

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE VETERINÁRIA**

**SIMULAÇÃO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE LEITE
ORGÂNICO NOS ESTADOS UNIDOS**

RONAN APARECIDO VALADARES SANTANA

**BELO HORIZONTE
2016**

RONAN APARECIDO VALADARES SANTANA

**SIMULAÇÃO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE LEITE
ORGÂNICO NOS ESTADOS UNIDOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para Obtenção do grau de Doutor em Zootecnia

Área de concentração: Produção Animal
Orientador: Prof. Dr. Fabiano Alvim Barbosa
Coorientador: Ph.D. André Fonseca de Brito

BELO HORIZONTE

Santana, Ronan Aparecido Valadares, 1979-
SIMULAÇÃO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE LEITE ORGÂNICO NOS
ESTADOS UNIDOS/ Ronan Aparecido Valadares Santana – 2016.
86 p : il.

Orientador: Fabiano Alvim Barbosa

Coorientador: Ph.D. André Fonseca de Brito

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Veterinária.

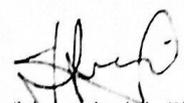
1. Bovino de leite – Criação – Teses. 2. Bovino de leite – comercialização – Teses.
3. Bovino de leite – Aspectos econômicos –Tese. I. Santana, Ronan Aparecido
Valadares Santana. II. Barbosa, Fabiano Alvim. IV. Universidade Federal de
Minas Gerais. Escola de Veterinária. V. Título

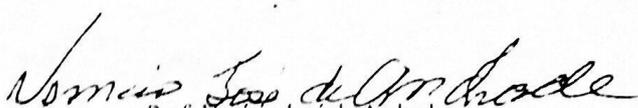
CDD 636.7

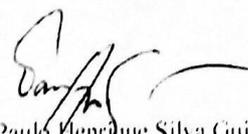
TESE defendida e aprovada em 22/09/2016 pela Comissão Examinadora composta pelos seguintes membros:


Prof. Fabiano Alvim Barbosa (Orientador)


Prof. Décio Souza Graça


Prof. Israel José da Silva


Prof. Venício José de Andrade


Prof. Paulo Henrique Silva Guimarães

*Um gênio criativo não pode ser treinado.
Não existem escolas para criatividade.
Um gênio é precisamente um homem
que desafia todas as escolas e regras,
que se desvia dos caminhos tradicionais
da rotina e abre novos caminhos
através de terras inacessíveis antes.
Um gênio é sempre um professor,
nunca um aluno;
ele é sempre feito por si mesmo.*

Ludwig Von Mises
1881-1973

DEDICATORIA

A Deus

A memória dos meus avós e tios que tanto contribuíram para minha formação pessoal. Aos meus pais (Joaquim e Irene), irmãs (Edna, Elma e Rosemari), sobrinhos (Fernanda, Gabriela e Rafael), minha noiva (Lais) e especialmente ao meu filho Bruno, por darem sentido a vida;

A todos aqueles que procuram, com o seu trabalho, melhorar a vida dos que habitam a Terra.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida, pelas oportunidades e desafios que me fez superar, pela vontade e capacidade de discernir que o sacrifício e a perseverança são necessários, pois, muitas das vezes as maiores conquistas são precedidas por momentos difíceis em que pensamos em desistir.

Ao Professor Dr. Fabiano Alvim Barbosa pela paciência, ensinamentos, orientação e principalmente pelas oportunidades dadas, sem a qual, nenhum de nós, conseguimos chegar a lugar algum.

Aos demais professores e funcionários da Universidade Federal de Minas Gerais pelo acolhimento.

Ao Professor Andre Brito pelas inúmeras oportunidades criadas, ensinamentos, orientações e amizade.

Aos funcionários da University of New Hampshire Jon M. Whitehouse, Nicole Guindon, Elizabeth, Brenda K. Hess-McAskill, Curtis Johnson, Tom P. Oxford e Nancy L. Whitehouse pela valiosa ajuda nos trabalhos e pelos ensinamentos.

Aos colegas Caren, Daniel, Andre, Simone, Igor, Geraldo e Verônica pela ajuda na condução dos experimentos e pela amizade.

A Capes, pela concessão da bolsa de Doutorado Sanduiche concedida nos 4 meses iniciais do projeto.

Aos diretores, colegas docentes e demais funcionários do IFNMG, Campus Arinos, especialmente ao colega Prof. Diogo pela valiosa ajuda.

A meus pais, Joaquim e Irene, pelos ensinamentos, conselhos e correções, e principalmente, por ter proporcionado oportunidades de crescimento pessoal, profissional e por ter ensinado a importância de buscar novas oportunidades.

Ao meu avô Francisco Fernandes Valladares “in memoriam” pelas milhares de vezes que me falou da importância do conhecimento, da educação, dos nossos sonhos e de não perder as oportunidades que a vida oferece.

À minha noiva Lais, pelo carinho, apoio e compreensão.

Ao meu filho amado, Bruno, por ter enfrentado o desafio de me acompanhar por quase três anos nos EUA, sempre me ajudando nos trabalhos do doutorado.

As minhas irmãs que sempre me ajudaram e participaram ativamente da minha vida.

As inúmeras pessoas que me ajudaram ao longo da vida.

SUMÁRIO

DEDICATORIA	9
AGRADECIMENTOS	10
RESUMO	17
ABSTRACT	19
1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 <i>Produção de leite orgânico</i>	16
2.2 <i>Modelagem</i>	19
2.3 <i>Simulação</i>	21
2.4 <i>Análise Econômica</i>	23
2.5 <i>Emissão de Gases de Efeito Estufa na Bovinocultura Leiteira</i>	24
2.6 <i>Integrated Farm System Model (IFSM)</i>	27
3 MATERIAL E MÉTODOS	33
3.1 <i>Local de realização do estudo</i>	33
3.2 <i>Dados Climatológicos</i>	35
3.3 <i>Coleta, Análise de Dados e Estatística</i>	37
3.4 <i>A Fazenda Média</i>	40
3.5 <i>O Simulador Bioeconômico</i>	41
3.6 <i>Tratamentos</i>	41

3.7	<i>Índices Zootécnicos, Agronômicos e Manejo Nutricional</i>	42
3.8	<i>Parâmetros Ambientais</i>	43
3.8.1	Dióxido de carbono	43
3.8.2	Emissão de Metano	44
3.8.3	Emissão de Óxido Nitroso	48
3.8.4	Pegadas Ambientais	49
3.9	<i>Parâmetros Econômicos</i>	51
3.10	<i>Preço do Leite</i>	56
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
4.1	<i>Dados regionais</i>	58
4.2	<i>Fazenda média</i>	60
4.3	<i>Composição e preço médio do leite</i>	63
4.4	<i>Indicadores econômicos</i>	68
4.4.1	Comparação entre os sistemas GRASSFED e ORG-T	68
4.4.2	Comparação entre os sistemas GRASS vs. SM+GRASS	70
4.4.3	Comparação entre as raças Holandês vs. Jersey	72
4.4.4	Comparação entre as regiões ENC, MA e NE	73
4.5	<i>Impacto ambiental predito pelo modelo</i>	74
5	CONCLUSÕES	80
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fluxograma de um sistema de um sistema de produção de leite a pasto e as emissões de gases de efeito estufa associados, N ₂ O, CO ₂ e CH ₄	27
Figura 2. Tela inicial do simulador Integrated Farm System Model (IFSM).....	28
Figura 3. Localização das regiões New England (NE), Middle Atlantic (MA) e East North Central (ENC).....	34
Figura 4. Normais climatológicas do município de Concord, NH, EUA	35
Figura 5. Normais climatológicas do município de Syracuse, NY, EUA	36
Figura 6. Normais climatológicas do município de Madison, WI, EUA	36
Figura 7. Principais parâmetros utilizados pelo Integrated Farm System Model (IFSM) na simulação de sistemas completos de produção	41
Figura 8. Modelo básico de cálculo do preço do leite (USD \$/100 L) por qualidade*	57
Figura 9. Preço médio do leite entre os tratamentos simulados (USD \$/100L) por região.....	66
Figura 10. Preço médio do leite (USD \$/100L) por tipo de leite	67
Figura 12. Média anual de emissão (kg CO ₂ eq. de gases de efeito estufa (GEE) via animal nos sistemas simulados de acordo com os sistemas de produção, alimentação e raça ¹ ..	75
Figura 13. Média anual de emissão (kg CO ₂ equivalente) de gases de efeito estufa (GEE) via esterco e produção de alimentos nos sistemas simulados de acordo com os sistemas de produção, alimentação e raça.....	76
Figura 14. Pegada de carbono com e sem CO ₂ biogênico nos sistemas simulados.	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Taxa de crescimento global do mercado de leite orgânico.....	17
Tabela 2. Distribuição das 84 fazendas de leite orgânico de acordo com a região	34
Tabela 3. Descrição e valores da vida útil (anos) e valor residual (%) considerado nas simulações	53
Tabela 4. Principais dados das fazendas orgânicas de leite da região East North Central (ENC) .	58
Tabela 5. Principais dados das fazendas orgânicas de leite das regiões de New England (NE) e Middle Atlantic (MA).....	60
Tabela 6. Principais características da fazenda média utilizada nas simulações.....	61
Tabela 7. Produção de leite (kg/vaca) de acordo com o sistema de produção e raça utilizada nos sistemas simulados.....	62
Tabela 8. Composição e qualidade média do leite utilizado na simulação em função das raças utilizadas	63
Tabela 9. Composição do preço do leite (USD \$/100L) de acordo com os componentes e qualidade simuladas nos diferentes sistemas de produção	65
Tabela 10. Composição do preço do leite (% do preço final) de acordo com os componentes e qualidade simuladas nos diferentes sistemas de produção	65
Tabela 11. Preço médio do leite (USD \$/100L) de acordo com o tipo de leite produzido (ORG-T e GRASSFED), raça (Holandês e Jersey) e regiões geográficas (ENC, MA e NE).....	68
Tabela 12. Indicadores econômicos (USD \$) para dois sistemas de produção de leite orgânico nos EUA	69
Tabela 13. Indicadores econômicos (USD \$) para os sistemas de produção de leite orgânico em três regiões dos EUA	71
Tabela 14. Indicadores econômicos (USD \$) quando comparados a raça Jersey com a Holandês nos sistemas de produção simulados	72
Tabela 15. Dados econômicos (USD \$) de dois sistemas de produção de leite orgânico simulados em três regiões geográficas dos EUA.....	73

Tabela 16. Emissão média anual de gases de efeito estufa (GEE) nos sistemas de produção de leite simulados.	78
--	----

RESUMO

SIMULAÇÃO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE LEITE ORGÂNICO NOS ESTADOS UNIDOS

A busca por produtos orgânicos vem crescendo a cada ano nos Estados Unidos e em muitos outros países, como o Brasil. Essa parcela de consumidores demanda produtos que não utilizam na sua produção defensivos agrícolas, plantas transgênicas, fertilizantes sintéticos, antibióticos, dentre outros. O estudo foi desenvolvido nas dependências da Keener Dairy Research Building, localizado na Universidade de New Hampshire, na cidade de Durham, no estado de New Hampshire, nos Estados Unidos. O estudo levou em conta informações oriundas de 84 fazendas de leite orgânico, abrangendo 6 estados americanos de 3 regiões geográficas distintas: East North Central “ENC”, Middle Atlantic “MA” e New England “NE”. Foram feitas 8 simulações com diferentes sistemas de produção de leite orgânico. Os tratamentos foram simulados em cada região, resultando em 18 tratamentos. Os sistemas de produção de leite orgânico simulados foram compostos por dois tipos de leite produzidos, sendo: orgânico com grãos na dieta “orgânico tradicional” (ORG-T) ou com a utilização exclusiva de gramíneas perenes sem a utilização de grãos (“GRASSFED”). Com relação a alimentação, foram simuladas três fontes de forragem: silagem de milho e pastagem (SM+GRASS) ou exclusiva com forrageiras perenes, utilizado na forma de pastagem e pré secada (GRASS). A rentabilidade e a emissão de gases de efeito estufa (GEE) foi influenciada pelo sistema de produção, fonte de volumosos e pela raça utilizada. Todos os sistemas de produção de leite orgânico foram economicamente rentáveis. O prêmio pago ao leite no sistema GRASSFED foi suficiente para compensar a menor produtividade dos animais e ainda trouxe ganhos econômicos em relação ao sistema de produção de leite ORG-T.

Palavras Chave: gado de leite; IFSM; indicadores zootécnicos; gases de efeito estufa; simulação; sistemas de produção.

ABSTRACT

SIMULATION OF ORGANIC MILK PRODUCTION SYSTEMS IN THE UNITED STATES

Organic milk production is one of the fastest growing segments of US agriculture. There is an increasing number of US organic farmers who are transitioning to no grain supplementation due to additional premiums paid by some milk processors. However, there is limited information about the economic and environmental performance to support farmers' decision to make the transition from grain to no grain feeding. Our objective was to compare the economic and environmental performance of traditional (ORG-T) vs. grass-fed (ORG-GF) organic dairy farms using the Integrated Farm System Model over 25 years of daily weather conditions. An average farm with 90 ha of land base, 52 Holstein cows, and 186 d of grazing was constructed using data from 84 organic dairies across 6 states (WI, PA, NY, NH, VT, and ME). The ORG-T diet was characterized by pasture, conserved feed including grass-legume and corn silages, and grain during the grazing season, and conserved feed and grain during the winter season. The ORG-GF was characterized by an all pasture diet during the grazing season, and all conserved feed diet except corn silage during the winter season. Milk price and annual milk production used in the simulations averaged 71.5 vs. 81.7\$/100 L and 6,590 vs. 4,879 kg/cow for ORG-T vs. ORG-GF, respectively. The net return/cow was 35% greater in the ORG-GF (\$2,766) than ORG-T (\$2,051). Additional premiums paid by milk processors to the ORG-GF farm system appear to compensate for its lesser milk when production compared with the ORG-T farm system. Average greenhouse gas (GHG) emission, including biogenic CO₂, was 87% greater in ORG-GF (0.56 kg of CO₂ eq/kg of ECM) than ORG-T (0.30 kg of CO₂ eq/kg of ECM), which is not surprising due to increased fiber intake and lesser milk production in ORG-GF cows. Overall, the ORG-GF farm system seems to be more profitable

that its ORG-T counterpart, but at expense of more GHG emissions per unit of ECM. Farmers adopting the ORG-GF management should develop strategies to improve forage quality and milk production to reduce their farm carbon footprint.

