fundo	1734	0.9	5.6	48	0.05	0.00	1
13	Careaçu	1338	0.7	5.0	18	0.12	0.00	1
14	Pouso Alegre	1217	1.0	3.3	25	0.22	0.00	1
15	Conceição dos Ouros	1643	1.0	4.5	18	0.37	0.00	1
16	Conceição dos Ouros	1643	0.9	5.0	45	0.18	0.00	1
17	Bom Repouso	1261	0.6	5.4	19	0.17	0.00	1
18	Congonhal	1095	0.6	4.8	24	0.21	0.00	1
19	Divisa Nova	3194	1.3	7.0	70	0.10	0.00	1
20	Divisa Nova	830	0.5	5.0	33	0.05	0.00	1
21	Areado	2636	1.2	5.9	33	0.11	0.00	1
22	Brasópolis	2906	1.2	6.7	108	0.04	0.00	1
23	Piranguçu	1255	0.8	4.6	28	0.12	0.00	1
24	São G. do Sapucaí	1991	0.8	6.7	30	0.10	0.00	1
25	Munhós	1141	0.6	5.0	13	0.19	0.00	1
26	Caldas	1141	0.8	4.2	25	0.26	0.00	1
27	Caldas	2167	1.2	5.0	48	0.07	0.00	1
28	Itajubá	1263	0.6	5.6	23	0.12	0.00	1
29	Machado	1095	0.6	5.0	15	0.20	0.00	1
30	São Lourenço	811	0.3	6.7	40	0.14	0.00	1
31	Três Corações	2555	1.2	6.1	70	0.09	0.00	1
32	Três Corações	913	0.4	7.1	25	0.19	0.00	1
33	Varginha	1643	0.8	5.6	45	0.19	0.00	1
34	Baependi	1404	0.8	5.0	25	0.12	0.00	1
35	Baependi	1659	0.8	5.6	50	0.09	0.00	1
36	Caxambu	2738	1.3	6.0	15	0.20	0.00	1
37	Campos Gerais	2433	0.9	7.2	90	0.05	0.00	1
38	Andrelândia	1643	0.7	6.4	45	0.09	0.00	1
39	Andrelândia	3484	1.7	5.5	53	0.10	0.00	1
40	Cruzília	697	0.4	4.7	42	0.13	0.00	1
41	Liberdade	966	0.5	5.6	23	0.15	0.00	1
42	Liberdade	1022	0.6	4.7	14	0.23	0.00	1

43	Andradas	1034	0.4	7.1	85	0.09	0.00	1.
44	Jacutinga	1912	0.8	6.5	55	0.09	0.00	1
45	Camanducaia	1327	0.8	4.4	20	0.17	0.00	1
46	Boa Esperança	1095	0.5	5.5	33	0.19	0.00	1
47	Monte Sião	3650	1.0	10.0	67	0.10	0.16	2
48	Ipuiuna	3650	1.2	8.2	90	0.18	0.15	2
49	Silvianópolis	8213	2.1	10.6	180	0.14	0.14	2
50	Pouso Alegre	3006	0.9	9.3	70	0.26	0.15	2
51	Ouro Fino	3520	1.0	12.3	90	0.22	0.31	3
52	Ouro Fino	3152	0.8	10.6	95	0.13	0.22	2
53	Ouro Fino	6441	1.4	12.5	300	0.13	0.04	2
54	Santana da Vargem	5171	1.3	10.6	85	0.14	0.16	2
55	Bueno Brandão	2129	0.7	8.8	35	0.22	0.02	2
56	Machado	7300	2.1	9.4	53	0.12	0.16	2
57	Jacutinga	4212	1.0	11.5	75	0.15	0.09	2
58	Itajubá	3285	1.0	9.0	90	0.10	0.18	2
59	S. R. Sapucaí	9125	1.9	13.3	133	0.04	0.10	2
60	S. R. Sapucaí	10108	2.3	12.0	180	0.07	0.08	2
61	Piranguinho	6489	2.0	8.9	40	0.25	0.25	2
62	Alfenas	10950	2.5	12.0	180	0.05	0.17	2
63	Careaçu	10139	2.9	9.6	250	0.08	0.19	2
64	Conceição R V	3802	0.8	12.5	125	0.12	0.20	2
65	Ilicéia	10544	2.3	12.4	130	0.10	0.12	2
66	Campestre	4745	1.0	13.0	65	0.15	0.25	2
67	Caldas	5214	1.3	10.7	150	0.07	0.24	2
68	Caldas	4360	1.1	10.8	215	0.08	0.11	2
69	Pouso Alegre	9733	2.5	10.7	160	0.12	0.09	2
70	Virgínia	3833	0.9	12.4	105	0.08	0.19	2
71	Carmo R. Claro	6205	1.0	17.3	283	0.04	0.30	3
72	Areado	10950	2.5	12.0	60	0.22	0.29	2
73	Liberdade	8922	3.0	8.1	110	0.09	0.16	2
74	Três Corações	4056	0.9	12.5	100	0.09	0.32	2
75	São Lourenço	5475	1.0	15.8	150	0.05	0.16	2
76	Lambari	7503	1.3	16.1	185	0.05	0.19	2
77	Carmo de Minas	16060	2.1	21.0	550	0.03	0.21	2
78	Carmo de Minas	9605	2.0	13.2	167	0.04	0.32	2
79	Campos Gerais	8803	1.9	12.8	205	0.06	0.17	2
80	Bom Jardim de Minas	6570	1.6	11.5	180	0.05	0.18	2
81	Andrelândia	7300	1.4	14.3	167	0.03	0.16	2
82	Itanhandu	9733	2.5	10.7	160	0.06	0.28	2
83	Andradas	9413	1.8	14.4	245	0.03	0.15	2
84	Camanducaia	4056	1.2	9.1	100	0.07	0.32	2
85	Elói Mendes	4314	1.1	10.4	87	0.06	0.34	2
86	Boa esperança	9125	2.1	11.9	250	0.05	0.23	2
87	Itanhandu	7414	1.3	16.0	217	0.05	0.37	3
88	Borda da Mata	0	0	20.0	265	0.06	0.49	3
89	Inconfidentes	0	0	24.0	150	0.18	0.39	3

90	Machado	0	0	24.0	275	0.09	0.45	3
91	Carmo de Minas	0	0	31.8	583	0.04	0.43	3
92	Pouso Alegre	0	0	40.6	325	0.04	0.63	3

UA: unidade animal; MO: mão de obra

* A ponderação da raça foi assim estabelecida: 1 para vacas mestiças, com reduzida genética para produção de leite; 2 para vacas cruzadas, ainda com genética para produção de leite; 3 vacas puro de origem (PO), especializadas em produção de leite.

9.3. Apêndice C: Memorial de cálculo de cada sistema de produção.

Memorial de cálculo do sistema de produção de leite G1 (Semi-intensivo)

Nota 1. Sol

Radiação solar = 16 MJ / m² / dia (Atlas solarimétrico)

Albedo = 20%

Conversão = (MJ/m²/dia) * (365 dias/ano) * (albedo) * (10.000 m² / ha)

Fluxo de energia = 4,67 E13 J / ha / ano

Nota 2. Chuva

Pluviosidade = 1,6 m³ / m² / ano (<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliesp10a/chuesp.html>)

Energia livre de Gibbs = 5.000 J / kg (Odum, 1996)

Densidade da água = 1.000 kg / m³

Conversão = (m³ / m² / ano) * (J / kg) * (kg / m³) * (10.000 m² / ha)

Fluxo de energia = 8,00 E10 J / ha / ano

Nota 3. Vento

Densidade do ar = 1,3 kg / m³

Velocidade média anual = 4,7 m / s (<http://www.cresesb.cepel.br/publicações/index.php?task=livro&cid=1>)

Vento geotrópico = 2,82 m / s (60% da média anual de velocidade)

Coeficiente de arraste = 0,001 (adimensional)

Conversão = (kg / m³)*(m / s)³ * 0,001 * (10.000 m² / ha) * (3,15 E7 s / ano)

Fluxo de energia = 9,20 E9 J / ha / ano

Nota 4 e 6. Água

Consumo: O volume de água consumido pelos animais foi baseado na normativa 61, que estipula 100 L de agua para cabeça e mais 6 L para cada L de leite produzido.

Cálculo = (560 animais x 100 L) + (4.400L_{leite} x 6 L(agua))

Cálculo = 9.692.000 L_{água} / ano

Conversão = ((L_{água} / ano) / 182 ha) * 1.000 g / L_{água}

Fluxo de massa = 5,33 E7 g / ha / ano

Nota 5. Perda de solo

Pasto trabalhado

Perda de solo em pastagem = 3,4 t / ha / ano (Informe Agropecuário. 1992. Conservação de Solo e meio Ambiente. Vol. 16, nº176. EPAMIG.Belo Horizonte-MG.)

Matéria orgânica = 0,04 kg_{m.o.} / kg_{solo}

Energia da m. o. = 5.400 kcal / kg_{m.o.}

Conversão = (kg_{solo} / ha / ano) * (kg_{m.o.} / kg_{solo}) * (kcal / kg_{m.o.}) * (4.186 J / kcal) *100 ha_{pasto} / 182 ha

Fluxo de energia = 1,82 E09 J / ha / ano

Plantação de milho

Perda em plantaçāo de milho = 8 t / ha / ano (Informe Agropecuário. 1992. Conservação de Solo e meio Ambiente. Vol. 16, nº176. EPAMIG.Belo Horizonte-MG.)