Keywords: dairy cattle; greenhouse gas emissions; IFSM; profitability; simulation; zootechnical indicators.

1 INTRODUÇÃO

A busca por produtos orgânicos vem crescendo a cada ano nos Estados Unidos da America (EUA) e em muitos outros países, como o Brasil. Essa parcela de consumidores demanda produtos que não utilizam na sua produção defensivos agrícolas, plantas transgênicas, fertilizantes sintéticos, antibióticos, dentre outros. Um dos produtos com produção e comercialização consolidadas nos Estados Unidos é o leite orgânico, juntamente com seus derivados. A cada ano observa-se aumento na área destinada a esses produtos nas gôndolas dos supermercados americanos.

Recentemente algumas indústrias americanas de processamento de leite, atendendo a uma demanda de mercado, passaram a ofertar o leite orgânico produzido por animais recebendo somente dieta a base de forragem. Neste sistema não é permitido o uso de grãos na dieta, mesmo sendo proveniente da silagem de milho. O leite recebe nos EUA o nome de “Grass Fed”.

Assim, dá-se início a um processo de migração, onde uma parcela dos produtores sai do sistema de produção de leite orgânico tradicional para o sistema com o uso somente de forragem. Porém, ainda é pouco conhecido o impacto econômico e ambiental desse sistema de produção. As pesquisas com sistemas orgânicos de produção de leite ainda são incipientes e as de sistema de produção de leite orgânico alternativo como a produção sem o uso de grãos são praticamente inexistentes.

Com o avanço das pesquisas, novas tecnologias se tornam disponíveis aos produtores. Os simuladores completos, que analisam todos os processos de produção dentro da fazenda, podem auxiliar na implantação ou na substituição de tecnologias. O uso de modelos matemáticos completos que unificam os parâmetros biológicos (produção) e econômicos, quando bem aplicados são uma importante ferramenta de tomada de decisão. O uso dessa ferramenta permite predizer como se comporta determinada tomada de decisão em uma

propriedade ou empresa rural sem que isso incorra em prejuízos tanto financeiros quanto sociais e ambientais.

Assim, objetivou-se com o presente trabalho avaliar o desempenho econômico e ambiental em fazendas americanas de pecuária de leite orgânico por meio do simulador matemático computacional “Integrated Farm System Model (IFSM)”. Foram utilizadas três regiões geográficas, dois sistemas de alimentação, dois diferentes tipos de leite orgânicos produzidos e duas raças (Jersey e Holandês).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Produção de leite orgânico

A crescente demanda de mercado por produtos orgânicos e o maior valor agregado a esses produtos tem encorajado os produtores, particularmente os pequenos, a buscar nesse sistema maior rentabilidade econômica das unidades produtivas e a correspondente melhoria da qualidade de vida de suas famílias. Apesar da pouca representatividade, a produção orgânica de leite é o segmento que tem apresentado rápido crescimento nos últimos anos e é uma tendência observada em vários países, onde a preocupação dos consumidores com a segurança alimentar e sustentabilidade ambiental alavancam esse desenvolvimento (Willer e Lernoud, 2016).

O mercado global representado pela venda de produtos orgânicos no mundo movimentou um valor total de 80 bilhões de dólares em 2014. Altas taxas de crescimento foram observadas nos mercados de produtos orgânicos. Na Suíça, onde o mercado está evoluindo ao longo de vários anos, houve taxas de crescimento elevadas e o crescimento foi de 7,5% em 2014. O mercado dos EUA, o maior de todos, cresceu mais de 11% em 2014. A produção também está mantendo o ritmo: os dados mais recentes mostram que as áreas de produção orgânicas têm crescido muito atingindo 43,7 milhões de hectares em 172 países (Willer e Lernoud, 2016).

A taxa de crescimento global do mercado leite orgânico (Tabela 1) aumentou 3,7% entre os anos de 2007 a 2012. Já nos anos de 2012 a 2013 essa taxa de crescimento foi de 6,2%, representando um aumento considerável. O mesmo comportamento foi observado na América do Norte e Europa e quando considerada taxa de crescimento global do mercado de leite orgânico no resto do mundo o crescimento foi de 34,1% (OMSCO, 2015).

Tabela 1. Taxa de crescimento global do mercado de leite orgânico

Região	2007-2012	2012-2013
Mundo	3,7%	6,2%
América do Norte	3,3%	3,7%
Europa	5,3%	3,9%
Resto do mundo	16,9%	34,1%

Fonte: Organic Milk Market Report (2015)

Segundo Willer e Lernoud (2011), o Brasil é quinto país com maior área destinada a produção orgânica do mundo com 1,77 milhões de hectares até 2007 e, mesmo com as dificuldades de comercialização, foi possível ter lucros com a atividade. De acordo com o IBGE (2006), as propriedades produtoras de orgânicos no Brasil representavam 1,8% (ou 90.425 estabelecimentos) do total de estabelecimentos agropecuários e destes 41,7% dedicavam-se, principalmente, à pecuária e criação de outros animais.

De acordo com Honorato et al. (2014), as fazendas produtoras de leite orgânico no Brasil fornecem menor quantidade de concentrado comparadas as fazendas que produzem leite convencional e manejam a pastagem de forma mais eficiente. Assim, a produção e produtividade de leite foi menor no sistema orgânico, mas os escores de saúde e condição das vacas foram semelhantes. Os agricultores orgânicos relataram usar produtos fitoterápicos e homeopáticos e o manejo de pastagens como uma estratégia para manter baixos os níveis de ocorrência de endo e ectoparasitas, enquanto que os produtores convencionais usaram regularmente anti-helmínticos e acaricidas.

Segundo Aroeira et al. (2006), no Brasil, a produção de leite orgânico tem sido lucrativa, com a remuneração do capital de 5% ao ano, sendo maior do que a obtida no sistema convencional, que foi de 2% ao ano, mesmo ocorrendo redução de produtividade por vaca (33%); da terra (63%); da mão-de-obra (47%) e aumento do custo total por litro de leite em 50%. O prêmio pago pelo produto orgânico, dependendo da região, variou de 50 a 70% a mais do que o valor do leite convencional. Para que fosse economicamente viável, foi necessário preço pago ao produtor 70% superior ao praticado para o leite convencional.

Os principais desafios para a produção orgânica de leite no Brasil são a logística e a comercialização. O leite orgânico e principalmente seus derivados ainda são comercializados em estabelecimentos de pequeno porte. A difícil adequação à legislação dificulta a colocação destes produtos em grandes redes de supermercados. As legislações estaduais e municipais

vêm evoluindo e se adaptando as realidades de agricultores familiares e pequenas agroindústrias. Existem ainda alguns exemplos de empreendimentos maiores, como as cooperativas na região do oeste do estado de Santa Catarina e na região do Triângulo Mineiro, apresentando enorme potencial de desenvolvimento da atividade (Fonseca et al., 2000).

A produção de forragem e grãos para a alimentação animal e a sanidade animal, ainda são grandes desafios para o desenvolvimento da produção orgânica de leite. Para a alimentação, a limitação se dá face ao pequeno tamanho das propriedades, à escassez de rações orgânicas para suplementação alimentar durante o período de estiagem, à baixa fertilidade do solo nas áreas de pastagens, à baixa adoção da prática da adubação verde e ao clima desfavorável em determinadas épocas do ano, em algumas regiões. (Soares et al., 2011).

Os suplementos não devem conter antibióticos, hormônios e vermífugos. São proibidos aditivos promotores de crescimento, estimulante de apetite e ureia, bem como suplementos ou alimentos derivados ou obtidos de organismos geneticamente modificados e vacinas fabricadas com a tecnologia da transgenia. Assim, na produção orgânica de leite, a nutrição e alimentação animal precisam ser equilibradas de modos a suprir todas as exigências dos animais. (BRASIL, 2011; Soares et al., 2011).

Conforme a Instrução Normativa nº 64 do Ministério da Agricultura (MAPA), que dispõe sobre produção orgânica animal e vegetal (BRASIL, 2011), a formação e o manejo de pastagens, capineiras e legumineiras, assim como a produção de silagem, feno e outros produtos e subprodutos de origem vegetal deverão ser de manejo orgânico. A legislação prevê que em casos de escassez ou em condições especiais, recomenda-se que 85% da matéria seca consumida por ruminantes sejam de origem orgânica.

Nos EUA a produção de leite orgânico é regulamentada pelo Departamento de Agricultura (USDA). Para a produção de leite orgânico certificado, alguns insumos de uso habitual pelos produtores não são permitidos. Dentre eles, o uso de hormônios, antiparasitários (ectoparasitas e endoparasitas), fertilizantes químicos ou sintéticos, defensivos agrícolas, ureia e produtos de origem animal na alimentação animal. Todos os insumos adquiridos fora da fazenda e utilizados na alimentação precisam ter também a certificação orgânica. Maiores detalhes as regras para produção de orgânicos nos EUA podem ser encontrados em USDA (2011).

Os produtores que possuem certificação do USDA como produtores de leite orgânico podem vender o leite para empresas que processam esse tipo de leite. O preço do leite orgânico pago ao produtor é maior em relação ao leite convencional. Segundo McBride e Greene (2010), esse prêmio para o leite orgânico confere uma vantagem econômica para os produtores, levando a maior rentabilidade quando comparado aos sistemas de produção de leite convencional.

Segundo Hoshide et al. (2011), existe uma limitação na gama de produtos que podem ser utilizados como fonte de proteína pelos produtores de leite orgânico comparados ao leite convencional. Além disso, os preços dos insumos utilizados como suplemento energético e proteico são mais caros. Em 2008, o preço do grão de soja tostado orgânico foi 217% mais caro que o convencional (USDA Economic Research Service, 2008) e em 2010 o milho orgânico foi 213% mais caro que o milho convencional (USDA National Agricultural Statistics Service, 2010a).

2.2 Modelagem

Os modelos matemáticos podem ser definidos como um conjunto de equações que podem ser resolvidas para prever as mudanças que ocorrerão no mundo real. Assim, um modelo é a representação da realidade de forma simplificada, abstrata e idealizada, baseada em uma série de pressupostos (Mertens, 1977).

A principal dificuldade em se modelar e integrar um modelo biológico e econômico está na definição do foco para a modelagem e, principalmente, no nível de detalhamento que o modelo deve tratar. A modelagem de processos bioeconômicos é caracterizada por ter um alto nível de complexidade, isso pelo fato de todos os processos possuírem um comportamento dinâmico, onde as interações entre os parâmetros e as variáveis que descrevem um processo, mudam de acordo com o tempo. (Mendonça et al., 2004).

Um modelo deve ser construído de forma a atender uma meta estabelecida. Um modelo de simulação não tem a pretensão de ser “otimizante”, mas sim mostrar o que acontece com um sistema, a partir de um cenário inicial escolhido. A utilização de um modelo ocorre devido à impossibilidade de se realizar experimentos com o sistema real (que pode até mesmo não existir) ou como forma de se simplificar o sistema real, destacando os elementos relevantes da dinâmica do sistema. Depois da verificação do modelo (onde é checado se o modelo

construído obedece à lógica planejada) procede-se à validação do mesmo, que consiste na comparação dos resultados do modelo com resultados obtidos em situações reais. Validado o modelo, é possível processar simulações (Barbosa et al., 2002).

No desenvolvimento de um modelo desta natureza, raramente se observa disponibilidade total de informações necessárias. Em muitos casos, o desconhecimento de valores de parâmetros básicos a serem incluídos no modelo pode ser sanado pela cooperação com especialistas nas diversas disciplinas envolvidas. Assim, a complexidade de cada modelo depende, em grande parte, da disponibilidade e do detalhamento de informações. Na validação de um modelo, considera-se até que ponto esse modelo pode constituir uma representação suficientemente boa da realidade para atingir os propósitos para os quais foi desenvolvido. Se considerado “válido”, as decisões obtidas a partir desse modelo deverão ser similares àquelas que seriam tomadas em um modelo físico de mesma natureza. Caso não possa ser considerado como validado, quaisquer conclusões derivadas a partir desse modelo são de caráter duvidoso. Dois processos de validação podem ser distintos: a validação interna consiste de um processo contínuo concomitante ao desenvolvimento do modelo, que assegura que as suposições estejam de acordo com a teoria, a experiência e o conhecimento geral; e a validação externa refere-se à comparação do desempenho do modelo com o desempenho de um modelo real. Análises de sensibilidade nas quais os valores de parâmetros relevantes são sistematicamente variados em um número de situações de interesse para determinar o impacto nos resultados podem ser usadas para este fim, sendo necessário o conhecimento dos parâmetros sensíveis a serem incluídos no modelo (Dijkhuizen, 1997 citado por Jorge Junior, et al., 2006).

Pesquisas reais em sistemas de produção (sistemas físicos) apresentam maior confiabilidade nos resultados, porém sua utilização enfrenta uma série de dificuldades: alto custo, tempo de execução e a o fato de não poder simular fisicamente muitas alternativas. A utilização de modelos de simulação, por outro lado, além de superar tais dificuldades, possibilita ainda integrar informações já existentes. A simulação com modelos que avaliam impacto produzido pela alteração nos parâmetros de produção poderá, então, auxiliar no manejo das propriedades e trazer benefícios econômicos, além de servir para identificar limitações e reduzir danos (Souza et al., 2001).

2.3 Simulação

Desde a estabilização da moeda no Brasil, e a maior abertura do mercado nacional a produtos estrangeiros, ocorridos na década de 90, os produtores ficaram expostos a maior concorrência internacional, impondo à pecuária brasileira a necessidade de obtenção de maior eficiência produtiva. Isto levou à incorporação de novas tecnologias cujos resultados se refletiram na melhoria dos índices de produtividade (Guimarães et al., 2005).

A construção de modelos em sistemas biológicos ou “vivos” não é simples. A utilização de modelos oriundos de sistemas de simulação auxilia efetivamente a tomada de decisão pelo produtor rural, constituindo-se num valioso instrumento de persuasão para implantação de novas tecnologias e descarte daquelas já ultrapassadas. No caso da diversidade e complexidade apresentada pelo sistema pecuário, a simulação representa um desafio ao modelador, no sentido de desenvolver modelos abrangentes capazes de suportar análises de decisões complexas envolvendo tais sistemas (Tanure et al., 2014).

A resposta técnica ou econômica dos sistemas de produção à melhoria de apenas um indicador está condicionada pelo valor assumido pelos demais coeficientes técnicos do sistema, de maneira que o impacto produtivo associado a uma inovação tecnológica (exemplo, utilização de pastagens intensivas), deverá necessariamente ser avaliado no contexto produtivo de cada empreendimento (Beretta et al., 2002).

Os sistemas de produção diferem em relação ao uso de tecnologias. Algumas dessas técnicas são aplicadas frente a parâmetros de exigências nutricionais ou ainda estratégias que devem ser seguidas de acordo com objetivo ou planejamento de produção adotado (Barbosa e Souza, 2007).

A utilização de novos conceitos da engenharia de software levou ao desenvolvimento de interfaces gráficas acessíveis e algoritmos ainda mais poderosos. As ferramentas para simulação de processos, embora tenham se tornado mais populares apenas nos últimos cinco anos, já acumulam uma história de mais de 50 anos. Nas décadas de 80 e 90, os sistemas baseados em equações tiveram um considerável desenvolvimento, especialmente para sua utilização em otimização com a utilização de algoritmos sequenciais. Assim, o rápido avanço dos sistemas de hardware facilitou o acesso aos computadores pessoais tornando mais ampla

as possibilidades de utilização das ferramentas computacionais para simulação (Soares et al., 2003).

A busca pela maximização técnica na produção de bovinos pode levar à diminuição da eficiência econômica com menor rentabilidade para o sistema. Esse fato é mais marcante em sistemas com maior nível tecnológico, onde o acréscimo no resultado esperado devido à variação técnica dependerá de maiores desembolsos financeiros por unidade produzida. A variação dos indicadores técnicos e, conseqüentemente, dos resultados econômicos no sistema de produção de bovinos, por intermédio da simulação, possibilita maiores informações para a tomada de decisão do administrador, minimizando os erros na escolha das estratégias assumidas (Barbosa e Souza, 2007).

A simulação permite realizar as análises dos sistemas de produção, sem ter que assumir os custos ou outras implicações, pois ao validar o modelo e evidenciar falhas, possibilitando fazer os ajustes necessários e realizar uma nova simulação, possibilitando a repetição tantas vezes seja necessário para alcançar os objetivos propostos (Yáñez et al., 2006).

A comparação de sistemas de produção com base em simulações pode servir de base para escolha de alternativas mais eficientes e lucrativas, após as devidas validações de um modelo. O estudo é desenvolvido em laboratório de computação, a partir de modelos matemáticos (Guimarães et al., 2005).

O grau de segurança nas respostas deve ser máximo e as atualizações frente às mudanças ocorridas devem ser constantes. A utilização de modelos de simulação pode ser importante para qualquer setor, porém é imprescindível, também, a multidisciplinaridade para englobar os diversos fatores inseridos no complexo sistema pecuário. Cada usuário, ao fazer uso da simulação deve restringir o modelo de acordo com as características peculiares de sua pesquisa ou sistema produtivo (Fontoura-Júnior et al., 2007).

A expressão bioeconômico é utilizada para expressar a relação entre os componentes biofísicos e econômicos de um sistema, sendo classificados de acordo com o uso ou não de um otimizador (“framework”) (Tanure et al., 2014). De acordo com Barbier e Carpentier (2000), classificaram os modelos bioeconômicos em:

✓ Modelos com função otimização:

Frequentemente estes modelos utilizam técnicas de programação linear, sendo esta abordagem altamente criticada na comunidade científica, haja

vista o comportamento não linear das variáveis envolvidas nos modelos bioeconômicos. Porém podem utilizar técnicas de modelagem matemática, como a programação linear, não linear, dinâmica e estocástica para a minimização de uma função objetivo sob diferentes restrições.

✓ Modelos sem a função de otimização:

São componentes baseados em regras heurísticas para a solução de problemas específicos, qualidade dos componentes quanto à abstração de variáveis bioeconômicas e a interação entre eles, capazes de influenciar diretamente a qualidade final do modelo.

A busca da maximização do lucro pode ser comprovado nos esforços zootécnicos em relação à composição alimentar, a combinação genética, o tipo de manejo, forma de reprodução, gerenciamento dos custos entre outros fatores. A busca da síntese para explicar a realidade é prática adotada pela comunidade científica (Argolome et al., 2006).

2.4 Análise Econômica

A análise econômica é a comparação entre a receita obtida na atividade de produção com os custos, incluindo, em alguns casos, os riscos, permitindo a verificação de como os recursos empregados no processo produtivo estão sendo remunerados (Reis, 2002).

A avaliação biológica dos efeitos de mudanças nos coeficientes técnicos dos sistemas criatórios permite avaliar do ponto de vista econômico a inovação tecnológica a ser usado, fator determinante a ser considerado na tomada de decisão em um empreendimento (Beretta et al., 2001).

O uso das tecnologias tem que ser gradativo e coerente com os objetivos de produção, com coletas precisas dos dados para gerar as informações necessárias, buscando o aprendizado mútuo e contínuo de todos no sistema. É necessário avaliar economicamente o impacto do uso das tecnologias disponíveis para aumentar os índices zootécnicos nas fases de produção de bovinos para que possa ser indicada, técnica e economicamente, as tecnologias. A intensificação está em função do capital disponível de investimento, o risco e a taxa de retorno de cada situação. (Barbosa e Souza, 2007).

A melhoria da eficiência bioeconômica depende da gestão em realizar alterações na atividade dentro dos limites das variáveis do mapa da isoeffiência, considerando as características produtivas e mercadológicas locais (Lampert et al., 2006).

2.5 Emissão de Gases de Efeito Estufa na Bovinocultura Leiteira

A cada ano é crescente a discussão no mundo sobre as mudanças ambientais provocadas pela emissão de gases que provocam o efeito estufa, principalmente, após a divulgação de estudos, evidenciando que a emissão de gases oriundos das atividades humanas é responsável pelo aumento observado na temperatura nas últimas décadas, conforme o Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC, 2007).

Os principais gases de efeito estufa (GEE) emitidos pela bovinocultura são o metano (CH_4) e o óxido nitroso (NO_2), formados durante o processo de digestão entérica e através do manejo do esterco, respectivamente, e o dióxido de carbono (CO_2) liberado através da respiração animal, respiração das plantas e atividade microbiana do solo e esterco (Rotz et al., 2015).

Os ruminantes se alimentam principalmente de forragens. Como a maioria dos animais, os ruminantes não possuem as enzimas necessárias para digerir a celulose. Em vez disso, bactérias celulolíticas, que existem em relação simbiótica com outros microrganismos do rúmen, digerem e obtêm energia a partir de celulose. Durante este processo, o hidrogênio é produzido e pode acumular-se no rúmen, levando a acidose, podendo ocasionar morte das bactérias celulolíticas. No entanto, as arqueobactérias metanogênicas, diminuem a quantidade de hidrogênio no rúmen, produzindo o CH_4 e impedindo o efeito negativo causado pelo acúmulo de H_2 . O CH_4 produzido é liberado para a atmosfera pela eructação. A quantidade de CH_4 produzida a partir da fermentação entérica é influenciada por diversos fatores, incluindo o tipo e tamanho dos animais, a digestibilidade da ração e a ingestão de matéria seca, carboidratos totais e carboidratos digestíveis (Chianese et al., 2009b).

A produção de CH_4 entérico, depende de fatores ligados ao animal, como raça, sexo e idade (Berchielli et al., 2012), estado fisiológico e tamanho do animal (Primavesi et al., 2004), mas varia principalmente em função da alimentação do animal. A quantidade e a composição nutricional do alimento consumido pelos animais, são os fatores mais importantes a conduzir a

maior ou menor produção de CH₄ pelo trato digestivo. Os tipos de carboidratos da dieta são os mais importantes do aspecto qualitativo. Quanto melhor a alimentação consumida pelos animais, menor será a produção e emissão de CH₄ por unidade de matéria seca ingerida. Com emissão de CH₄ em função da qualidade da forragem, a perda energética dos animais, pode variar de 2%, naquelas de boa qualidade, a 12%, nas de baixa qualidade (McAllister et al., 1996).

A emissão de CO₂ através da respiração animal é por vezes ignorada como uma fonte de emissão de GEE (IPCC, 2007). Este CO₂ respirado faz parte do ciclo de C que inicialmente começa com a fixação fotossintética pelas plantas e quando os animais consomem a pastagem, com o C fixado no material vegetal, o C é convertido de volta para CO₂ através da respiração (Kirchgessner et al, 1991; IPCC, 2001). Entretanto, na simulação com o IFSM, para obter uma contabilidade completa e equilíbrio de todo C que flui através da fazenda, todas as fontes de emissões de C, incluindo a respiração animal, são consideradas.

Com relação ao N₂O, ele é o mais danoso de todos os GEE que ocorrem na produção agrícola e tem um potencial de aquecimento global 298 vezes maior do que o CO₂ (IPCC, 2007). Múltiplas fontes emitem N₂O em fazendas de gado de leite. A maioria são emitidas a partir do solo, seguidos do armazenamento de esterco e por quantidades relativamente pequenas, emitidos a partir do esterco contidos nos pisos ou em currais abertos (Chianese et al., 2009d). As maiores fontes antropogênicas de N₂O orindas da decomposição de resíduos orgânicos são adubos, urina e fezes, (Forster et al., 2007). Estima-se que as emissões antropogênicas representam aproximadamente 40% do total de N₂O emitido (IPCC, 2007).

A urina lançada no pasto pelos animais também é uma fonte de emissões de N₂O (IPCC, 2006; Snell et al, 2014; Van Groenigen et al, 2005). A urina excretada pelos animais no pastejo, pode infiltrar no solo ou permanecer na superfície, dependendo das condições do solo. Através da hidrólise, o N da urina na superfície torna-se disponível para a volatilização e o N da urina que infiltra no solo sofre outros processos de transformação. Através da nitrificação e desnitrificação, o N em manchas de urina no solo pode ser perdido para o ambiente em formas de emissão de nitrogênio livre ou gasoso (N₂), óxido de nitrogênio (NO) e N₂O.

Em 2005, a agricultura teve o maior impacto global sobre as emissões de N_2O , contribuindo 78% do total nos EUA. Na verdade, essa contribuição tem se tornado cada vez mais importante, com as emissões aumentando em 10% entre 1990 e 2005 (EIA, 2006).

Nos sistemas de produção animal, a emissão de N_2O ocorre pelo processo de nitrificação e desnitrificação realizado pelos microrganismos no N presente nas fezes e urina depositadas pelos animais nas pastagens, nos dejetos em sistemas confinados, no adubo nitrogenado aplicado ou do N oriundo de fixação biológica simbiótica. Dentre estes, as fezes depositadas nas pastagens é o mais relevante. As principais fontes de emissões de GEE na fazenda são oriundos do preparo do solo, fermentação entérica, manejo de dejetos e uso de energia. Preparo de solo é uma importante fonte de N_2O . O N_2O é predominantemente emitido após a aplicação de fertilizantes nitrogenados (Bouwman, 1996).

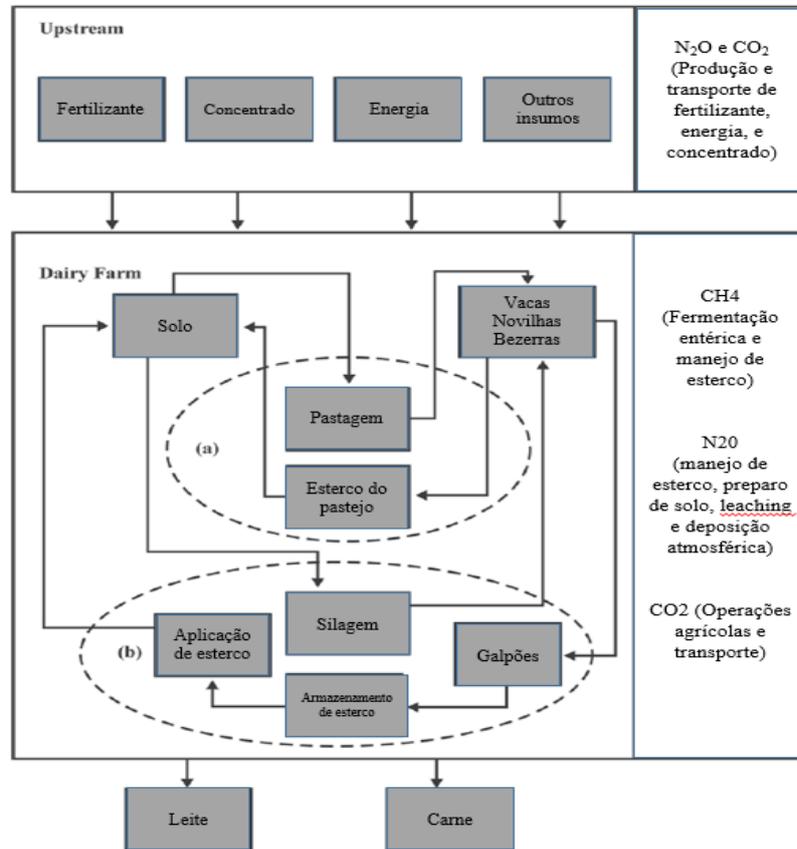
A energia é necessária para aplicação de fertilizantes nitrogenados no solo. Consequentemente, o CO_2 é indiretamente emitido. A produção da silagem utilizada no período em que os animais são confinados exige maior gasto com energia e fertilizantes nitrogenados. A produção de silagem emite mais N_2O provenientes do solo e CO_2 provenientes de energia (O'Brien et al, 2010).