Matéria orgânica = 0,04 kg_{m.o.} / kg_{solo}

Energia da m. o. = 5.400 kcal / kg_{m.o.}

Conversão = (kg solo / ha / ano) * (kg m.o. / kg solo) * (kcal / kg m.o.) * (4.186 J / kcal) * 65 ha milho) / 182 ha

Fluxo de energia = 2,58 E09 J / ha / ano

Construções

Área construída = 2.900 m²

Volume = 2.900 m² * 0,3 m = 870 m³

Conversão = (m³) * (kg m.o. / kg solo) * (1,2 g / cm³) * (1 E6 cm³ / m³) * (4.186 J / kcal) * (5.400 kcal / kg) / 182 ha / 30 anos

Fluxo de energia = 1,73 E08 J / ha / ano

Total de perda de solo: 4,58 E09 J / ha / ano

Nota 7. Diesel

Consumo = 19.000 Litros / ano (Informação do pecuarista)

Conversão = ((L / ano) * (0,85 kg / L)) * (10.000 kcal / kg) * (4.186 J / kcal) / 182 ha

Fluxo de energia = 3,71 E09 J / ha / ano

Nota 8. Gasolina

Consumo = 360 L / ano (Informação do pecuarista)

Conversão = ((L / ano) * (8.325 kcal / L) * (4.186 J / kcal)) / 182 ha

Fluxo de energia = 6,89 E07 J / ha / ano

Nota 9. Aço

Massa dos equipamentos = 2.800 kg (trator) + 800 kg (camionete) + 1.100 kg (arado) + 1.750 kg (vagão misturador) + 752 kg (semeadora) + 653 kg (aplicador de fertilizantes) + 1.700 kg (grade) + 24 kg (2 bombas d'água).

Estrutura da cobertura = (20 kg / m²) * (2.500 m²) = 50.000 kg

Cobertura = (9,31 kg / m²) * (2.500 m²) = 23.275 kg

Massa Total = 828.360 kg

Conversão = (kg) * (1000 g / kg) / (182 ha) / (30 anos)

Fluxo de massa = 15.171,42 g / ha / ano

Nota 10. Aço Inox

Massa = 2560 kg (1 tanque de expansão de 1000 L e 1 tanque de 3000 L) + 1080 kg (encanamentos - estimado como a mesma massa do menor tanque de expansão)

Massa Total = 3640 kg

Conversão = (kg) * (1000 g / kg) / (182 ha) / (30 anos)

Fluxo de massa = 672 g / ha / ano

Nota 11. Calcário

Consumo = 82.000 kg

Conversão = (kg) * (1000 g / kg) / (182 ha)

Fluxo de massa = 450.549, 45 g / ha / ano

Nota 12. Nitrogênio

Consumo = 1.720 kg

Conversão = (kg) * (1000 g / kg) / (182 ha)

Fluxo de massa = 4,45 E03 g / ha / ano

Nota 13. Fósforo

Consumo = 6.020 kg

Conversão = (kg) * (1000 g / kg) / (182 ha)

Fluxo de massa = 3,31 E04 g / ha / ano

Nota 14. Potássio

Consumo = 3.440 kg

Conversão = (kg) * (1000 g / kg) / (182 ha)

Fluxo de massa = 1,89 E04 g / ha / ano

Nota 15. Uréia

Consumo = 25.000 kg

Conversão = (kg) * (1000 g / kg) / (182 ha)

Fluxo de massa = 137.362,64 g / ha / ano

Nota 16. Ração

Consumo = 332.150 kg

Conversão = (kg) * (1000 g / kg) / (182 ha)

Fluxo de massa = 1.825.000 g / ha / ano

Obs: Foi considerado 55% desta ração como milho e 45% como farelo de soja)

Fluxo de massa (milho) = 1.003.750 g / ha / ano

Fluxo de massa (farelo de soja) = 821.250 g / ha / ano

Nota 17. Sementes

Consumo = 1430 kg (milho) + 4250 kg (aveia)
 Conversão = (kg) * (1000 g / kg) / (182 ha)
 Fluxo de massa = 31.208,79 g / ha / ano

Nota 18. Mudas

Consumo = 0 kg

Nota 19. Eletricidade

Consumo = 51.400 kWh
 Conversão = (kWh) * (3,6 E06 J / kWh) / (182 ha)
 Fluxo de energia = 1,02 E09 J / ha / ano

Nota 20. Concreto

Área dos animais = 2.500 m²
 Massa por m² = 178 kg / m²
 Massa (área dos animais) = 445.000 kg
 Área das casas = 500 m²
 Massa por m² = 378 kg / m²
 Massa (área das casas) = 189.000 kg
 Massa total = 634.000 kg
 Conversão = (kg) * (1.000 g / kg) / (30 anos) / (182 ha)
 Fluxo de massa = 1,16 E05 g / ha / ano

Nota 21. Mão de obra

Nº de funcionários = 8
 Energia por funcionário = 2.500 kcal / dia
 Conversão = (funcionário) * (kcal / dia) * (287 dias / ano) * (4186 J / kcal) / 182 ha
 Fluxo de energia = 1,32 E08 J / ha / ano

Nota 22. Serviços

Custos = 643.418,33 R\$
 Conversão = (R\$) / (2,2 US\$) / (182 ha)
 Fluxo Monetário = 1,61 E03 US\$ / ha / ano

Memorial de cálculo do sistema de produção de leite G2 (Semi-intensivo).

Nota 1. Sol

Radiação solar = 16 MJ / m² / dia (Atlas solarimétrico)
 Albedo = 20%
 Conversão = (MJ/m²/dia) * (365 dias/ano) * (albedo) * (10.000 m² / ha)
 Fluxo de energia = 4,67 E13 J / ha / ano

Nota 2. Chuva

Pluviosidade = 1,6 m³ / m² / ano (<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliesp10a/chuesp.html>)
 Energia livre de Gibbs = 5.000 J / kg (Odum, 1996)
 Densidade da água = 1.000 kg / m³
 Conversão = (m³ / m² / ano) * (J / kg) * (kg / m³) * (10.000 m² / ha)
 Fluxo de energia = 8,00 E10 J / ha / ano

Nota 3. Vento

Densidade do ar = 1,3 kg / m³
 Velocidade média anual = 4,7 m / s (<http://www.cresesb.cepel.br/publicações/index.php?task=livro&cid=1>)
 Vento geotrópico = 2,82 m / s (60% da média anual de velocidade)
 Coeficiente de arraste = 0,001 (adimensional)
 Conversão = (kg / m³)*(m / s)³ * 0,001 * (10.000 m² / ha) * (3,15 E7 s / ano)
 Fluxo de energia = 9,20 E9 J / ha / ano

Nota 4 e 6. Água

Consumo: O volume de água consumido pelos animais foi baseado na normativa 61, que estipula 100 L de água para cabeça e mais 6 L para cada L de leite produzido.

Cálculo = (88 animais x 100 L) + (360L_{leite} x 6 L(água))

Cálculo = 797.200 L água / ano

Conversão = (L água / ano) / 19 ha) * 1.000 g / Lágua

Fluxo de massa = 4,20 E7 g / ha / ano

Nota 5. Perda de solo

Pasto trabalhado

Perda de solo em pastagem = 3,4 t / ha / ano (Informe Agropecuário. 1992. Conservação de Solo e meio Ambiente. Vol. 16, nº176. EPAMIG.Belo Horizonte-MG.)

Matéria orgânica = 0,04 kg m.o. / kg solo

Energia da m. o. = 5.400 kcal / kg m.o.

Conversão = $(\text{kg solo} / \text{ha} / \text{ano}) * (\text{kg m.o.} / \text{kg solo}) * (\text{kcal} / \text{kg m.o.}) * (4.186 \text{ J} / \text{kcal}) * 13 \text{ ha pasto} / 19 \text{ ha}$

Fluxo de energia = 1,94 E09 J / ha / ano

Plantação de milho e cana de açucar

Perda em plantação de milho = 8 t / ha / ano (Informe Agropecuário. 1992. Conservação de Solo e meio Ambiente. Vol. 16, nº176. EPAMIG.Belo Horizonte-MG.)

Matéria orgânica = 0,04 kg m.o. / kg solo

Energia da m. o. = 5.400 kcal / kg m.o.

Conversão = $(\text{kg solo} / \text{ha} / \text{ano}) * (\text{kg m.o.} / \text{kg solo}) * (\text{kcal} / \text{kg m.o.}) * (4.186 \text{ J} / \text{kcal}) * (4 + 1 \text{ ha milho/cana}) / 19 \text{ ha}$

Fluxo de energia = 1,9 E09 J / ha / ano

Construções

Área construída = 300 m²

Volume = 300 m² * 0,3 m = 90 m³

Conversão = $(\text{m}^3) * (\text{kg m.o.} / \text{kg solo}) * (1,2 \text{ g} / \text{cm}^3) * (1 \text{ E}6 \text{ cm}^3 / \text{m}^3) * (4.186 \text{ J} / \text{kcal}) * (5.400 \text{ kcal} / \text{kg}) / 19 \text{ ha} / 30 \text{ anos}$

Fluxo de energia = 1,71 E08 J / ha / ano

Total de perda de solo = 4,02 E09 J / ha / ano

Nota 7. Diesel

Consumo = 2.000 Litros / ano (Informação do pecuarista)

Conversão = $(\text{L} / \text{ano}) * (0,85 \text{ kg} / \text{L}) * (10.000 \text{ kcal} / \text{kg}) * (4.186 \text{ J} / \text{kcal}) / 19 \text{ ha}$

Fluxo de energia = 3,75 E09 J / ha / ano

Nota 8. Gasolina

Consumo = 200 L / ano (Informação do pecuarista)

Conversão = $(\text{L} / \text{ano}) * (8.325 \text{ kcal} / \text{L}) * (4.186 \text{ J} / \text{kcal}) / 19 \text{ ha}$

Fluxo de energia = 3,67 E08 J / ha / ano

Nota 9. Aço

Massa dos equipamentos = 1.630 kg (trator) + 800 kg (camionete) + 1.100 kg (arado) + 752 kg (semeadora) + 653 kg (aplicador de fertilizantes) + 1.700 kg (grade) + 6 kg (1 bombas d'água).