A

Figura 1 mostra o fluxograma de um sistema de produção de leite a pasto e as emissões de GEE associados, N_2O , CO_2 e CH_4 utilizado por de O'Brien et al. (2010).

Figura 1. Fluxograma de um sistema de produção de leite a pasto e as emissões de gases de efeito estufa associados, N₂O, CO₂ e CH₄.

(A) e (b) representam os subsistemas à pasto e confinamento, respectivamente. No



subsistema à pasto os animais colhem a forragem no pasto e retornam o esterco diretamente ao solo. No subsistema confinado, os animais são mantidos em ambientes fechados e alimentados principalmente com silagem.

Fonte: Adaptado de O'Brien et al. (2010)

Dessa forma, a busca por sistemas de produção eficientes, que reduzam a emissão de GEE por unidade de produto, deve ser prioritária na pecuária mundial.

2.6 Integrated Farm System Model (IFSM)

O uso da computação na agropecuária é uma alternativa para o aumento da eficiência gerencial das propriedades, bem como alternativa para a recuperação de informações em tempo real. Sistemas computacionais aplicados à agropecuária podem aumentar não só a eficiência produtiva, mas também podem auxiliar pesquisadores, extensionistas e produtores

rurais na análise e minimização de impactos ambientais e sociais, gerados pela adoção de tecnologia (Mendonça et al., 2004).

O IFSM é um modelo de simulação desenvolvido nos EUA que integra os principais processos biológicos e físicos de uma fazenda e avalia os desempenhos técnicos, econômicos e ambientais a partir de um conjunto de práticas gerenciais (Rotz et al., 2015).

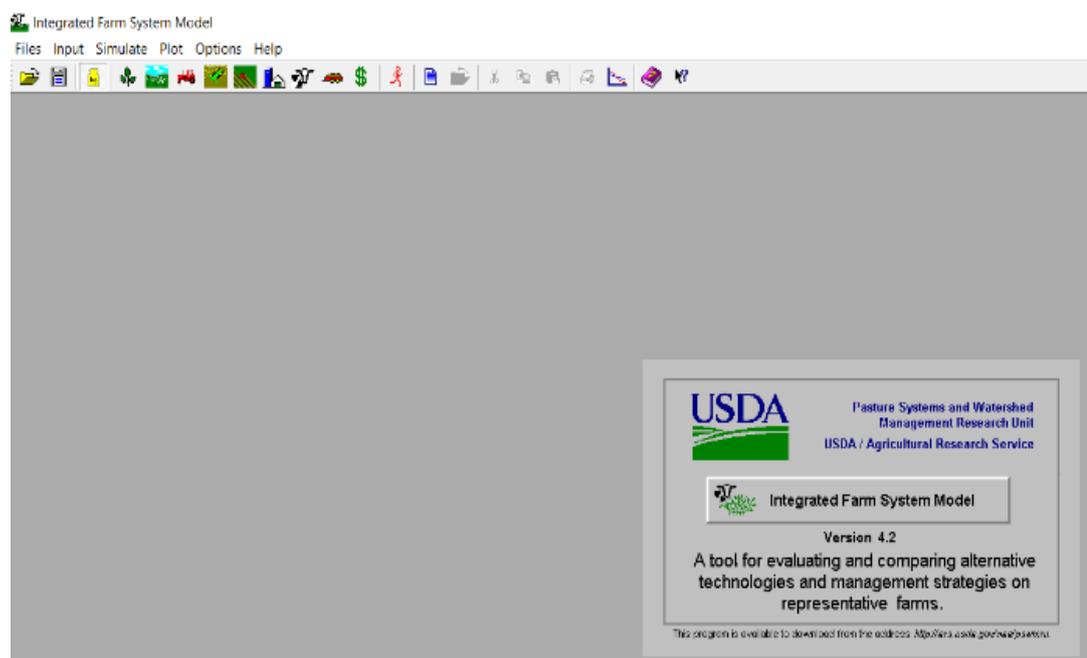


Figura 2. Tela inicial do simulador Integrated Farm System Model (IFSM)

Segundo Belflower et al., (2012) o IFSM é uma ferramenta útil para avaliar simultaneamente o efeito combinado de estratégias de alimentação e manejo de dejetos sobre as emissões de GEE e rentabilidade.

O desenvolvimento do modelo de simulação completo começou no início dos anos 1980 nos EUA. O modelo conhecido como “Dairy Forage System Model” ou DAFOSYM, interligou os modelos de produção de milho e alfafa com um outro modelo de predição de consumo para gado de leite para predizer a necessidade de produção de alimentos e o seu consumo na fazenda. Este modelo foi ampliado com componentes adicionais para simular o armazenamento de alimentos e o desempenho animal. O manejo do esterco, preparo do solo, e

as operações de plantio foram então adicionados para estender o modelo para uma simulação de fazendas completas (incluem todo o sistema de produção). O modelo foi ampliado ainda mais pela adição de componentes que simulam pastagem, crescimento de outras culturas como soja, aveia, trigo, etc., além da colheita e armazenamento. Através de uma grande revisão, o componente pecuária de corte foi adicionado juntamente com uma opção de agricultura (fazenda sem animais), para formar o IFSM (Rotz et al., 2015).

Recentemente, novos componentes foram adicionados para simular os impactos ambientais, incluindo a volatilização de amônia, lixiviação de nitrato, o escoamento de fósforo, e as emissões de GEE. Toda a simulação pode ser feita em um horizonte de até 25 anos.

O IFSM tem sido utilizado para estudar a viabilidade técnica e econômica de novas tecnologias em pecuária de leite, nas áreas de: fenação (Rotz et al., 1985; Rotz et al., 1990; Rotz et al., 1992; Harrigan et al., 1994), ensilagem (Rotz et al., 1993) e pastagem (Rotz e Rodgers, 1994; Rotz et al., 1996; Sanderson et al., 2006; Corson et al., 2007; Deak et al. 2010), ambientais (Soder e Rotz, 2001; Soder e Rotz, 2003; Borton et al., 1995; Harrigan et al., 1996), alimentação (Borton et al., 1997; Rotz et al., 1999a; Rotz et al., 1999b) e diferentes estratégias de manejo em diferentes sistemas de criação (Belflower et al., 2012; Rotz et al., 2014; Sanderson et al., 2006; Ghebremichael et al. 2007; Rotz et al. 2007; Chianese et al., 2009a; Chianese et al., 2009b).

Diferentemente da maioria dos outros simuladores, o IFSM simula todos os principais componentes da fazenda em processos. Isso permite a integração e ligação dos componentes de uma maneira que represente adequadamente as principais interações entre os diversos processos biológicos e físicos na fazenda, fornecendo uma ferramenta robusta de pesquisa e ensino para explorar em toda a fazenda o impacto de alterações na gestão e implantação de tecnologias. A simulação de processos continua a ser um objetivo importante como componentes adicionais, sendo desenvolvidos e adicionados nos modelos (Rotz et al., 2015).

O usuário especifica os recursos agrícolas para a execução de uma simulação. Esta base de recursos designa todas as entradas controláveis pelo sistema, ou seja, entradas assumidas para estar sob o controle e discricção do operador da fazenda. As entradas de dados controláveis pelo usuário descrevem a alternativa específica do sistema que está sendo simulado e incluem área de terra utilizada com cada cultura, o conjunto específico de

máquinas e equipamentos, quantidade e tamanho das estruturas de armazenamento de alimentos, tipo e número de animais e o tratamento de dejetos utilizados. Uma vez que as entradas controláveis foram inseridas, o modelo estabelece o nível de utilização dos recursos operacionais e fixos. Um custo extra também pode ser incluído para representar todas e quaisquer outros custos anuais que não são especificamente rastreados no modelo. (Rotz et al., 2015).

O modelo não considera a inflação, as taxas de juros atribuídas no modelo devem ser consideradas a real ao invés de taxas nominais. Subtraindo-se da taxa de inflação a taxa de juros nominal, que é normalmente cobrada nos empréstimos bancários, obtém-se uma aproximação da taxa de juros real. Taxas diferentes podem ser destinados a investimentos de médio e longo prazo. No modelo, todas as instalações permanentes são consideradas investimentos de longo prazo (Rotz et al., 2015).

As emissões totais de GEE são avaliadas a partir de uma fazenda completa, incluindo fontes e consumo de CO₂, CH₄ e N₂O. As principais fontes e consumidores de CO₂ incluem plantas, respiração do solo, fixação da planta, respiração animal, armazenamento de esterco, adubo natural e queima de combustíveis (Rotz et al., 2015).

Quando estratégias pontuais de mitigação de GEE são avaliadas isoladamente, a sua implementação pode afetar emissões de GEE em outros lugares dentro do sistema agrícola, alterando assim o benefício líquido global da estratégia de mitigação. A abordagem via modelagem é o único método capaz de avaliar todas as fontes de sequestro e emissão de GEE de sistemas de produção de leite (O'Brien et al., 2010).

Um estudo com nutrição e manejo de esterco, usando o IFSM, concluiu que mudanças de manejo alimentar, diminuindo a proporção de forragem/concentrado na dieta, reduziu as emissões de GEE, e ainda, a produção de leite aumentou entre 5-10% (Dutreuil et al., 2014). Sendo que essas mudanças ainda podem melhorar a rentabilidade em alguns casos. O mesmo estudo mostrou que mudanças no manejo de esterco podem reduzir as emissões de GEE, mas essas mudanças tiveram efeito negativo sobre a rentabilidade (Dutreuil et al., 2014).

Resultado semelhante foi obtido avaliando o impacto ambiental de fazenda de bovinos leiteiros com sistema de produção a pasto e confinamento no sudeste dos EUA. As emissões de carbono (C) dos dois sistemas de produção foram semelhantes para a pegada de carbono (“carbon footprint”). Foram encontradas diferenças similares em pegada de carbono entre os

dois sistemas de produção se o CO₂ biogênico foi incluído ou excluído da avaliação. Quando incluído, a pegada de carbono a partir da produção a pasto foi 4% maior do que a de confinamento. Esta diferença deveu-se principalmente a menor produção de leite a pasto, o que exigiu maior gasto com manutenção dos animais por unidade de leite produzido. Quando o sequestro potencial de C no solo de pastagem perene foi considerado, a pegada de carbono do leite produzido a partir do pasto foi 12% menor do que a do leite produzido em confinamento. O sequestro de carbono pelo solo sob pastagem seria lento ao longo do tempo. Quando o solo atingir um novo nível de equilíbrio, este benefício iria diminuir. A erosão e a perda de fósforo foram muito maiores nas fazendas com rebanho confinado por causa do alto teor de argila no solo e a grande área de terra cultivada a cada ano para produzir culturas anuais. A lixiviação de nitrato foi maior na fazenda a pasto por causa da textura do solo mais grosseira, além da deposição de urina e fezes pelos animais no pasto, criando altas concentrações de N em pequenas áreas de terra. A volatilização da amônia foi maior no esterco durante o armazenamento e na sequência nos rebanhos confinados em piso de terra comparados com as emissões dos animais pastejando no sistema a pasto. Esta análise indica que os benefícios ambientais em gado de leite a pasto, são obtidos quando as pastagens são bem manejadas principalmente através da redução da erosão e do escoamento de fósforo e redução das emissões de gases a partir de estrume, como a amônia (Belflower et al., 2012).

Um estudo de caso na Pensilvânia demonstrou a vantagem econômica para o sistema orgânico de produção em relação aos sistemas convencionais quando os sistemas de produção utilizaram a mesma área, tamanho do rebanho, tipo de solo e clima. O sistema de produção orgânico foi altamente sensível à diferença entre os preços do leite orgânico e convencional, bem como a diferença na produção de leite por vaca entre sistemas de produção de leite orgânico e convencional. Alguns fatores que tiveram pouco efeito sobre a rentabilidade relativa de produção orgânica sobre convencional, incluíram: os custos com sementes e defensivos, preços de forragem e diferenças entre preços dos animais do sistema orgânico e convencional, área de zona tampão, os custos ou preços assumidos para a certificação orgânica, máquinas, roçada de pasto, equipamentos distribuidores, combustível e trabalho (Rotz et al., 2007).

Outro estudo econômico, Hoshide et al. (2011) simulando três fazendas de leite orgânicas representativas do estado de Maine, com 30, 120 e 220 vacas de leite, mostrou que

os resultados obtidos foram dependentes do tamanho da fazenda. A partir dos resultados, sugere-se que pequenas fazendas produtoras de leite orgânico podem ser mais rentáveis com sistemas a base de pasto em vez de sistemas à base de silagem de milho, devido a menores custos fixos, com o uso apenas de equipamentos associados a colheita de forragens perenes e seu armazenamento. A fazenda com tamanho maior foi mais rentável utilizando um sistema à base de silagem de milho, devido a maior economia de escala com a produção integrada de soja, milho grão, cereais de inverno e silagens (Hoshide et al., 2011). Resultado semelhante foi encontrado por Hardie et al. (2014) que encontraram uma maior receita em relação aos custos com alimentação, em uma fazenda com um maior número de vacas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo de desempenho econômico e ambiental de sistemas de produção de gado leite orgânico nos EUA, utilizando o IFSM iniciou-se em agosto de 2013 com as primeiras coletas de informações e encerrou a fase de coleta de dados em janeiro de 2016.

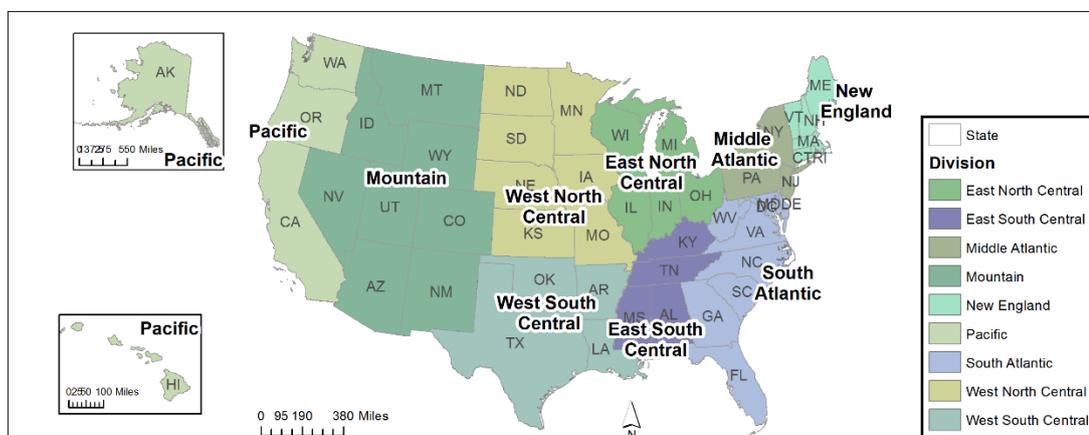
3.1 Local de realização do estudo

O estudo foi desenvolvido nas dependências da Keener Dairy Research Building, localizado na Universidade de New Hampshire, na cidade de Durham, no estado de New Hampshire, nos EUA.

O projeto de pesquisa contou com a colaboração de pesquisadores e extensionistas da Universidade de Maine, Universidade de Vermont, Universidade de Cornell, Universidade de Wisconsin e do Departamento de Agricultura dos EUA (USDA).

O estudo levou em conta informações oriundas de 84 fazendas de leite orgânico, abrangendo seis estados Americanos de três regiões geográficas distintas (Figura 2). As três regiões foram: East North Central (ENC), Middle Atlantic (MA) e New England (NE).

Figura 3. Localização das regiões New England (NE), Middle Atlantic (MA) e East North Central (ENC).



Fonte: www.census.gov/geo/reference/webatlas/divisions.html

Na região ENC foram utilizados os dados de 69 fazendas de leite orgânico localizadas no estado de Wisconsin. Na região do MA foram coletados dados de seis fazendas nos estados da Pensilvânia e Nova York, sendo três fazendas em cada estado. Para a região de NE foram coletados dados de nove fazendas localizadas nos estados de New Hampshire, Maine e Vermont, sendo três fazendas em cada estado (Tabela 2). Do total de 84 fazendas, 83 pertencem a produtores e uma pertencente a Universidade de New Hampshire, nas dependências da Keener Dairy Research Building.

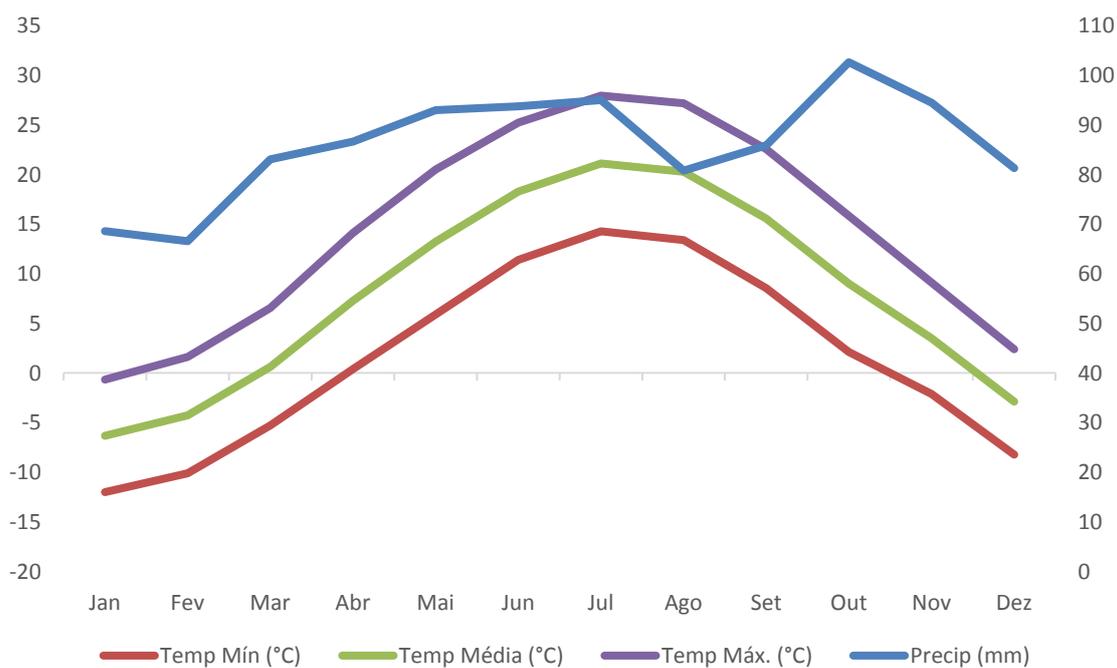
Tabela 2. Distribuição das 84 fazendas de leite orgânico de acordo com a região

Região	Estado	Número de Fazendas
New England	Maine (ME)	3
	New Hampshire (NH)	3
	Vermont (VT)	3
Middle Atlantic	New York (NY)	3
	Pennsylvania (PA)	3
East North Central	Wisconsin (WI)	69
	Total	84

3.2 Dados Climatológicos

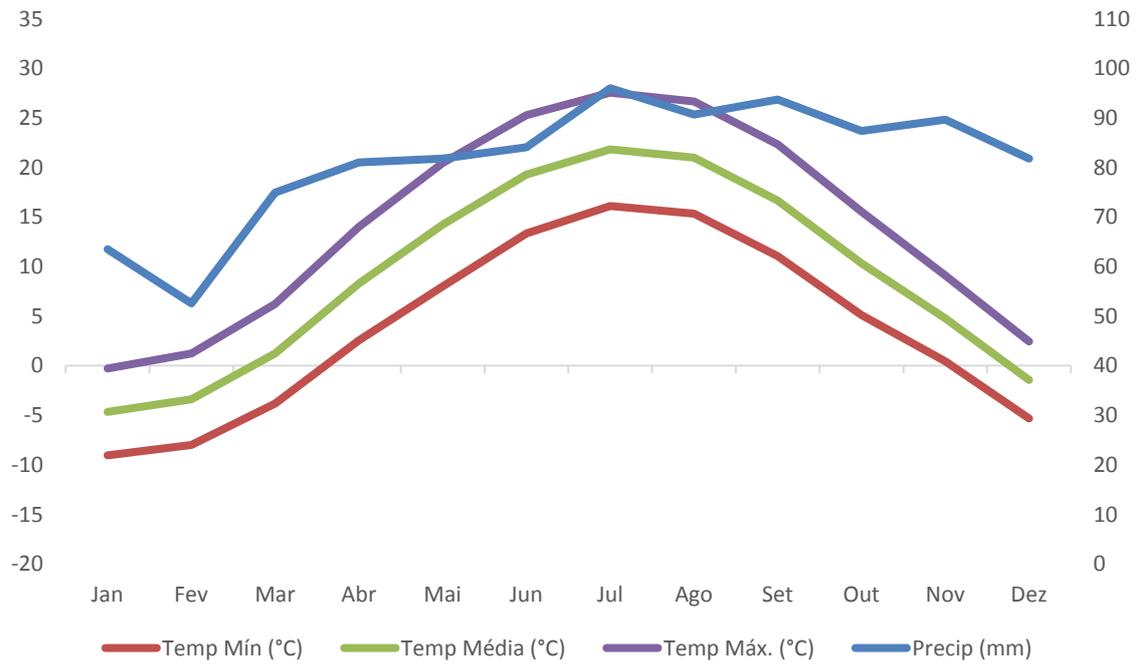
Foram escolhidas estações meteorológicas centrais em cada região para que houvesse representação do clima médio. Para a simulação foram utilizados os dados históricos diários de precipitação, temperatura mínima e máxima e radiação solar de 25 anos em cada estação. As normais climatológicas do período de 1981-2010 obtidos através da NOAA “National Oceanic and Atmospheric Administration” (NOAA, 2016) de cada estação utilizada nas simulações estão representadas nas (Figuras 4, 5 e 6). Os dados climáticos diários utilizados no presente estudo foram: precipitação, temperaturas mínimas e máximas e a radiação solar. Estes dados, contidos na biblioteca do simulador foram utilizados pelo IFSM nos modelos de crescimento de plantas, para cálculos de produção de forragem e grãos.

Figura 4. Normais climatológicas do município de Concord, NH, EUA



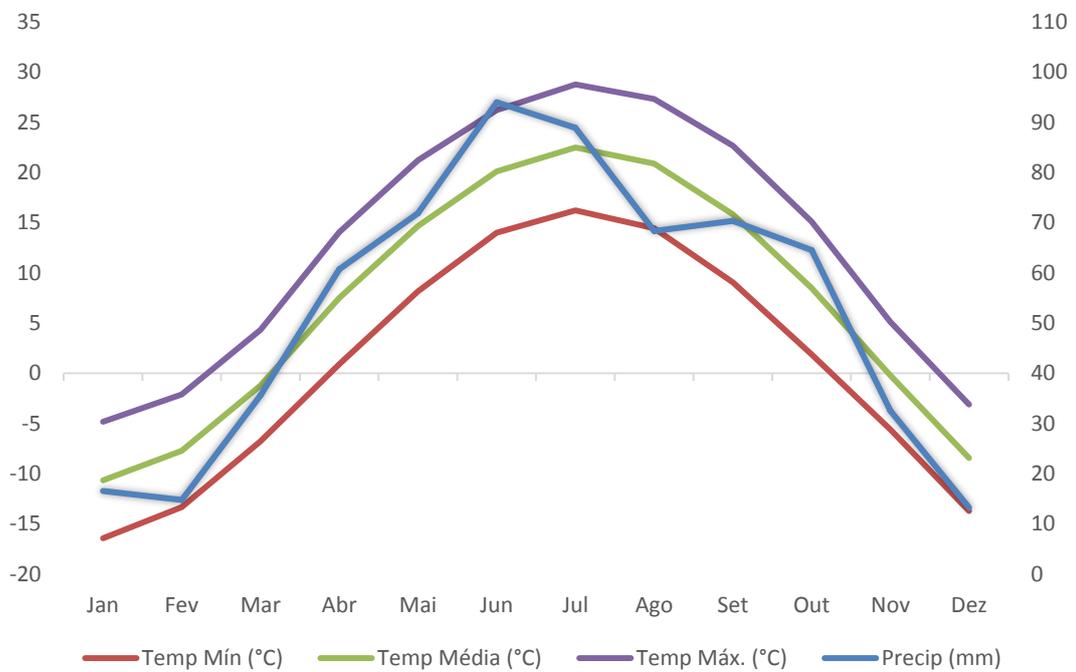
Fonte: NOAA (2016)

Figura 5. Normais climatológicas do município de Syracuse, NY, EUA



Fonte: NOAA (2016)

Figura 6. Normais climatológicas do município de Madison, WI, EUA



Fonte: NOAA (2016)

3.3 Coleta, Análise de Dados e Estatística

Foram realizados levantamentos de dados a campo de cada fazenda de leite orgânico nas regiões estudadas, para que houvesse um dado representativo, possibilitando a extrapolação dos resultados para diferentes simulações. Os dados foram coletados, compilados e criados bancos de dados com informações das 84 fazendas de leite orgânico. A obtenção dos dados na região MA e NE (Banco de Dados 1, BD1) se deu de maneira distinta da região ENC (Banco de Dados 2, BD2).

A fase de coletas de dados, nas regiões MA e NE (BD1), contemplou o período de agosto de 2013 e janeiro de 2016. Foram formadas equipes em cada instituição envolvida ficando responsáveis pelo levantamento de dados a campo em cada Estado (Tabela 3). As equipes foram responsáveis por selecionar os produtores a serem incluídos no projeto. Foram feitas reuniões periódicas para discutir os dados. Os trabalhos foram coordenados a partir da Universidade de New Hampshire.

Tabela 3. Distribuição das equipes responsáveis pelo levantamento de dados a campo

Região	Estado	Instituição responsável
New England	Maine (ME)	Universidade de Maine
	New Hampshire (NH)	Universidade de New Hampshire
	Vermont (VT)	Universidade de Vermont
Middle Atlantic	New York (NY)	Universidade de Cornell
	Pennsylvania (PA)	USDA
East North Central	Wisconsin (WI)	Universidade de Wisconsin

Foram realizadas reuniões via videoconferência e presenciais para condução e ajustes dos trabalhos realizados em equipe.

Foram feitas visitas quinzenais nas fazendas, no período de pastejo (aproximadamente de abril a novembro) e mensais, no período (inverno) que os animais ficam confinados em galpões (aproximadamente de dezembro a março). No período de uso de pastagem, foram coletadas amostras de forragem, leite (diretamente no resfriador) e ração. No período em que os animais ficaram estabulados, foram coletadas as amostras de forragem conservada.