Massa Total = 6843 kg

Conversão = $(\text{kg}) * (1000 \text{ g} / \text{kg}) / (19 \text{ ha}) / (30 \text{ anos})$

Fluxo de massa = 1,2 E04 g / ha / ano

Nota 10. Aço Inox

Massa = 324 kg (1 tanque de expansão de 400 L) + 324 kg (encanamentos - estimado como a mesma massa do tanque de expansão)

Massa Total = 648 kg

Conversão = $(\text{kg}) * (1000 \text{ g} / \text{kg}) / (19 \text{ ha}) / (30 \text{ anos})$

Fluxo de massa = 1,14 E03 g / ha / ano

Nota 11. Calcário

Consumo = 22.000 kg

Conversão = $(\text{kg}) * (1000 \text{ g} / \text{kg}) / (19 \text{ ha})$

Fluxo de massa = 1,16 E06 g / ha / ano

Nota 12. Nitrogênio

Consumo = 232 kg

Conversão = $(\text{kg}) * (1000 \text{ g} / \text{kg}) / (19 \text{ ha})$

Fluxo de massa = 1,22 E04 g / ha / ano

Nota 13. Fósforo

Consumo = 812 kg

Conversão = $(\text{kg}) * (1000 \text{ g} / \text{kg}) / (1 \text{ ha})$

Fluxo de massa = 4,27 E04 g / ha / ano

Nota 14. Potássio

Consumo = 464 kg

Conversão = $(\text{kg}) * (1000 \text{ g} / \text{kg}) / (19 \text{ ha})$

Fluxo de massa = 2,44 E04 g / ha / ano

Nota 15. Uréia

Consumo = 2.800 kg
 Conversão = (kg) * (1000 g / kg) / (19 ha)
 Fluxo de massa = 1,47 E05 g / ha / ano

Nota 16. Ração

Consumo = 11.000 kg
 Conversão = (kg) * (1000 g / kg) / (19 ha)
 Fluxo de massa = 578.950 g / ha / ano
 Obs: Foi considerado 55% desta ração como milho e 45% como farelo de soja)
 Fluxo de massa (milho) = 3,18 E05 g / ha / ano
 Fluxo de massa (farelo de soja) = 2,61 E05 g / ha / ano

Nota 17. Sementes

Consumo = 40 kg (milho)
 Conversão = (kg) * (1000 g / kg) / (19 ha)
 Fluxo de massa = 2,11 E03 g / ha / ano

Nota 18. Mudas

Consumo = 20.000 kg
 Conversão = (kg) * (1000 g / kg) / (19 ha)
 Fluxo de massa = 1,05 E06 g / ha / ano

Nota 19. Eletricidade

Consumo = 9.400 kWh
 Conversão = (kWh) * (3,6 E06 J / kWh) / (19 ha)
 Fluxo de energia = 1,78 E09 J / ha / ano

Nota 20. Concreto

Área dos animais = 120 m²
 Massa por m² = 178 kg / m²
 Massa (área dos animais) = 21.360 kg
 Área das casas = 180 m²
 Massa por m² = 378 kg / m²
 Massa (área das casas) = 68.040 kg
 Massa total = 634.000 kg
 Conversão = (kg) * (1.000 g / kg) / (30 anos) / (19 ha)
 Fluxo de massa = 1,57 E05 g / ha / ano

Nota 21. Mão de obra

Nº de funcionários = 2
 Energia por funcionário = 2.500 kcal / dia
 Conversão = (funcionário) * (kcal / dia) * (365 dias / ano) * (4186 J / kcal) / 19 ha
 Fluxo de energia = 4,02 E08 J / ha / ano

Nota 22. Serviços

Custos = 44.370,47 R\$
 Conversão = (R\$) / (2,2 US\$) / 19 ha
 Fluxo Monetário = 1,03 E03 US\$ / ha /ano

Memorial de cálculo do sistema de produção de leite G3 (Extensivo).

Nota 1. Sol

Radiação solar = 16 MJ / m² / dia (Atlas solarimétrico)
 Albedo = 20%
 Conversão = (MJ/m²/dia) * (365 dias/ano) * (albedo) * (10.000 m² / ha)
 Fluxo de energia = 4,67 E13 J / ha / ano

Nota 2. Chuva

Pluviosidade = 1,6 m³ / m² / ano (<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliesp10a/chuesp.html>)
 Energia livre de Gibbs = 5.000 J / kg (Odum, 1996)
 Densidade da água = 1.000 kg / m³
 Conversão = (m³ / m² / ano) * (J / kg) * (kg / m³) * (10.000 m² / ha)
 Fluxo de energia = 8,00 E10 J / ha / ano

Nota 3. Vento

Densidade do ar = 1,3 kg / m³

Velocidade média anual = 4,7 m / s (<http://www.cresesb.cepel.br/publicações/index.php?task=livro&cid=1>)

Vento geotrópico = 2,82 m / s (60% da média anual de velocidade)

Coeficiente de arraste = 0,001 (adimensional)

Conversão = $(\text{kg} / \text{m}^3) * (\text{m} / \text{s})^3 * 0,001 * (10.000 \text{ m}^2 / \text{ha}) * (3,15 \text{ E}7 \text{ s} / \text{ano})$

Fluxo de energia = 9,20 E9 J / ha / ano

Nota 4 e 6. Água

Consumo: O volume de água consumido pelos animais foi baseado na normativa 61, que estipula 100 L de agua para cabeça e mais 6 L para cada L de leite produzido.

Cálculo = $(15 \text{ animais} * 100 \text{ L}) + (33 \text{ L}_{\text{leite}} * 6 \text{ L}(\text{agua}))$

Cálculo = 73.770 L água / ano

Conversão = $((\text{L} \text{ água} / \text{ano}) / 17,35 \text{ ha}) * 1.000 \text{ g} / \text{L}_{\text{água}}$

Fluxo de massa = 4,25 E06 g / ha / ano

Nota 5. Perda de solo

Pasto degradado

Perda de solo em pastagem degradada = 22,4 t / ha / ano (Informe Agropecuário. 1992.

Conservação de Solo e meio Ambiente. Vol. 16, nº176. EPAMIG.Belo Horizonte-MG.)

Matéria orgânica = 0,04 kg m.o. / kg solo

Energia da m. o. = 5.400 kcal / kg m.o.

Conversão = $(\text{kg} \text{ solo} / \text{ha} / \text{ano}) * (\text{kg} \text{ m.o.} / \text{kg} \text{ solo}) * (\text{kcal} / \text{kg} \text{ m.o.}) * (4.186 \text{ J} / \text{kcal}) * 11 \text{ ha}_{\text{pasto}} / 17,35 \text{ ha}$

Fluxo de energia = 1,28 E10 J / ha / ano

Plantação de milho

Perda em plantaçao de milho = 8 t / ha / ano (Informe Agropecuário. 1992. Conservação de Solo e meio Ambiente. Vol. 16, nº176. EPAMIG.Belo Horizonte-MG.)

Matéria orgânica = 0,04 kg m.o. / kg solo

Energia da m. o. = 5.400 kcal / kg m.o.

Conversão = $(\text{kg} \text{ solo} / \text{ha} / \text{ano}) * (\text{kg} \text{ m.o.} / \text{kg} \text{ solo}) * (\text{kcal} / \text{kg} \text{ m.o.}) * (4.186 \text{ J} / \text{kcal}) * (5,5 \text{ ha}_{\text{milho}}) / 19 \text{ ha}$

Fluxo de energia = 2,29 E09 J / ha / ano

Construções

Área construída = 240 m²

Volume = 300 m² * 0,3 m = 72 m³

Conversão = $(\text{m}^3) * (\text{kg} \text{ m.o.} / \text{kg} \text{ solo}) * (1,2 \text{ g} / \text{cm}^3) * (1 \text{ E}6 \text{ cm}^3 / \text{m}^3) * (4.186 \text{ J} / \text{kcal}) * (5.400 \text{ kcal} / \text{kg}) / 17,35 \text{ ha} / 30 \text{ anos}$

Fluxo de energia = 1,50 E08 J / ha / ano

Total de perda de solo = 1,53 E10 J / ha / ano

Nota 7. Diesel

Consumo = 600 Litros / ano (Informação do pecuarista)

Conversão = $(\text{L} / \text{ano}) * (0,85 \text{ kg} / \text{L}) * (10.000 \text{ kcal} / \text{kg}) * (4.186 \text{ J} / \text{kcal}) / 17,35 \text{ ha}$

Fluxo de energia = 1,23 E09 J / ha / ano

Nota 8. Gasolina

Consumo = 0 L / ano

Conversão = $(\text{L} / \text{ano}) * (0,85 \text{ kg} / \text{L}) * (8.325 \text{ kcal} / \text{L}) * (4.186 \text{ J} / \text{kcal}) / 17,35 \text{ ha}$