As amostras de capim foram coletadas diretamente no piquete um dia antes do pastejo, para estimar a disponibilidade de forragem, identificar as espécies de gramíneas e leguminosas predominantes e sua composição nutricional. As amostras de forragem conservadas foram coletadas no momento em que foram fornecidos aos animais.

Os animais foram ordenhados duas vezes por dia, sendo a produção de leite quantificada, amostrada e enviada mensalmente para análise em laboratório. As amostras de leite foram conservadas através da adição de 2-bromo-2-nitropropan-1,3 diol. Os procedimentos foram realizados mensalmente, durante todo o período de duração do projeto pelo National Dairy Herd Improvement Association (DHIA), uma associação nacional americana que presta serviço de controle zootécnico em todas as fazendas que fizeram parte do estudo. Da mesma maneira, os dados referentes ao controle zootécnico do rebanho foram obtidos. Maiores detalhes sobre os procedimentos adotados pelo DHIA para coleta de amostras de leite estão disponíveis em (<http://www.dhia.org/uop.pdf>). Após a fase de coleta e análises das amostras de leite e com prévia autorização dos produtores, os dados referentes a composição e qualidade do leite, bem como os índices zootécnicos, foram obtidos junto ao DHIA, compilados e incluídos no banco de dados do projeto.

Na região ENC (BD2), os dados foram coletados pela Universidade de Wisconsin diretamente com os produtores por meio de formulário específico, uma única vez. A escolha dos produtores participantes, foi feita a partir de uma lista contendo todos os produtores de leite orgânico do estado de Wisconsin. Todos os produtores foram convidados a participar do estudo. Na etapa seguinte, estes foram contatados e os que aceitaram participar do estudo, receberam a visita dos pesquisadores. Cada produtor foi remunerado com 100 dólares para responder todo o questionário. Em seguida, os questionários preenchidos foram compilados para verificar a consistência dos dados. Os questionários com dados incompletos ou com algum tipo de inconsistência, foram descartados, resultando em 69 fazendas com informações completas. Os dados estão disponíveis em (<http://dairymgt.info/tools/ds/index3.php>) e foram utilizados com autorização do autor.

Todos os dados provenientes do BD1 e BD2, foram compilados em planilha eletrônica Microsoft Excel. Os dados foram agrupados por estado, região e na ordem cronológica das informações.

Foram construídos modelos auxiliares, para cálculo dos preços médios, utilizados na entrada de dados do IFSM. Os preços de leite recebidos pelo produtor e utilizados na simulação foram obtidos através de pesquisa de mercado, considerando a região produtora, composição, qualidade e tipo de leite produzido de acordo com a raça e o sistema de alimentação utilizado em cada tratamento. O primeiro modelo foi utilizado para determinar o preço do leite recebido pelo produtor e teve como base o preço médio do leite recebido pelos produtores no ano de 2014, considerando o sistema de pagamento de um laticínio com atuação em todas as regiões estudadas. Foram considerados todos os componentes para composição do preço final sendo preço base, bonificações como: prêmio nacional, prêmio de ajuste de mercado e prêmio regional, parâmetros de qualidade como: proteína, gordura, sólidos totais, contagem bacteriana total, células somáticas, contagem do número de bactérias resistentes a pasteurização e contagem do número de bactérias psicotrópicas. O segundo modelo foi utilizado para definir o valor médio para aquisição de insumos em cada região e foi baseado em uma pesquisa de mercado que considerou o preço dos principais insumos utilizados pelo produtor, como por exemplo, suplementos proteicos, energéticos, vitamínicos e minerais, combustível, mão de obra e serragem para cama dos animais.

Foi utilizada a análise estatística descritiva de acordo com a metodologia utilizada nos trabalhos de Belflower et al. (2012), Dutreuil et al. (2014), Hardie et al. (2014), Hoshide et al. (2011) e Rotz et al., (2007). Não foram utilizados testes de média, seguindo recomendação do trabalho de White et al. (2014). Segundo o autor, os testes de média não são indicados para interpretar os resultados provenientes de modelos de simulação. Estes devem ser abandonados e somente a avaliação da magnitude das diferenças entre simulações deve ser considerada. Dois são os motivos citados: primeiro, os valores de P são determinados por força estatística, ou seja, por replicação, que pode ser arbitrariamente elevado num contexto de simulação, produzindo valores muito reduzidos de P, independentemente do tamanho do efeito; segundo, a hipótese nula de nenhuma diferença entre os tratamentos (por exemplo, os valores dos parâmetros) é conhecida a priori para ser falso, invalidando a premissa do teste. A utilização de valores de P é problemática, ao invés de simplesmente irrelevante, porque os reduzidos valores de P, dão uma falsa sensação de importância para as diferenças observadas.

3.4 A Fazenda Média

Para possibilitar a comparação entre regiões e sistemas de produção distintos, foi determinado uma fazenda média a partir dos dois bancos de dados compilados (BD1 e BD2). A fazenda média foi obtida a partir da média aritmética dos parâmetros pesquisados nesses bancos de dados. Assim, foram consideradas as 84 fazendas produtoras de leite orgânico nas três regiões estudadas.

A fazenda média serviu como fazenda única (base) para todos os tratamentos, representando o produtor de leite médio das três regiões, sendo os dados médios dos parâmetros levantados inseridos no IFSM.

Devido à grande variação de solo nas fazendas e a disponibilidade de nutrientes, foi considerado nas simulações, dados de um solo representativo, com textura média e com concentrações de nutrientes padrão oriundas da biblioteca do IFSM.

As máquinas e equipamentos utilizados foram dimensionados para a fazenda média, considerando as necessidades específicas de cada sistema de produção. As demais entradas de dados foram iguais em todas as simulações, exceto aos relacionados as especificidades de cada tratamento.

Foi considerado um sistema de abastecimento de água com rede de distribuição e bebedouros e aquecimento da água no inverno.

Para o manejo de dejetos nas simulações feitas, foi definido que todo o dejetos produzido foi aplicado nas áreas de pastagens e produção de silagem, a exceção do sistema que utiliza silagem de milho, que 50% do total foi direcionado para a área de produção de silagem de milho. O esterco foi armazenado e distribuído a cada 4 meses por um distribuidor acoplado ao trator.

No período outono-inverno os animais ficaram estábulados em tie-stall com cama de serragem de madeira e no período primavera-verão os animais ficaram em pastagens compostas por gramíneas e leguminosas. Esse tipo de instalação foi considerado nas simulações por ser a predominante. A vida útil da pastagem considerada foi de 10 anos, o solo utilizado tinha médio teor de argila, com declividade de 3 a 8% e o teor inicial de fosforo considerado ideal (entre 30 e 50 ppm).

3.5 O Simulador Bioeconômico

Para avaliação do desempenho econômico e ambiental dos sistemas simulados de produção de leite orgânico foi utilizado o software de simulação de sistemas completos de produção IFSM na versão 4.2 (Rotz et al., 2015), disponível em <https://www.ars.usda.gov/services/software/software.htm>. Os principais parâmetros utilizados estão descritos na Figura 7.

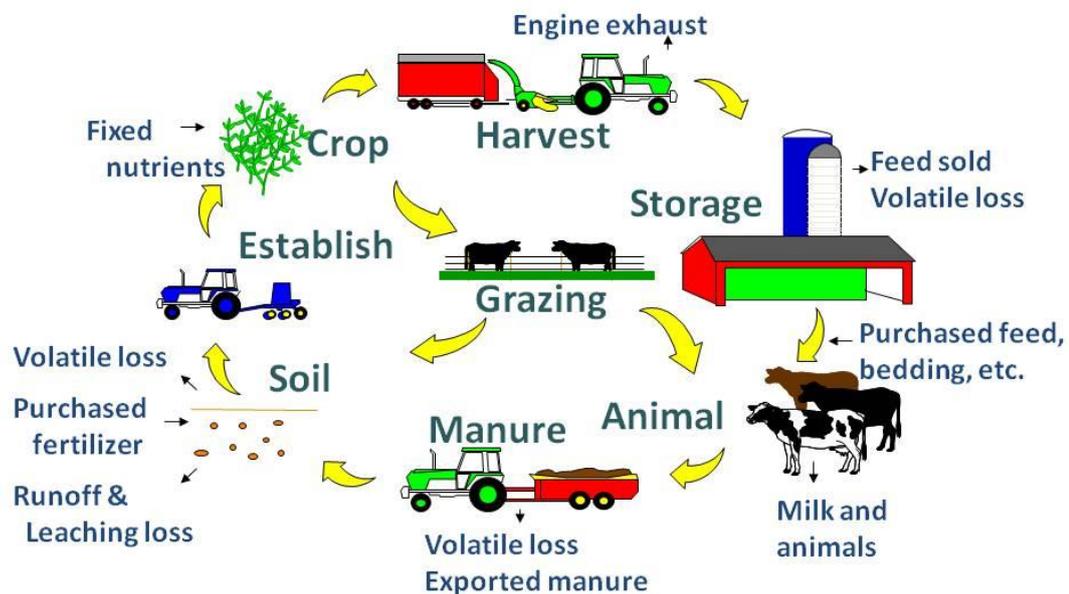


Figura 7. Principais parâmetros utilizados pelo Integrated Farm System Model (IFSM) na simulação de sistemas completos de produção

Fonte: Rotz et al. (2015).

3.6 Tratamentos

Foram feitas seis simulações com diferentes sistemas de produção de leite orgânico. Todos os tratamentos foram simulados em cada uma das três regiões. Assim, o estudo foi composto por 18 tratamentos.

Os sistemas de produção de leite orgânico simulados foram compostos por dois tipos de leite produzidos, sendo: orgânico com uso de grãos na dieta ou orgânico tradicional (ORG-T); orgânico sem uso de grãos na dieta, com a utilização exclusiva de gramíneas/leguminosas perenes ou “GRASSFED”. Com relação a alimentação, foram simuladas duas fontes de forragem: silagem de milho e pastagem (SM+GRASS) ou exclusiva com forrageiras perenes utilizadas na forma de pastagem e silagem pré-secada (GRASS). Duas raças foram utilizadas na simulação: Jersey e Holandês. Ainda fizeram parte dos tratamentos as diferentes regiões estudadas: North East Central (NEC), Middle Atlantic (MA) e New England (NE). Todos os alimentos utilizados na simulação foram certificados como orgânicos.

3.7 Índices Zootécnicos, Agronômicos e Manejo Nutricional dos Sistemas de Produção

Os animais foram estabelecidos no período outono-inverno, onde receberam toda a alimentação. No período do ano com temperaturas mais altas (primavera-verão) que possibilitaram o uso de pastejo, os animais foram mantidos em piquetes rotacionados constituídos por gramíneas consorciadas com leguminosas. O uso obrigatório de pastagem é exigência legal para produção de leite orgânico nos EUA.

Os parâmetros agronômicos e zootécnicos avaliados foram: produtividade das áreas destinadas a produção de grãos, feno de baixa e de alta qualidade, silagem de alta e baixa qualidade, pasto consumido, forragem vendida, grãos comprados, minerais e vitaminas comprados e produção de leite e sólidos do leite. A qualidade da forragem produzida foi determinada através do modelo de crescimento de plantas em função das condições climáticas consideradas.

O manejo nutricional foi idêntico em todas as simulações, alterando apenas o que se refere aos tratamentos. Foi estabelecido o atendimento a 100% das exigências do NRC (2001) para cálculo das necessidades nutricionais. Maiores detalhes sobre o cálculo de exigências podem ser encontrados em Rotz et al. (2015).

A disponibilidade de forragem das pastagens e a produção de silagem, foi calculada pelo IFSM, levando em consideração a composição botânica das pastagens, fertilidade do solo e os dados diários de pluviosidade, temperatura e radiação solar. O simulador não ajusta a taxa de lotação em pastagens. O número de animais foi fixo e caso a produção de alimento na

propriedade não fosse suficiente, o déficit foi compensado com a compra de alimentos, seja grãos ou forragem conservada. Esta prática é comum entre os produtores nos EUA e há um mercado bem desenvolvido nas regiões estudadas. A compra de alimentos, possibilitou um rebanho estabilizado em um número animais nas comparações. Assim, não houve diferença no número total de animais, de fêmeas em reprodução e de animais vendidos. As obras de alimentos também eram vendidas.

No período em que os animais foram confinados, foi considerado a produção de silagem pré-secada oriundas de campos de produção compostos por gramíneas consorciadas com leguminosas, sendo armazenadas compactados na forma de fardos envolvidos individualmente por material plástico para o sistema GRASS. Para o sistema SM+GRASS a planta de milho foi colhida, picada, transportada e compactada em silos tipo “bunker” e cobertos por lona plástica.

3.8 Parâmetros Ambientais

O IFSM incorpora alguns submodelos de avaliação de parâmetros ambientais. Uma breve descrição foi inserida neste trabalho e a descrição mais detalhada e as principais fórmulas matemáticas podem ser encontradas no trabalho de Rotz et al. (2015).

Foram analisados parâmetros de sustentabilidade referentes a emissão de GEE (CH₄, CO₂ e N₂O) e os seus equivalentes a CO₂ (kg) emitidos pelos: animais, produção de alimentos, emissões biogênicas e antropogênicas, matérias primas e produção de leite total por vaca e por litro de leite produzido.

3.8.1 Dióxido de carbono

O IFSM utiliza equações para estimar o total de C fixado pela fotossíntese e da emissão de CO₂ pela respiração do solo e da planta. A maioria dessas equações incorporados ao IFSM foram tomadas diretamente do modelo DAYCENT Versão 4.5. Maiores detalhes do submodelo que compões o IFSM podem ser encontrados no modelo DAYCENT (DAYCENT, 2007) e na documentação do modelo (CENTURY, 2007).