Fluxo de energia = 0 J / ha / ano

Nota 9. Aço

Massa do trator = $(2.400 \text{ kg}) * (1 \text{ ano} / 8.760 \text{ h}) * (40 \text{ h} / \text{ano}) = 16,46 \text{ kg}$

Massa dos equipamentos = 1.000 kg (camionete) + 6 kg (bomba d'água)

Massa Total = 1.022,46 kg

Conversão = $(\text{kg}) * (1000 \text{ g} / \text{kg}) / (17,35 \text{ ha}) / (30 \text{ anos})$

Fluxo de massa = 1,96 E03 g / ha / ano

Nota 10. Aço Inox

Massa = 0 kg

Conversão = $(\text{kg}) * (1000 \text{ g} / \text{kg}) / (17,35 \text{ ha}) / (30 \text{ anos})$

Fluxo de massa = 0 g / ha / ano

Nota 11. Calcário

Consumo = 1.000 kg

Conversão = $(\text{kg}) * (1000 \text{ g} / \text{kg}) / (17,35 \text{ ha})$

Fluxo de massa = 5,76 E04 g / ha / ano

Nota 12. Nitrogênio

Consumo = 72 kg
 Conversão = (kg) * (1000 g / kg) / (17,35 ha)
 Fluxo de massa = 4,15 E03 g / ha / ano

Nota 13. Fósforo

Consumo = 252 kg
 Conversão = (kg) * (1000 g / kg) / (17,35 ha)
 Fluxo de massa = 1,45 E04 g / ha / ano

Nota 14. Potássio

Consumo = 144 kg
 Conversão = (kg) * (1000 g / kg) / (17,35 ha)
 Fluxo de massa = 8,30 E03 g / ha / ano

Nota 15. Uréia

Consumo = 600 kg
 Conversão = (kg) * (1000 g / kg) / (17,35 ha)
 Fluxo de massa = 3,46 E04 g / ha / ano

Nota 16. Ração

Consumo = 0 kg
 Conversão = (kg) * (1000 g / kg) / (17,35 ha)
 Fluxo de massa = 0 g / ha / ano

Nota 17. Sementes

Consumo = 110 kg (milho)
 Conversão = (kg) * (1000 g / kg) / (17,35 ha)
 Fluxo de massa = 6,34 E03 g / ha / ano

Nota 18. Mudas

Consumo = 0 kg
 Conversão = (kg) * (1000 g / kg) / (17,35 ha)
 Fluxo de massa = 0 g / ha / ano

Nota 19. Eletricidade

Consumo = 2.300 kWh
 Conversão = (kWh) * (3,6 E06 J / kWh) / (17,35 ha)
 Fluxo de energia = 4,77 E08 J / ha / ano

Nota 20. Concreto

Área dos animais = 100 m²
 Massa por m² = 178 kg / m²
 Massa (área dos animais) = 17.800 kg
 Área das casas = 140 m²
 Massa por m² = 378 kg / m²
 Massa (área das casas) = 52.920 kg
 Massa total = 70.720 kg
 Conversão = (kg) * (1.000 g / kg) / (30 anos) / (17,35 ha)
 Fluxo de massa = 1,36 E05 g / ha / ano

Nota 21. Mão de obra

Familiar = 1
 Energia por funcionário = 2.500 kcal / dia
 Conversão = (1 familiar) * (kcal / dia) * (365 dias / ano) * (4186 J / kcal) / 17,35 ha
 Fluxo de energia = 2,20 E08 J / ha / ano
 Tratorista
 Conversão = (1 contratado) * (kcal / dia) * (5 dias / ano) * (4186 J / kcal) / 17,35 ha
 Fluxo de energia = 3,02 E06 J / ha / ano
 Fluxo Total = 2,23 E08 J / ha / ano

Nota 22. Serviços

Custos = 10.061,02 R\$
 Conversão = (R\$) / (2,2 R\$ / US\$) / 17,35 ha
 Fluxo Monetário = 2,64 E02 US\$ / ha / ano

Memorial de cálculo do sistema de produção de leite G4 (Intensivo).

Nota 1. Sol

Radiação solar = 16 MJ / m² / dia (Atlas solarimétrico)

Albedo = 20%

Conversão = (MJ/m²/dia) * (365 dias/ano) * (albedo) * (10.000 m² / ha)

Fluxo de energia = 4,67 E13 J / ha / ano

Nota 2. Chuva

Pluviosidade = 1,6 m³ / m² / ano

(<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliesp10a/chuesp.html>)

Energia livre de Gibbs = 5.000 J / kg (Odum, 1996)

Densidade da água = 1.000 kg / m³

Conversão = (m³ / m² / ano) * (J / kg) * (kg / m³) * (10.000 m² / ha)

Fluxo de energia = 8,00 E10 J / ha / ano

Nota 3. Vento

Densidade do ar = 1,3 kg / m³

Velocidade média anual = 4,7 m / s (<http://www.cresesb.cepel.br/publicações/index.php?task=livro&cid=1>)

Vento geotrópico = 2,82 m / s (60% da média anual de velocidade)

Coeficiente de arraste = 0,001 (adimensional)

Conversão = (kg / m³) * (m / s)³ * 0,001 * (10.000 m² / ha) * (3,15 E7 s / ano)

Fluxo de energia = 9,20 E9 J / ha / ano

Nota 4 e 6. Água

Consumo: O volume de água consumido pelos animais foi baseado na normativa 61, que estipula 100 L de agua por cabeça e mais 6 L para cada L de leite produzido.

Cálculo = (72 animais x 100 L) + (1060L_{leite} x 6 L(agua))

Cálculo = 2.328.600 L_{água} / ano

Conversão = (L_{água} / ano) / 22,1 ha) * 1.000 g / L_{água}

Fluxo de massa = 1,05 E8 g / ha / ano

Nota 5. Perda de solo

Plantação de milho

Perda em plantação de milho = 8 t / ha / ano (Informe Agropecuário. 1992. Conservação de Solo e meio Ambiente. Vol. 16, nº176. EPAMIG.Belo Horizonte-MG.)

Matéria orgânica = 0,04 kg_{m.o.} / kg_{solo}

Energia da m. o. = 5.400 kcal / kg_{m.o.}

Conversão = (kg_{solo} / ha / ano) * (kg_{m.o.} / kg_{solo}) * (kcal / kg_{m.o.}) * (4.186 J / kcal) * (21 ha_{milho}) / 22,1 ha

Fluxo de energia = 6,55 E09 J / ha / ano

Construções

Área construída = 900 m²

Volume = 900 m² * 0,3 m = 270 m³

Conversão = (m³) * (kg_{m.o.} / kg_{solo}) * (1,2 g / cm³) * (1 E6 cm³ / m³) * (4.186 J / kcal) * (5.400 kcal / kg) / 22,1 ha / 30 anos

Fluxo de energia = 4,42 E08 J / ha / ano

Total de perda de solo = 6,99 E09 J / ha / ano

Nota 7. Diesel

Consumo = 13.000 Litros / ano (Informação do pecuarista)

Conversão = ((L / ano) * (0,85 kg / L)) * (10.000 kcal / kg) * (4.186 J / kcal) / 22,1 ha

Fluxo de energia = 2,25 E10 J / ha / ano

Nota 8. Gasolina

Consumo = 0 L / ano (Informação do pecuarista)

Conversão = ((L / ano) * (0,85 kg / L)) * (8.325 kcal / L) * (4.186 J / kcal) / 22,1 ha

Fluxo de energia = 0 J / ha / ano

Nota 9. Aço

Massa dos equipamentos = 1.630 kg (trator) + 1.100 kg (arado) + 752 kg (semeadora) + 653 kg (aplicador de fertilizantes) + 1.700 kg (grade) + 12 kg (2 bombas d'água).

Massa Total = 5847 kg

Estrutura da cobertura = (20 kg / m²) * (800 m²) = 16.000 kg

Cobertura = (9,31 kg / m²) * (800 m²) = 7.448 kg

Massa Total = 29.295 kg

Conversão = (kg) * (1000 g / kg) / (22,1 ha) / (30 anos)

Fluxo de massa = 4,42 E04 g / ha / ano

Nota 10. Aço Inox

Massa = 1080 kg (2 tanque de expansão) + 540 kg (encanamentos - estimado como a mesma massa do tanque de expansão)

Massa Total = 648 kg

Conversão = (kg) * (1000 g / kg) / (22,1 ha) / (30 anos)

Fluxo de massa = 2,44 E03 g / ha / ano

Nota 11. Calcário

Consumo = 30.000 kg

Conversão = (kg) * (1000 g / kg) / (22,1 ha)

Fluxo de massa = 1,36 E06 g / ha / ano

Nota 12. Nitrogênio

Consumo = 440 kg

Conversão = (kg) * (1000 g / kg) / (22,1 ha)

Fluxo de massa = 1,99 E04 g / ha / ano

Nota 13. Fósforo

Consumo = 1540 kg

Conversão = (kg) * (1000 g / kg) / (22,1 ha)

Fluxo de massa = 6,97 E04 g / ha / ano

Nota 14. Potássio

Consumo = 880 kg

Conversão = (kg) * (1000 g / kg) / (22,1 ha)

Fluxo de massa = 3,98 E04 g / ha / ano

Nota 15. Uréia

Consumo = 4.000 kg

Conversão = (kg) * (1000 g / kg) / (22,1 ha)

Fluxo de massa = 1,81 E05 g / ha / ano

Nota 16. Ração

Consumo = 220.000 kg

Conversão = (kg) * (1000 g / kg) / (22,1 ha)

Fluxo de massa = 9,95 E06 g / ha / ano

Obs: Foi considerado 55% desta ração como milho e 45% como farelo de soja)

Fluxo de massa (milho) = 5,48 E06 g / ha / ano

Fluxo de massa (farelo de soja) = 4,48 E06 g / ha / ano

Nota 17. Sementes

Consumo = 440 kg (milho)

Conversão = (kg) * (1000 g / kg) / (22,1 ha)

Fluxo de massa = 1,99 E04 g / ha / ano

Nota 18. Mudas

Consumo = 0 kg

Conversão = (kg) * (1000 g / kg) / (22,1 ha)

Fluxo de massa = 0 g / ha / ano

Nota 19. Eletricidade

Consumo = 24.200 kWh

Conversão = (kWh) * (3,6 E06 J / kWh) / (22,1 ha)

Fluxo de energia = 3,94 E09 J / ha / ano

Nota 20. Concreto

Área dos animais = 800 m²

Massa por m² = 178 kg / m²

Massa (área dos animais) = 142.400 kg

Área das casas = 100 m²

Massa por m² = 378 kg / m²

Massa (área das casas) = 37.800 kg

Massa total = 180.200 kg

Conversão = (kg) * (1.000 g / kg) / (30 anos) / (22,1 ha)

Fluxo de massa = 2,72 E05 g / ha / ano

Nota 21. Mão de obra

Nº de funcionários = 1 familiar + 3 contratados

Energia por funcionário = 2.500 kcal / dia

Conversão familiar = (funcionário) * (kcal / dia) * (365 dias / ano) * (4186 J / kcal) / 22,1 ha

Fluxo de energia = 1,73 E08 J / ha / ano

Conversão contratado = (funcionários)*(kcal / dia)*(287 dias / ano)*(4186 J / kcal) / 22,1 ha

Fluxo de energia = 4,08 E08 J / ha / ano
 Fluxo Total de energia = 5,81 E08 J / ha / ano

Nota 22. Serviços

Custos = 361.061,33 R\$
 Conversão = (R\$) / (2,2 R\$ / US\$) / 22,1 ha
 Fluxo Monetário = 7,43 E03 US\$ / ha / ano

Memorial de cálculo do sistema de produção de leite G5 (Intensivo).

Nota 1. Sol

Radiação solar = 16 MJ / m² / dia (Atlas solarimétrico)
 Albedo = 20%
 Conversão = (MJ/m²/dia) * (365 dias/ano) * (albedo) * (10.000 m² / ha)
 Fluxo de energia = 4,67 E13 J / ha / ano

Nota 2. Chuva

Pluviosidade = 1,6 m³ / m² / ano (<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliesp10a/chuesp.html>)
 Energia livre de Gibbs = 5.000 J / kg (Odum, 1996)
 Densidade da água = 1.000 kg / m³
 Conversão = (m³ / m² / ano) * (J / kg) * (kg / m³) * (10.000 m² / ha)
 Fluxo de energia = 8,00 E10 J / ha / ano

Nota 3. Vento

Densidade do ar = 1,3 kg / m³
 Velocidade média anual = 4,7 m / s (<http://www.cresesb.cepel.br/publicações/index.php?task=livro&cid=1>)
 Vento geotrópico = 2,82 m / s (60% da média anual de velocidade)
 Coeficiente de arraste = 0,001 (adimensional)
 Conversão = (kg / m³) * (m / s)³ * 0,001 * (10.000 m² / ha) * (3,15 E7 s / ano)
 Fluxo de energia = 9,20 E9 J / ha / ano

Nota 4 e 6. Água

Consumo: O volume de água consumido pelos animais foi baseado na normativa 61, que estipula 100 L de agua por cabeça e mais 6 L para cada L de leite produzido.
 Cálculo = (130 animais x 100 L) + (3.500L_{leite} x 6 L(agua))
 Cálculo = 2.328.600 L_{água} / ano
 Conversão = ((L_{água} / ano) / 99,3 ha) * 1.000 g / L_{água}
 Fluxo de massa = 7,73 E7 g / ha / ano

Nota 5. Perda de solo

Plantação de milho
 Perda em plantação de milho = 8 t / ha / ano (Informe Agropecuário. 1992. Conservação de Solo e meio Ambiente. Vol. 16, nº176. EPAMIG.Belo Horizonte-MG.)
 Matéria orgânica = 0,04 kg_{m.o.} / kg_{solo}
 Energia da m. o. = 5.400 kcal / kg_{m.o.}
 Conversão = (kg_{solo} / ha / ano) * (kg_{m.o.} / kg_{solo}) * (kcal / kg_{m.o.}) * (4.186 J / kcal) * (60 ha_{milho}) / 99,3 ha
 Fluxo de energia = 4,37 E09 J / ha / ano

Plantação de aveia

Perda em plantação de aveia = 4,91 t / ha / ano (Informe Agropecuário. 1992. Conservação de Solo e meio Ambiente. Vol. 16, nº176. EPAMIG.Belo Horizonte-MG)
 Matéria orgânica = 0,04 kg_{m.o.} / kg_{solo}
 Energia da m. o. = 5.400 kcal / kg_{m.o.}
 Conversão = (kg_{solo} / ha / ano) * (kg_{m.o.} / kg_{solo}) * (kcal / kg_{m.o.}) * (4.186 J / kcal) * (30 ha_{milho}) / 99,3 ha

Fluxo de energia = 1,34 E09 J / ha / ano

Construções

Área construída = 2640 m²
 Volume = 900 m² * 0,3 m = 792 m³
 Conversão = (m³) * (kg_{m.o.} / kg_{solo}) * (1,2 g / cm³) * (1 E6 cm³ / m³) * (4.186 J / kcal) * (5.400 kcal / kg) / 99,3 ha / 30 anos
 Fluxo de energia = 2,88 E08 J / ha / ano
 Total de perda de solo = 6,0 E09 J / ha / ano

Nota 7. Diesel

Consumo = 25.000 Litros / ano (Informação do pecuarista)

Conversão = ((L / ano) * (0,85 kg / L)) * (10.000 kcal / kg) * (4.186 J / kcal) / 99,3 ha

Fluxo de energia = 8,96 E09 J / ha / ano

Nota 8. Gasolina

Consumo = 900 L / ano (Informação do pecuarista)

Conversão = ((L / ano) * (8.325 kcal / L)) * (4.186 J / kcal) / 99,3 ha

Fluxo de energia = 3,16 E08 J / ha / ano

Nota 9. Aço

Massa dos equipamentos = 2.800 kg (trator) + 1000 (camionete) + 1.100 kg (arado) + 752 kg (semeadora) + 653 kg (aplicador de fertilizantes) + 1.700 kg (grade) + 12 kg (2 bombas d'água) + 3.000 (vagão misturador).

Massa Total = 11.017 kg

Estrutura da cobertura = (20 kg / m²) * (2.500 m²) = 50.000 kg

Cobertura = (9,31 kg / m²) * (2.500 m²) = 23.275 kg

Massa Total = 84.292 kg

Conversão = (kg) * (1000 g / kg) / (99,3 ha) / (30 anos)

Fluxo de massa = 2,83 E04 g / ha / ano

Nota 10. Aço Inox

Massa = 1500 kg (tanque de expansão) + 1000 kg (encanamentos - estimado como a mesma massa do tanque de expansão)

Massa Total = 2500 kg

Conversão = (kg) * (1000 g / kg) / (99,3 ha) / (30 anos)

Fluxo de massa = 8,39 E02 g / ha / ano

Nota 11. Calcário

Consumo = 70.000 kg

Conversão = (kg) * (1000 g / kg) / (99,3 ha)

Fluxo de massa = 7,05 E05 g / ha / ano

Nota 12. Nitrogênio

Consumo = 1600 kg

Conversão = (kg) * (1000 g / kg) / (99,3 ha)

Fluxo de massa = 1,61 E04 g / ha / ano

Nota 13. Fósforo

Consumo = 5600 kg

Conversão = (kg) * (1000 g / kg) / (99,3 ha)

Fluxo de massa = 5,64 E04 g / ha / ano

Nota 14. Potássio

Consumo = 3200 kg

Conversão = (kg) * (1000 g / kg) / (99,3 ha)

Fluxo de massa = 3,22 E04 g / ha / ano

Nota 15. Uréia

Consumo = 20.000 kg

Conversão = (kg) * (1000 g / kg) / (99,3 ha)

Fluxo de massa = 2,01 E05 g / ha / ano

Nota 16. Ração

Consumo = 521.000 kg

Conversão = (kg) * (1000 g / kg) / (99,3 ha)

Fluxo de massa = 5,25 E06 g / ha / ano

Obs: Foi considerado 55% desta ração como milho e 45% como farelo de soja)

Fluxo de massa (milho) = 2,89 E06 g / ha / ano

Fluxo de massa (farelo de soja) = 2,36 E06 g / ha / ano

Nota 17. Sementes

Consumo = 3100 kg

Conversão = (kg) * (1000 g / kg) / (99,3 ha)

Fluxo de massa = 3,12 E04 g / ha / ano

Nota 18. Mudas

Consumo = 0 kg

Conversão = (kg) * (1000 g / kg) / (99,3 ha)

Fluxo de massa = 0 g / ha / ano

Nota 19. Eletricidade

Consumo = 48.500 kWh
 Conversão = (kWh) * (3,6 E06 J / kWh) / (99,3 ha)
 Fluxo de energia = 1,76 E09 J / ha / ano