A emissão de CO₂ pela respiração animal é muitas vezes ignorada como uma fonte de emissão de GEE (IPCC, 2001; IPCC, 2007). Este CO₂ aspirado faz parte do ciclo de C que inicialmente começa com a fixação fotossintética pelas plantas. Quando os animais

consomem a planta (C fixado no material vegetal), eles convertem de volta para CO₂ pela respiração (Kirchgessner et al, 1991; IPCC, 2001). Em uma fazenda, a respiração animal é uma fonte importante em relação a outras emissões de CO₂. No geral, o CO₂ liberado em grande parte compensa o CO₂ sequestrado pelas plantas. No entanto, uma parte do C ingerido é convertido e liberado na forma de CH₄ e outra parte no leite produzido pelos animais. Para obter uma contabilidade geral e o balanço de todo o fluxo de C da fazenda, todas as fontes de emissões de C, incluindo a respiração animal, são consideradas. Um modelo desenvolvido por Kirchgessner et al. (1991), correlaciona as emissões de CO₂ com ingestão de matéria seca e foi utilizado no IFSM para prever a respiração animal.

Os pisos dos galpões podem ser uma fonte de emissões de CO₂ devido à decomposição da matéria orgânica proveniente do esterco depositado pelos animais. Apesar de não ser uma grande fonte, as emissões do piso foram incluídas no modelo para se obter uma simulação global das emissões de todas as fontes de CO₂. A equação desenvolvida por Chianese et al. (2009b), através de análise de regressão relacionando as emissões de CO₂ com a temperatura ambiente no galpão e área útil coberta pelo esterco, foi utilizada.

Os dejetos foram armazenados por 4 meses antes de serem utilizados como fertilizante nas áreas de produção, sendo utilizado para todos os tratamentos. A metodologia utilizada para cálculo de emissão de GEE no armazenamento de dejetos pode ser encontrado em Rotz et al. (2015).

Durante as operações agrícolas realizadas com tratores e outros equipamentos o C do combustível é transformado em CO₂, sendo a quantidade emitida proporcional ao seu consumo. O IFSM utilizou um fator de conversão de 2,637 kg CO₂ eq/litro de diesel consumido como descrito no trabalho de Wang et al. (2012). O consumo de combustível foi determinado através da simulação de cada operação agrícola realizada, obtendo-se com a soma delas o total anual. O consumo total anual foi multiplicado pelo fator de conversão para se chegar a emissão anual de CO₂.

3.8.2 Emissão de Metano

O CH₄ é um forte GEE com um potencial de aquecimento global cerca de 25 vezes maior que a de CO₂ (IPCC, 2007). Vários processos emitem CH₄ provenientes de sistemas de

produção leite. A maioria do CH_4 é produzida através da fermentação entérica, seguido pelas emissões provenientes do armazenamento do esterco (Chianese et al., 2009a). Além destas principais fontes, emissões menores resultam da aplicação de esterco e nas fezes depositada pelos animais nos galpões ou na pastagem. O modelo computa as emissões que ocorrem imediatamente após a aplicação, pois podem resultar em emissões significativas.

3.8.2.1 Emissão por Fermentação Entérica

O IFSM utiliza uma equação desenvolvida por Mills et al. (2003) denominada Mits3. O Mits3 é um modelo simplificado que satisfaz os requisitos para uso em simulação completa. O modelo é baseado na composição da dieta e é capaz de contabilizar práticas de manejo que alteram o consumo da dieta pelo animal, bem como tipo e tamanho do animal. Quando foi comparado com os dados dos EUA, Mits3 produziu um coeficiente de regressão de 0,89 com intercepto de 3,50 e raiz quadrada do erro quadrático médio (MSPE) de 34,1% (Mills et al., 2003). Além disso, Mits3 previu emissões realistas nos extremos valores dos parâmetros. Com o consumo zero, o modelo prevê a zero produção de CH_4 ; no outro extremo da ingestão de alimentos muito alta, o modelo não linear prevê que a emissão de CH_4 se aproxima do máximo. Assim, o modelo pode ser aplicado às condições fora daquelas para as quais foi originalmente desenvolvido e avaliadas, prevendo emissões razoáveis.

Três entradas de modelo são necessárias: teor de amido e fibra em detergente ácido (FDA) da dieta e o consumo de energia metabolizável. Estas entradas são facilmente obtidas a partir dos componentes de alimentação e de animais. Através destes insumos, a produção de CH_4 está diretamente relacionado à dieta e indiretamente relacionadas ao tamanho e tipo animal. Isto permite a previsão de mudanças na produção de CH_4 como as afetadas por mudanças na nutrição e manejo animal. Uma descrição detalhada do modelo pode ser encontrada em Mills et al. (2003).

3.8.2.2 Emissão nos Galpões de Confinamento

As fezes e urina contidos nos pisos dos galpões de alimentação são também uma pequena fonte de emissão de CH₄. Nenhum modelo ou dados publicados foi encontrado para calcular esta fonte de emissão. Assim, o IFSM utilizou uma equação empírica relacionando a emissão de CH₄ com a temperatura ambiente no galpão ($R^2 = 0,48$) desenvolvida por Chianese et al., (2009a) a partir de dados não publicados de emissão de CH₄ medidos em pisos de free stall.

Quando o dejetos fica acumulado em camadas, as emissões de CH₄ aumentam. Para esta opção de manejo, uma adaptação da abordagem Tier 2 do IPCC (2006) foi utilizada. A emissão em um determinado dia é função da temperatura ambiente do galpão e do fator de conversão de CH₄ (MCF).

Em climas quentes e secos, os animais são muitas vezes alojados em currais abertos. O dejetos normalmente acumula-se na superfície do solo durante semanas ou meses antes de ser removido. Para prever as emissões a partir deste tipo de superfície, a abordagem de nível 2 do IPCC (2006) foi utilizada novamente. Com base nos dados do IPCC, o MCF foi modelado como uma regressão linear com a temperatura exterior do ambiente.

Em sistemas que combinam free stall e currais abertos, foi feita a suposição de que a deposição foi realizada em partes iguais. A emissão total é realizada através da soma das duas fontes modeladas utilizando as equações apropriadas. Os modelos resultantes utilizados para os cálculos de emissões nos galpões podem ser encontrados em Rotz et al. (2015).

3.8.2.3 Emissão via Armazenamento e Aplicação de Dejetos

Durante o armazenamento do esterco, o CH₄ é gerado através de uma reação semelhante à descrita para a fermentação entérica. A celulose no esterco é degradada por microrganismos, com os produtos do processo químico servindo como substratos para a metanogênese. A temperatura e o tempo de armazenamento são os fatores mais importantes que influenciam as emissões de CH₄ a partir de esterco armazenado porque a quantidade de substrato e crescimento microbiano geralmente não são limitados. Embora os processos sejam semelhantes, há diferenças importantes entre o rúmen e armazenagem do esterco. A temperatura no armazenamento varia, em contraste com a do rúmen que é relativamente

constante e o esterco armazenado de forma mais heterogênea (por exemplo, o substrato não está muito bem misturados e alguns hidratos de carbono já estão parcialmente decomposto), quando comparado ao rúmen.

O modelo de Sommer et al. (2004) foi utilizado no IFSM para simular a produção e emissão de CH₄ a partir do armazenamento de esterco e é baseado na degradação de sólidos voláteis. Fatores adicionais que afetam a produção de CH₄ são a temperatura e tempo de armazenamento. A descrição detalhada do modelo pode ser encontrada no trabalho de Sommer et al. (2004).

As pesquisas têm demonstrado que esterco líquido aplicado no solo é uma fonte de emissão de CH₄ durante vários dias após a aplicação, emitindo entre 40 e 90 g CH₄/ha/dia (Chianese et al., 2009b). As emissões diminuem drasticamente nos primeiros dias após a aplicação e os solos voltam a ser uma fonte neutra de CH₄ após 11 dias. Para simular essas emissões o IFSM incorporou duas equações desenvolvidas nos trabalhos de Paul e Beauchamp (1989) e de Sherlock et al. (2002). A primeira é utilizada para determinar uma concentração inicial de ácidos graxos voláteis (AGV) e a segunda para determinar a concentração de AGV através do tempo seguinte a aplicação no campo. Sherlock et al. (2002) relacionaram emissões de CH₄ a partir de chorume aplicado nas áreas de produção com a concentração de AGV no solo. A presença de AGV no solo ocorre em função da aplicação do dejetos. Assim, esse modelo foi utilizado para relacionar as emissões de CH₄ através da concentração de AGV no dejetos comparado a concentração no solo (Rotz et al., 2015).

3.8.2.4 Emissão via Pastejo dos Animais

Nos tratamentos estudados, as fazendas utilizaram pasto uma parte do ano. Assim, as fezes e a urina recém-excretadas são depositadas diretamente pelos animais nas pastagens. Estudos têm demonstrado que as fezes são uma pequena fonte de CH₄ e que as emissões provenientes da urina não são significantes (Jarvis et al., 1995; Yamulki et al., 1999). Assim, as fezes depositadas pelos animais contribuem minimamente para as emissões totais de CH₄ da fazenda e existem poucos dados quantificando essas emissões.

Devido à falta de dados de apoio e a relativa baixa importância desta fonte de emissão para as emissões totais na fazenda, um fator de emissão constante foi utilizado pelo IFSM para prever emissões de CH₄ a partir de fezes depositadas no pasto pelos animais. Para determinar esse fator de emissão, taxas de emissão foram obtidas a partir dos estudos publicados por Jarvis et al. (1995); Flessa et al. (1996); Holter et al. (1997); Yamulki et al. (1999), sendo a média deles (0,086 g CH₄/kg de fezes) utilizada no IFSM. Portanto, nos sistemas a pasto, a emissão diária de CH₄ foi predita pelo produto da taxa de emissão e a quantidade diária de fezes excretadas no pasto.

3.8.3 Emissão de Óxido Nitroso (N₂O)

O modelo DAYCENT (DAYCENT, 2007) foi utilizado no IFSM para simular as emissões de N₂O. As comparações com os dados observados mostraram que o submodelo de gás foi mais preciso para prever os dados observados ($R^2 = 0,74$) em comparação a metodologia do IPCC (Chianese et al., 2009d). A documentação detalhada do módulo de N₂O DAYCENT utilizado para compor parte do IFSM, pode ser encontrado em Del Grosso et al. (2000) e Parton et al. (2001).

Os dejetos depositados nos pisos free stall e tie stall tendem ser uma fonte insignificante de emissão de N₂O (Chianese et al., 2009d). Com base nos dados disponíveis limitados, a emissão de N₂O foi modelada como zero vindo dos pisos destas instalações onde o esterco é removido diariamente.

Os dados limitados indicam que uma pequena quantidade de N₂O entérico é emitida pelos animais (Hamilton et al., 2010). Com base nestes dados, uma taxa de 0,8 g N₂O/kg N consumido foi definido para prever esta emissão entérica de gado de leite pelo IFSM.

Outra fonte de emissão de N₂O considerada é o armazenamento de dejetos. As emissões de N₂O para esterco líquido armazenado são preditos em função da área de superfície exposta. Um modelo baseado em procedimentos comprovados não está disponível para representar esta fonte de emissão, portanto, uma abordagem mais simples foi utilizada no simulador. Para um tanque de armazenamento de esterco líquido descoberto, uma taxa de emissão média de 0,8 g N₂O/m² dia determinado por Olesen et al. (2006) foi considerada para prever a emissão de N₂O. Essa taxa é aplicável em tanques onde se forma uma crosta natural na

superfície do dejetos. Quando uma crosta natural não se formar, nenhum N_2O é produzido e emitido (Chianese et al., 2009d). O IFSM assume que uma crosta não vai se formar se o teor de matéria seca (MS) do dejetos for inferior a 8%, ou se um tanque fechado for utilizado. Portanto, quando qualquer destas três opções no tratamento de estrume são utilizados, a taxa de emissão é definida como zero. Para o esterco empilhado e armazenado com um teor maior de MS, um fator de emissão de 0,005 kg N_2O -N/kg N excretado foi usado (IPCC, 2006).

O detalhamento do submodelo de cálculo de emissão N_2O , utilizado no IFSM, pode ser encontrado no trabalho de Rotz et al. (2015) e Haynes e Williams (1992).

3.8.4 Pegadas Ambientais

As pegadas ambientais são definidas como o efeito sobre o meio ambiente expressa por unidade de produto produzido. No IFSM, quatro pegadas ambientais são avaliadas: uso da água, perda relativa de N, uso de energia e emissões de C. Funções ou fatores são utilizados para estimar os valores para usos importantes ou os insumos de cada um no sistema de produção. Isso inclui os principais usos da água e da energia fóssil e do N reativo e emissões de GEE que ocorrem durante a fabricação dos insumos utilizados no sistema de produção.

Neste estudo foi avaliado somente a pegada de carbono da produção de leite orgânico e a unidade utilizada foi o kg de leite produzido corrigido para gordura e proteína. Seguindo a recomendação da International Dairy Federation (IDF, 2010), o leite foi corrigido para um teor de gordura de 4% e teor de proteína de 3,3%.

3.8.4.1 Pegada de Carbono

Com a crescente preocupação com as mudanças climáticas globais e o impacto potencial das emissões de GEE, surgiu a necessidade de se expressar a emissão total associada a um produto ou serviço. Um termo que passou a representar esta quantificação é a pegada de carbono ou "carbon footprint". A pegada de carbono é em geral, o total de emissões de GEE, expressas em unidades de CO_2 equivalente (CO_2 eq), associadas a esse produto ou serviço. A conversão para CO_2 eq é feito usando o potencial de aquecimento global (PAG) de cada gás, onde valores PAG usado para CH_4 e N_2O são 25 e 298 CO_2 eq/kg, respectivamente (IPCC, 2001; EPA, 2008).