Nota 20. Concreto

Área dos animais = 2.100 m²
 Massa por m² = 178 kg / m²
 Massa (área dos animais) = 373.800 kg
 Área das casas = 540 m²
 Massa por m² = 378 kg / m²
 Massa (área das casas) = 204.120 kg
 Massa total = 577.920 kg
 Conversão = (kg) * (1.000 g / kg) / (30 anos) / (99,3 ha)
 Fluxo de massa = 1,94 E05 g / ha / ano

Nota 21. Mão de obra

N^o de funcionários = 6 contratados
 Energia por funcionário = 2.500 kcal / dia
 Conversão _{contratado} = (funcionário)* (kcal / dia)*(287 dias / ano) * (4186 J / kcal) / 99,3 ha
 Fluxo de energia = 1,81 E08 J / ha / ano

Nota 22. Serviços

Custos = 887.084,71 R\$
 Conversão = (R\$) / (2,2 R\$ / US\$) / 99,3 ha
 Fluxo Monetário = 4,06 E03 US\$ / ha /ano

9.4. Apêndice D: Tabelas de cálculo da energia incorporada em cada sistema

G1 (Semi-intensivo)

Nota	Nome	Unid	Fluxo de entrada (Unid/ha)	Intensidade de energia * MJ _{eq} /unid	Energia incorporada (MJ _{eq} /ha)	Energia incorporada (MJ _{eq} /kg _{ECM})
1	Diesel	kg	8,87E+01	5,75E+01	5,10E+03	6,29E-01
2	Gasolina	kg	1,68E+00	5,79E+01	9,74E+01	1,20E-02
3	Aço	kg	1,52E+01	2,26E+01	3,43E+02	4,24E-02
4	Inox	kg	6,67E-01	4,99E+01	3,33E+01	4,11E-03
5	Calcário	kg	4,51E+02	1,59E-01	7,16E+01	8,84E-03
6	Nitrogênio	kg	9,45E+00	7,34E+01	6,93E+02	8,56E-02
7	Fósforo	kg	3,31E+01	2,80E+01	9,26E+02	1,14E-01
8	Potássio	kg	1,89E+01	7,32E+00	1,38E+02	1,71E-02
9	Uréia	kg	1,37E+02	5,96E+01	8,18E+03	1,01E+00
10	Ração milho	kg	1,00E+03	6,38E+00	6,40E+03	7,91E-01
11	Ração soja	kg	8,21E+02	3,50E+00	2,87E+03	3,55E-01
12	Sementes	kg	3,12E+01	6,38E+00	1,99E+02	2,46E-02
13	Mudas	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
14	Eletricidade	kWh	2,82E+02	5,00E-02	1,41E+01	1,74E-03
15	Concreto	kg	1,16E+02	9,10E-01	1,06E+02	1,30E-02
* Ecoinvent				Total	2,52E+04	3,11E+00

G2 (Semi-intensivo)

Nota	Nome	Unid	Fluxo de entrada (Unid/ha)	Intensidade de energia * MJeq/unid	Energia incorporada (MJeq /ha)	Energia incorporada (MJeq/kgECM)
1	Diesel	kg	8,95E+01	5,75E+01	5,14E+03	8,40E-01
2	Gasolina	kg	8,95E+00	5,79E+01	5,18E+02	8,47E-02
3	Aço	kg	1,20E+01	2,26E+01	2,71E+02	4,44E-02
4	Inox	kg	1,14E+00	4,99E+01	5,68E+01	9,28E-03
5	Calcário	kg	1,16E+03	1,59E-01	1,84E+02	3,01E-02
6	Nitrogênio	kg	1,22E+01	7,34E+01	8,96E+02	1,46E-01
7	Fósforo	kg	4,27E+01	2,80E+01	1,20E+03	1,95E-01
8	Potássio	kg	2,44E+01	7,32E+00	1,79E+02	2,92E-02
9	Uréia	kg	1,47E+02	5,96E+01	8,78E+03	1,43E+00
10	Ração milho	kg	3,18E+02	6,38E+00	2,03E+03	3,32E-01
11	Ração soja	kg	2,61E+02	3,50E+00	9,12E+02	1,49E-01
12	Sementes	kg	2,11E+00	6,38E+00	1,34E+01	2,19E-03
13	Mudas	kg	1,05E+03	0,00E+00	9,47E+00	1,55E-03
14	Eletricidade	kWh	4,95E+02	5,00E-02	2,47E+01	4,04E-03
15	Concreto	kg	1,57E+02	9,10E-01	1,43E+02	2,33E-02
			Total	2,04E+04	3,33E+00	

G3 (Extensivo)

Nota	Nome	Unid	Fluxo de entrada (Unid/ha)	Intensidade de energia * MJ _{eq} /unid	Energia incorporada (MJ _{eq} /ha)	Energia incorporada (MJ _{eq} /kgECM)
1	Diesel	kg	2,94E+01	5,75E+01	1,69E+03	2,71E+00
2	Gasolina	kg	0,00E+00	5,79E+01	0,00E+00	0,00E+00
3	Aço	kg	1,96E+00	2,26E+01	4,44E+01	7,13E-02
4	Inox	kg	0,00E+00	4,99E+01	0,00E+00	0,00E+00
5	Calcário	kg	5,76E+01	1,59E-01	9,16E+00	1,47E-02
6	Nitrogênio	kg	4,15E+00	7,34E+01	3,05E+02	4,89E-01
7	Fósforo	kg	1,45E+01	2,80E+01	4,07E+02	6,52E-01
8	Potássio	kg	8,30E+00	7,32E+00	6,08E+01	9,75E-02
9	Uréia	kg	3,46E+01	5,96E+01	2,06E+03	3,31E+00
10	Ração milho	kg	0,00E+00	6,38E+00	0,00E+00	0,00E+00
11	Ração soja	kg	0,00E+00	3,50E+00	0,00E+00	0,00E+00
12	Sementes	kg	6,34E+00	6,38E+00	4,04E+01	6,49E-02
13	Mudas	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
14	Eletricidade	kWh	1,33E+02	5,00E-02	6,63E+00	1,06E-02
15	Concreto	kg	1,36E+02	9,10E-01	1,24E+02	1,98E-01
			Total	4,74E+03	7,61E+00	

* Ecoinvent

G4 (Intensivo)

Nota	Nome	Unid	Fluxo de entrada (Unid/ha)	Intensidade de energia * MJ _{eq} /unid	Energia incorporada (MJ _{eq} /ha)	Energia incorporada (MJ _{eq} /kg _{ECM})
1	Diesel	kg	5,00E+02	5,75E+01	2,87E+04	1,76E+00
2	Gasolina	kg	0,00E+00	5,79E+01	0,00E+00	0,00E+00
3	Aço	kg	4,42E+01	2,26E+01	9,99E+02	6,13E-02
4	Inox	kg	2,44E+00	4,99E+01	1,22E+02	7,49E-03
5	Calcário	kg	1,36E+03	1,59E-01	2,16E+02	1,32E-02
6	Nitrogênio	kg	1,99E+01	7,34E+01	1,46E+03	8,97E-02
7	Fósforo	kg	6,97E+01	2,80E+01	1,95E+03	1,20E-01
8	Potássio	kg	3,98E+01	7,32E+00	2,91E+02	1,79E-02
9	Uréia	kg	1,81E+02	5,96E+01	1,08E+04	6,62E-01
10	Ração _{milho}	kg	5,48E+03	6,38E+00	3,49E+04	2,14E+00
11	Ração _{soja}	kg	4,48E+03	3,50E+00	1,57E+04	9,62E-01
12	Sementes	kg	1,99E+01	6,38E+00	1,27E+02	7,80E-03
13	Mudas	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
14	Eletricidade	kWh	1,10E+03	5,00E-02	5,48E+01	3,36E-03
15	Concreto	kg	2,72E+02	9,10E-01	2,47E+02	1,52E-02
* Ecoinvent				Total	9,56E+04	5,87E+00

G5 (Intensivo)

Nota	Nome	Unid	Fluxo de entrada (Unid/ha)	Intensidade de energia * MJ _{eq} /unid	Energia incorporada (MJ _{eq} /ha)	Energia incorporada (MJ _{eq} /kg _{ECM})
1	Diesel	kg	2,14E+02	5,75E+01	1,23E+04	1,02E+00
2	Gasolina	kg	7,70E+00	5,79E+01	4,46E+02	3,70E-02
3	Aço	kg	2,83E+01	2,26E+01	6,40E+02	5,30E-02
4	Inox	kg	8,39E-01	4,99E+01	4,19E+01	3,47E-03
5	Calcário	kg	7,05E+02	1,59E-01	1,12E+02	9,28E-03
6	Nitrogênio	kg	1,61E+01	7,34E+01	1,18E+03	9,79E-02
7	Fósforo	kg	5,64E+01	2,80E+01	1,58E+03	1,31E-01
8	Potássio	kg	3,22E+01	7,32E+00	2,36E+02	1,95E-02
9	Uréia	kg	2,01E+02	5,96E+01	1,20E+04	9,94E-01
10	Ração _{milho}	kg	2,89E+03	6,38E+00	1,84E+04	1,52E+00
11	Ração _{soja}	kg	2,36E+03	3,50E+00	8,26E+03	6,84E-01
12	Sementes	kg	3,12E+01	6,38E+00	1,99E+02	1,65E-02
13	Mudas	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
14	Eletricidade	kWh	4,88E+02	5,00E-02	2,44E+01	2,02E-03
15	Concreto	kg	1,94E+02	9,10E-01	1,77E+02	1,46E-02
* Ecoinvent				Total	5,56E+04	4,60E+00

9.5. Apêndice E: Tabelas de cálculos de PAG de todos os sistemas devido à queima de combustíveis fósseis.

G1 (Semi-intensivo)

Emissão pela queima direta do diesel					
	CO	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	Hidrocarbonetos
FE (g/MJ)	0,32	0,0042	0,0019	75,5	0,085
MJ/ha	5,89 E+03				
MJ/kg _{EMC}	7,27 E-01				
Emissão kg/ha	1,88 E+00	2,47 E-02	1,12E-02	4,45E+02	5,01E-01
Emissão kg/kg _{ECM}	2,33 E-04	3,05E-06	1,38E-06	5,49E-02	6,18E-05

Emissões indiretas pela queima de combustível fóssil						
Nota	Nome	Unid	Unid/ha	kgCO _{2eq} /unid	kgCO _{2eq} /ha	kgCO _{2eq} /kg _{ECM}
1	Diesel	kg	8,87E+01	0,71	6,28E+01	7,76E-03
2	Gasolina	kg	1,68E+00	1,06	1,79E+00	2,21E-04
3	Aço	kg	1,52E+01	2,54	3,86E+01	4,76E-03
4	Inox	kg	6,67E-01	5,71	3,81E+00	4,70E-04
5	Calcário	kg	4,51E+02	0,01	2,70E+00	3,34E-04
6	nitrogênio	kg	9,45E+00	6,30	5,95E+01	7,35E-03
7	Fósforo	kg	3,31E+01	1,78	5,89E+01	7,27E-03
8	Potássio	kg	1,89E+01	0,54	1,02E+01	1,26E-03
9	Uréia	kg	1,37E+02	3,69	5,07E+02	6,26E-02
10	Ração milho	kg	1,00E+03	0,74	7,43E+02	9,17E-02
11	Ração soja	kg	8,21E+02	1,63	1,34E+03	1,65E-01
12	Sementes	kg	3,12E+01	0,74	2,31E+01	2,85E-03
13	Mudas	kg	0,00E+00	0,52	0,00E+00	0,00E+00
14	Eletricidade	kWh	2,82E+02	0,13	3,67E+01	4,53E-03
15	Concreto	kg	1,16E+02	0,15	1,74E+01	2,15E-03
					Total	2,90E+03
						3,58E-01

G2 (Semi-intensivo)

Emissão pela queima direta do diesel						
		CO	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	Hidrocarbonetos
FE (g/MJ)		0,32	0,0042	0,0019	75,5	0,085
MJ/ha		5,94E+03				
MJ/kg _{ECM}		9,70E-01				
Emissão kg/ha		1,90E+00	2,49E-02	1,13E-02	4,48E+02	5,05E-01
Emissão (kg/kg _{ECM})		3,10E-04	4,07E-06	1,84E-06	7,32E-02	8,25E-05

Emissões indiretas pela queima de combustível fóssil						
Nota	Nome	Unid	Unid/ha	kgCO _{2eq} /unid	kgCO _{2eq} /ha	kgCO _{2eq} /kg _{ECM}
1	Diesel	kg	8,95E+01	0,71	6,33E+01	1,04E-02
2	Gasolina	kg	8,95E+00	1,06	9,52E+00	1,56E-03
3	Aço	kg	1,20E+01	2,54	3,05E+01	4,99E-03
4	Inox	kg	1,14E+00	5,71	6,49E+00	1,06E-03
5	Calcário	kg	1,16E+03	0,01	6,95E+00	1,14E-03
6	nitrogênio	kg	1,22E+01	6,30	7,69E+01	1,26E-02
7	Fósforo	kg	4,27E+01	1,78	7,61E+01	1,24E-02
8	Potássio	kg	2,44E+01	0,54	1,32E+01	2,15E-03
9	Uréia	kg	1,47E+02	3,69	5,44E+02	8,88E-02
10	Ração milho	kg	3,18E+02	0,74	2,36E+02	3,85E-02
11	Ração soja	kg	2,61E+02	1,63	4,25E+02	6,94E-02
12	Sementes	kg	2,11E+00	0,74	1,56E+00	2,55E-04
13	Mudas	kg	1,05E+03	0,52	2,11E+00	3,44E-04
14	Eletricidade	kWh	4,95E+02	0,13	9,89E-01	1,62E-04
15	Concreto	kg	1,57E+02	0,15	2,35E+01	3,84E-03
				Total	1,52E+03	2,48E-01

G3 (Extensivo)

Emissão pela queima direta do diesel					
	CO	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	Hidrocarbonetos
FE (g/MJ)	0,32	0,0042	0,0019	75,5	0,085
MJ/ha	1,95E+03				
MJ/kg _{ECM}	3,13E+00				
Emissão kg/ha	6,24E-01	8,19E-03	3,71E-03	1,47E+02	1,66E-01
Emissão kg/kg _{ECM}	1,00E-03	1,31E-05	5,95E-06	2,36E-01	2,66E-04

Emissões indiretas pela queima de combustível fóssil						
Nota	Nome	Unid	Unid/ha	kgCO _{2eq} /unid	kgCO _{2eq} /ha	kgCO _{2eq} /kg _{ECM}
1	Diesel	kg	2,94E+01	0,71	2,08E+01	3,34E-02
2	Gasolina	kg	0,00E+00	1,06	0,00E+00	0,00E+00
3	Aço	kg	1,96E+00	2,54	5,00E+00	8,02E-03
4	Inox	kg	0,00E+00	5,71	0,00E+00	0,00E+00
5	Calcário	kg	5,76E+01	0,01	3,46E-01	5,55E-04
6	nitrogênio	kg	4,15E+00	6,30	2,61E+01	4,20E-02
7	Fósforo	kg	1,45E+01	1,78	2,59E+01	4,15E-02
8	Potássio	kg	8,30E+00	0,54	4,48E+00	7,19E-03
9	Uréia	kg	3,46E+01	3,69	1,28E+02	2,05E-01
10	Ração milho	kg	0,00E+00	0,74	0,00E+00	0,00E+00
11	Ração soja	kg	0,00E+00	1,63	0,00E+00	0,00E+00
12	Sementes	kg	6,34E+00	0,74	4,69E+00	7,53E-03
13	Mudas	kg	0,00E+00	0,05	0,00E+00	0,00E+00
14	Eletricidade	kWh	1,33E+02	0,13	1,72E+01	2,77E-02
15	Concreto	kg	1,36E+02	0,15	2,04E+01	3,27E-02
				Total	2,53E+02	4,05E-01

G4 (Intensivo)

Emissão pela queima direta do diesel					
	CO	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	Hidrocarbonetos
FE (g/MJ)	0,32	0,0042	0,0019	75,5	0,085
MJ/ha	3,32E+04				
MJ/kg _{ECM}	2,04E+00				
Emissão kg/ha	1,06E+01	1,39E-01	6,30E-02	2,51E+03	2,82E+00
Emissão kg/kg _{ECM}	6,52E-04	8,55E-06	3,87E-06	1,54E-01	1,73E-04

Emissões indiretas pela queima de combustível fóssil						
Nota	Nome	Unid	Unid/ha	kgCO _{2eq} /unid	kgCO _{2eq} /ha	kgCO _{2eq} /kg _{ECM}
1	Diesel	kg	5,00E+02	0,71	3,54E+02	2,17E-02
2	Gasolina	kg	0,00E+00	1,06	0,00E+00	0,00E+00
3	Aço	kg	4,42E+01	2,54	1,12E+02	6,90E-03
4	Inox	kg	2,44E+00	5,71	1,40E+01	8,56E-04
5	Calcário	kg	1,36E+03	0,01	8,14E+00	5,00E-04
6	nitrogênio	kg	1,99E+01	6,30	1,25E+02	7,70E-03
7	Fósforo	kg	6,97E+01	1,78	1,24E+02	7,61E-03
8	Potássio	kg	3,98E+01	0,54	2,15E+01	1,32E-03
9	Uréia	kg	1,81E+02	3,69	6,68E+02	4,10E-02
10	Ração milho	kg	5,48E+03	0,74	4,05E+03	2,49E-01
11	Ração soja	kg	4,48E+03	1,63	7,30E+03	4,48E-01
12	Sementes	kg	1,99E+01	0,74	1,47E+01	9,04E-04
13	Mudas	kg	0,00E+00	0,00	0,00E+00	0,00E+00
14	Eletricidade	kWh	1,10E+03	0,13	1,42E+02	8,74E-03
15	Concreto	kg	2,72E+02	0,15	4,08E+01	2,50E-03
				Total	1,30E+04	7,97E-01

G5 (Intensivo)

Emissão pela queima direta do diesel					
	CO	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	Hidrocarbonetos
FE (g/MJ)	0,32	0,0042	0,0019	75,5	0,085
MJ/ha	1,42E+04				
MJ/kg _{ECM}	1,18E+00				
Emissão kg/ha	4,54E+03	5,96E+01	2,70E+01	1,07E+06	1,21E+03
Emissão kg/kg _{ECM}	3,76E-01	4,94E-03	2,23E-03	8,88E+01	1,00E-01

Emissões indiretas pela queima de combustível fóssil						
Nota	Nome	Unid	Unid/ha	kgCO _{2eq} /unid	kgCO _{2eq} /ha	kgCO _{2eq} /kg _{ECM}
1	Diesel	kg	5,00E+02	0,71	1,52E+02	1,25E-02
2	Gasolina	kg	0,00E+00	1,06	8,20E+00	6,79E-04
3	Aço	kg	4,42E+01	2,54	7,20E+01	5,96E-03
4	Inox	kg	2,44E+00	5,71	4,79E+00	3,97E-04
5	Calcário	kg	1,36E+03	0,01	4,23E+00	3,50E-04
6	nitrogênio	kg	1,99E+01	6,30	1,02E+02	8,41E-03
7	Fósforo	kg	6,97E+01	1,78	1,00E+02	8,31E-03
8	Potássio	kg	3,98E+01	0,54	1,74E+01	1,44E-03
9	Uréia	kg	1,81E+02	3,69	7,43E+02	6,16E-02
10	Ração milho	kg	5,48E+03	0,74	2,14E+03	1,77E-01
11	Ração soja	kg	4,48E+03	1,63	3,85E+03	3,19E-01
12	Sementes	kg	1,99E+01	0,74	2,31E+01	1,91E-03
13	Mudas	kg	0,00E+00	0,52	0,00E+00	0,00E+00
14	Eletricidade	kWh	1,10E+03	0,13	6,35E+01	5,26E-03
15	Concreto	kg	2,72E+02	0,15	2,91E+01	2,41E-03
				Total	7,30E+03	6,05E-01

9.6. Apêndice F: Tabelas dos cálculos do PAG devido à fermentação entérica na digestão dos bovinos e de manejo de dejetos nos sistemas do Sul de Minas Gerais analisados.

Em = emissões

Em = N (nº animais) x FE (kg CH₄ / animal)

Em por kg_{EMC} = (CH₄) / (kg_{EMC})

Em por ha = (CH₄) / (ha)

Os valores são referentes ao período de um ano.

G1 (Semi-intensivo)

	Emissão fermentação entérica CH ₄ /ano	Emissão por manejo de dejetos CH ₄ /ano
Vacas lactação	14700	378
Vacas secas	6808	128,8
Bezerros	7998	167,4
Total CH ₄ /ano	30.180,2	
Total CO _{2eq} /ano	754.505	
Total CO _{2eq} /kg _{EMC}	0,511	
Total CO _{2eq} /ha	4.145	

G2 (Semi-intensivo)

	Emissão fermentação entérica CH ₄ /ano	Emissão por manejo de dejetos CH ₄ /ano
Vacas lactação	2.100	54
Vacas secas	1.554	29,4
Bezerros	1.462	30,6
Total CH ₄ /ano	5.230	
Total CO _{2eq} /ano	130.750	
Total CO _{2eq} /kg _{EMC}	1,09	
Total CO _{2eq} /ha	6881	

G3 (Extensivo)

	Emissão fermentação entérica CH ₄ / ano	Emissão por manejo de dejetos CH ₄ / ano
Vacas lactação	10,8	444
Vacas secas	4,2	222
Bezerros	5,4	258
Total CH ₄ /ano		944,4
Total CO _{2eq} /ano		23.610
Total CO _{2eq} /kg _{EMC}		2,16
Total CO _{2eq} /ha		1.361

G4 (Intensivo)

	Emissão fermentação entérica CH ₄ / ano	Emissão por manejo de dejetos CH ₄ / ano
Vacas lactação	3.710	95,4
Vacas secas	962	18,2
Bezerros	215	5,4
Total CH ₄ /ano		5.006
Total CO _{2eq} /ano		250.300
Total CO _{2eq} /kg _{EMC}		0,69
Total CO _{2eq} /ha		11.326

G5 (Intensivo)

	Emissão fermentação entérica CH ₄ / ano	Emissão por manejo de dejetos CH ₄ / ano
Vacas lactação	7.700	198
Vacas secas	1.110	21
Bezerros	215	4,5
Total CH ₄ /ano		9.248
Total CO _{2eq} /ano		231.211
Total CO _{2eq} /kg _{EMC}		0,19
Total CO _{2eq} /ha		2.328

9.7. Apêndice G: Dados para confecção do gráfico Box Plot das emissões de kgCO_{2eq} em diversos estudos pelo mundo.

Autores	País	Unidade	kgCO _{2eq} / Unid	
			min	max
Olszensvski et al. (2010)	Brasil	kg _{leite}	1,43	1,52
Basset-means et al. (2009)	Nova Zelandia	kg _{FPCM}	0,75	0,93
Kristensen et al. (2011)	Dinamarca	kg _{ECM}	0,97	1,57
Battini et al. (2016)	Itália	kg _{FPCM}	1,35	1,50
Casey e Holden (2005)	Irlanda	kg _{ECM}	1,30	1,50
Cederberg e Mattson (2000)	Suécia	kg _{ECM}	0,95	1,08
Haas et al. (2001)	Alemanha	L _{leite}	1,00	1,30
Verge et al. (2013)	Canada	L _{leite}	0,93	1,12
Este esudo	Brasil	kg _{ECM}	1,01	3,26
Del Pablo et al. (2013)	Espanha	kg _{ECM}	0,84	2,07
Weiss e Leip (2012)	EU	kg _{leite}	1,30	1,70
Thomassen et al. (2008)	Holanda	kg _{ECM}	1,41	1,48
Rotz et al. (2010)	USA	kg _{ECM}	0,53	
Flysjö et al. (2012)	Suécia	kg _{ECM}	1,07	1,13
Hagemann et al. (2011)	Mundial	kg _{leite}	0,80	3,07
Fantin et al. (2012)	Itália	L _{leite emb}	0,80	1,50
Thoma et al. (2013)	USA	kg _{FPCM}	1,10	1,50
Cederberg e Flyso (2004)	Suécia	kg _{leite}	0,73	1,26
Hirschfeld et al. (2008)	Alemanha	kg _{ECM}	0,64	0,85
Opio et al. (2013)	mundial	kg _{FPCM}	1,60	9,00
Jaklic et al. (2014)	Eslovenia	kg _{leite}	0,98	1,60
Heller e Keoleian (2011)	USA	L _{leite emb}	2,28	2,61

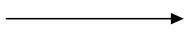
kg: Quilograma; L: litros; ECM: Energy Corrected Milk; FPCM:Fat and Protein Corrected Milk;

9.8. Apêndice H: Valores calculados de EIR, com percentual da área de cada sistema e a produção.

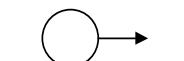
EIR	G1 (%)	G2 (%)	G3 (%)	G4 (%)	G5 (%)	Produção (L _{leite} / ano)
1,34	1	1	96	1	1	608.985.000
1,37	1	2	95	1	1	642.583.800
1,40	1	3	94	1	1	676.182.600
1,43	1	4	93	1	1	709.781.400
1,46	1	5	92	1	1	743.380.200
1,49	1	6	91	1	1	776.979.000
1,53	1	7	90	1	1	810.577.800
1,56	1	8	89	1	1	844.176.600
1,59	1	9	88	1	1	877.775.400
1,62	1	10	87	1	1	911.374.200
1,65	1	11	86	1	1	944.973.000
1,69	1	12	85	1	1	978.571.800
1,70	2	11	85	1	1	988.875.000
1,71	3	1	85	1	1	999.178.200

Valores referentes as porcentagens representativas de cada sistema de produção no Sul de Minas Gerais. G1 e G2 (Semi-intensivos); G3 (Extensivo); G4 e G5 (Intensivos)

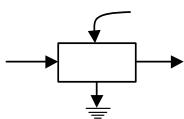
9.9. Anexo A: Símbolos utilizados na confecção de diagramas de energia



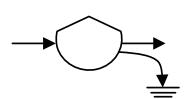
Fluxo de energia: um fluxo cuja vazão é proporcional ao volume do estoque ou à intensidade da fonte que o produz.



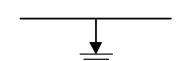
Fonte: um recurso externo que fornece energia de acordo com um programa controlado externamente (função força).



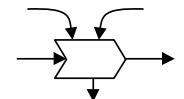
Caixa: símbolo de uso múltiplo que pode ser usado para representar uma unidade de consumo e produção dentro de um sistema maior, representando assim, um subsistema.



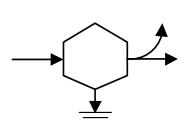
Depósito: uma reserva energética dentro do sistema, que guarda uma quantidade de energia de acordo com o balanço de entrada e saída (variáveis de estado).



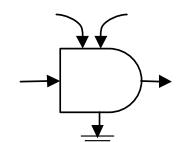
Sumidouro de energia: dispersão de energia potencial empregada no sistema. A energia potencial é utilizada para produzir trabalho e o custo dessa transformação é a degradação da energia, a qual abandona o sistema como energia de baixa intensidade. Todos os processos de interação e os armazenamentos dispensam energia.



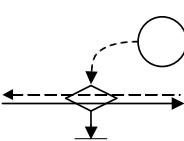
Interação: intersecção interativa de dois fluxos para produzir uma saída em proporção a uma função de ambos ou controle de ação de um fluxo sobre outro.



Consumidor: unidade que transforma a qualidade da energia, armazena e retroalimenta energia à etapa anterior (sistema autocatalítico) para melhorar o fluxo de energia que recebe.



Produtor: unidade que coleta e transforma energia de baixa qualidade (baixa intensidade) sob a ação de um fluxo de energia de alta qualidade.



Transação: uma unidade que indica a venda de bens ou serviços (linha contínua) em troca de um pagamento em dinheiro (linha tracejada). O preço é mostrado na figura como fonte de energia externa.

Fonte: Odum (1996)