O IFSM considera a pegada de carbono como sendo o saldo final considerando todos os GEE assimilados e emitidos no sistema de produção dividido pelo total do produto produzido. Esta emissão líquida é determinada através de uma avaliação parcial do ciclo de vida ou "life cycle assessment (LCA)" do sistema de produção.

O IFSM calcula a pegada de carbono de uma fazenda com dois métodos. O primeiro (fontes primárias) inclui o CO₂ biogênico, através do CO₂ assimilado na produção de alimentos para animais, juntamente com o emitido pelas plantas, animais e respiração microbiana (Chianese al., 2009a). O segundo método (fontes secundárias) ignora todas as fontes biogênicas e sumidouros de CO₂ e inclui apenas a emitida através da queima de combustíveis fósseis nas operações agrícolas, ocorridas durante a fabricação ou produção de insumos utilizados no sistema de produção (máquinas, combustível, fertilizantes, etc.). Maiores informações sobre a metodologia utilizada no cálculo da emissão de GEE nas fontes primária e secundárias, podem ser obtidas no trabalho de Rotz et al. (2015).

A pegada de carbono foi determinada pela emissão líquida dos três GEE, incluindo todas as fontes e sumidouros de CO₂. O balanço de carbono é aplicado, então uma parte do CO₂ assimilado nos alimentos está no carbono exportado vindos da produção de leite e animais. Embora este forneça uma avaliação mais completa da pegada de carbono do sistema de produção, este procedimento desvia-se do protocolo mais padrão seguido pelo IPCC e a maioria dos outros estudos que publicam as pegadas de carbono de produtos agrícolas. O protocolo mais padrão não considera CO₂ assimilado e inclui apenas o CO₂ emitido pela queima de combustíveis fósseis. Para efeito de comparação, uma pegada de carbono também foi determinada seguindo este procedimento. Um pequeno desvio está incluído apesar de fornecer uma avaliação mais equitativa. O carbono do CH₄ emitido a partir do sistema vem de CO₂ assimilado na alimentação. Portanto, a emissão de GEE líquida é reduzida pela quantidade de CO₂ assimilado para atender a emissão de CH₄. Incluindo este refinamento reduz a pegada de carbono do sistema de produção de uma pequena quantidade dependendo da estratégia de produção utilizado. O uso deste protocolo aumenta a pegada de cerca de 30% em comparação com a primeira abordagem, que inclui o CO₂ assimilado no carbono exportado a partir do sistema de produção (Rotz et al., 2015).

3.9 Parâmetros Econômicos

Os resultados econômicos provenientes das decisões de gestão propostas nos tratamentos foram avaliados por um período de 25 anos. A análise econômica engloba o total de gastos anuais onde o custo total de produção é comparado em relação à receita, para prever o lucro total, sem considerar o valor da terra ou o potencial de lucro da fazenda.

Estas medidas econômicas foram determinadas em cada ano e os valores apresentados determinam a média de todos os anos simulados. Uma análise setorial também foi utilizada para determinar o custo de produção de alimentos.

A renda da fazenda foi constituída por receitas provenientes da venda de leite, alimentos excedentes e animais. A receita com a venda de leite foi a quantidade de leite produzido multiplicado pelo preço do leite. O preço do leite variou de acordo com a região, qualidade e composição e refletiu o preço médio anual do ano de 2014.

Os animais que foram vendidos incluíram vacas de descarte, novilhas e bezerros. O número de vacas vendidas foi definido no modelo pela porcentagem de vacas de primeira cria que foram mantidas no rebanho (30%).

Foi considerado mortalidade 2% para novilhas e 2% para bezerros. O preço de venda de uma bezerra foi definido como sendo metade do preço de uma novilha de dois anos.

A receita da venda de alimentos foi proveniente da venda do excedente de alimentos produzidos em cada ano simulado. Para permitir que cada ano simulado fosse independente de outros anos. Tudo o que foi produzido foi consumido pelos animais ou vendidos como excedente no mesmo ano. A quantidade de alimentos excedentes em qualquer ano foi obtida pela diferença entre o produzido na fazenda e consumido pelo rebanho.

O lucro total foi determinado pela soma de todas as receitas menos a soma de todos os custos de produção. Este lucro total representa o potencial de rentabilidade da fazenda. Esse valor oferece uma boa base para comparar a rentabilidade de sistemas de produção, mas não é necessariamente uma boa representação do lucro de uma determinada fazenda. Esta análise não incluiu os custos de oportunidade da terra, impactos de impostos sobre a renda e demais impostos que podem afetar a rentabilidade do negócio.

Outros parâmetros incluíram o custo líquido da alimentação por unidade de leite produzido e custo líquido da alimentação como porcentagem do rendimento de leite. De acordo com Rotz et al., (2015), estas medidas proporcionam um denominador comum, que

reflete o valor econômico de todos os recursos gastos na alimentação para produzir uma determinada quantidade de leite. O custo líquido de alimentação é determinado pela soma de todos os custos para a produção de todas as culturas na fazenda, juntamente com o custo de todos os alimentos comprados e subtraindo o valor de quaisquer alimentos vendidos para fora da fazenda. Estas medidas econômicas do sistema animal/forragem refletem a interface dos sistemas de cultivo e animal sem incluir outros custos associados à produção.

Nas análises econômicas foram considerados os custos com energia elétrica, combustível, imposto da terra, estocagem, máquinas, equipamentos, construções, sementes, camas para vacas e distribuição de esterco, funcionários, arrendamento de terra, compra e venda de animais. As receitas foram a venda de animais, venda de forragem excedente e de leite sendo considerado o preço médio de cada região. Os custos relativos ao armazenamento de dejetos foram considerados.

Foram considerados no estudo o período de 25 anos, porém o fluxo de caixa foi computado a partir do 3º ano. Para o cálculo do custo de oportunidade foram considerados juros de 4% ao ano para investimentos e fluxo de caixa.

Os valores dos bens imobilizados (silos, armazenamento de esterco, sala de ordenha, galpão para animais, instalações para alimentação, formação de culturas perenes, entre outros) foram calculados a partir do dimensionamento feito para a fazenda média. Estes incluíram silos, sala de ordenha, galpão dos animais e instalações de alimentação. O custo anual de instalações incluiu também seguro e manutenção, considerando uma vida útil de 30 anos, o seu custo inicial foi convertido em um custo anual. Todos os equipamentos e instalações tiveram uma taxa de seguro anual de 0,5% do custo inicial, por ser uma prática comum para os produtores americanos.

Os preços de todos os insumos utilizados na produção de leite foram levantados em cada região estudada. O preço da terra nua considerado padrão do IFSM, sendo o valor médio de USD \$2.471,00/ha. Os valores da terra nua não foram considerados nas simulações para fins de depreciação ou valorização e foram utilizados para o cálculo do imposto da terra.

A aquisição de insumos foi feita de acordo com o preço vigente em cada região e foi obtida com os principais fornecedores. Todos os insumos utilizados na produção foram produzidos de forma orgânica e certificados de acordo com a legislação vigente nos EUA.

Os custos associados a todos os insumos utilizados na fazenda foram contabilizados anualmente em função do tamanho do rebanho e sistema de produção adotado. Os custos variáveis e fixos foram incluídos. Para o cálculo do custo fixo, o investimento inicial em máquinas e instalações foram convertidos em um fluxo anual. Um valor residual de 30% para máquinas e equipamentos e uma vida útil de 12 anos foram usados para determinar os custos fixos anuais. Os insumos para produção utilizados incluíram a terra, mão de obra, combustível, manutenção de equipamentos e instalações e sementes. Os bens duráveis incluíram todas as máquinas e equipamentos e todas as instalações da fazenda.

O custo referente a manutenção de equipamentos foi calculado de acordo com a biblioteca de máquinas do IFSM, levando-se em consideração a vida útil em horas e um fator de manutenção específico para cada máquina. Foram considerados os custos com combustível, gás para aquecimento e eletricidade. O modelo calcula os custos de depreciação anual de máquinas e equipamentos, cercas, currais e veículos. As taxas anuais de depreciação e valores residuais estão descritas na tabela 4.

Tabela 4. Descrição e valores da vida útil (anos) e valor residual (%) considerado nas simulações

Descrição	Vida útil (anos)	Valor residual
Edificações e instalações	30	0%
Máquinas e equipamentos	12	30%
Veículos	5	40%

A utilização das máquinas foi monitorada para contabilizar o uso total, bem como o uso em cada atividade dentro da fazenda. Não foi considerado o aluguel de máquinas ou qualquer terceirização de serviços. Quando um equipamento foi utilizado em mais de uma atividade, o custo total da máquina foi dividido entre as atividades com base no número de horas trabalhadas em cada operação. O modelo também calculou o uso total e os custos associados. Os custos anuais foram calculados em função do custo inicial, valor residual, taxa de juros e a vida útil. A taxa de juros foi de 4%, sendo utilizada para determinar os custos anuais de

equipamento. Os custos das operações de máquinas incluíram mão de obra e energia utilizados nas operações e reparação de máquinas e custos com manutenção. A utilização do equipamento foi determinada em função do preparo do solo, colheita, alimentação e manejo de esterco. O trabalho com máquinas foi feito por um operador para cada trator ou máquina automotriz e outros foram adicionados para qualquer trabalho adicional necessário como carregar e descarregar vagões. O tempo de funcionamento da máquina foi definido para ser 10% a mais do que o número real de horas que a máquina foi utilizada. Isso reflete o trabalho necessário para tarefas como regulagem de máquina, manutenção de rotina (lubrificação e limpeza), e deslocamento no campo. O salário de USD \$10,00 por hora foi utilizado em todas as operações. O custo anual da mão de obra é número de horas trabalhadas multiplicado pelo salário por hora.

Os custos de energia incluíram combustível e eletricidade. Os preços desses insumos foram multiplicados pela quantidade de combustível e eletricidade consumida de cada equipamento para obter o custo total de energia. A quantidade de combustível e eletricidade utilizados são determinados em função das operações agrícolas, colheita, alimentação e manejo do esterco. A quantidade consumida foi a soma das horas de cada máquina utilizada multiplicado pela taxa de uso para a operação. Este custo foi determinado como os tempos iniciais de custo da máquina de acordo com uma função exponencial do número de horas que cada máquina foi usada durante a sua vida. Maiores detalhes podem ser encontrados no trabalho de (ASAE, 2000). O custo anual de manutenção e reparação foi de 2,5% do custo inicial do equipamento.

Os custos com medicamentos foram pouco expressivos, devido a proibição da maior parcela dos medicamentos. Somente os de uso liberados para produção orgânica foram considerados. Foram incluídos os custos com a inseminação artificial e mais o material de consumo como nitrogênio líquido, bairras, luvas, etc.

O custo com mão-de-obra foi calculado em função das necessidades de cada operação da fazenda, por exemplo, ordenha, manejo dos animais, alimentação, plantio, colheita, entre outros. O número total de horas trabalhadas foi calculado e compôs o custo total com funcionários. Os sistemas tiveram o mesmo número de animais. Assim, o trabalho foi computado em horas de trabalho, uma vez que os funcionários são remunerados dessa forma.

As adubações de produção e manutenção nas pastagens e nas áreas de produção de silagem foram realizadas com a aplicação de dejetos a cada 4 meses, uma vez que não é permitido o uso de fertilizantes sintéticos no sistema de produção orgânica. O simulador calcula as recomendações de adubação baseadas na disponibilidade dos nutrientes no solo, na extração das plantas baseadas na expectativa de crescimento e produtividade. Caso o esterco produzido pelos animais não seja necessária para suprir a demanda, o sistema calcula a compra de esterco de outras propriedades.

Os custos com pastagens incluíram as cercas e mão de obra utilizadas para manejo de pastagens. Foram consideradas cercas convencionais para cercar o perímetro e cerca elétrica como cercas móveis. Foram atribuídos 5 e 10 anos de vida útil para cerca elétrica e convencional, respectivamente. Em ambos os casos, o valor residual zero foi assumido e a taxa de juros de 4% também utilizada.

Os custos anuais de conserto e manutenção das cercas foram fixados em 3% do investimento inicial. Uma pequena quantidade de eletricidade foi utilizada para o eletrificador da cerca, considerando 3 kW/ha de área de pastagem.

A mão de obra associado com manejo de pastagens incluiu a necessária para manejar animais, monitorar a condição do pasto e mover as cercas elétricas. Considerou-se o tempo de 5 minutos por vaca/dia.

Os custos de produção animal incluíram os alimentos e o material utilizado nas camas e as despesas diretas com os animais. O cálculo do custo de aquisição de alimentos foi feito de acordo com a necessidade de balanceamento das dietas dos animais. Os alimentos comprados incluíram suplementos alimentares de proteínas vegetal e minerais. A quantidade de alimento comprada foi determinada em função do rebanho existente. O algoritmo de alocação de alimentação do IFSM força o uso de alimentos produzidos na fazenda e alimentos comprados são usados apenas quando necessário para complementar. Foi utilizado a serragem como cama para os animais no período que ficaram confinados e o custo foi calculado em função do preço do material utilizado em cada região e a quantidade necessária calculado pelo modelo em função do número de animais.

Outras despesas com os animais foram incluídas para a manutenção de um rebanho saudável. O gasto total foi calculado multiplicando o custo de USD \$55.95 pelo número total

de matrizes da fazenda. Esse valor médio foi utilizado para cobrir despesas com veterinário e medicamentos.

Não foi considerado os custos com aquisição de animais, sendo todas as vacas descartadas do rebanho substituídas por novilhas. Foi definido que 85% das matrizes estavam em lactação, com intervalo entre partos de 14 meses, taxa de substituição de 30% das matrizes e a disponibilidade de novilhas disponíveis foi fixado em 98%, considerando 2% ao ano a taxa de mortalidade.

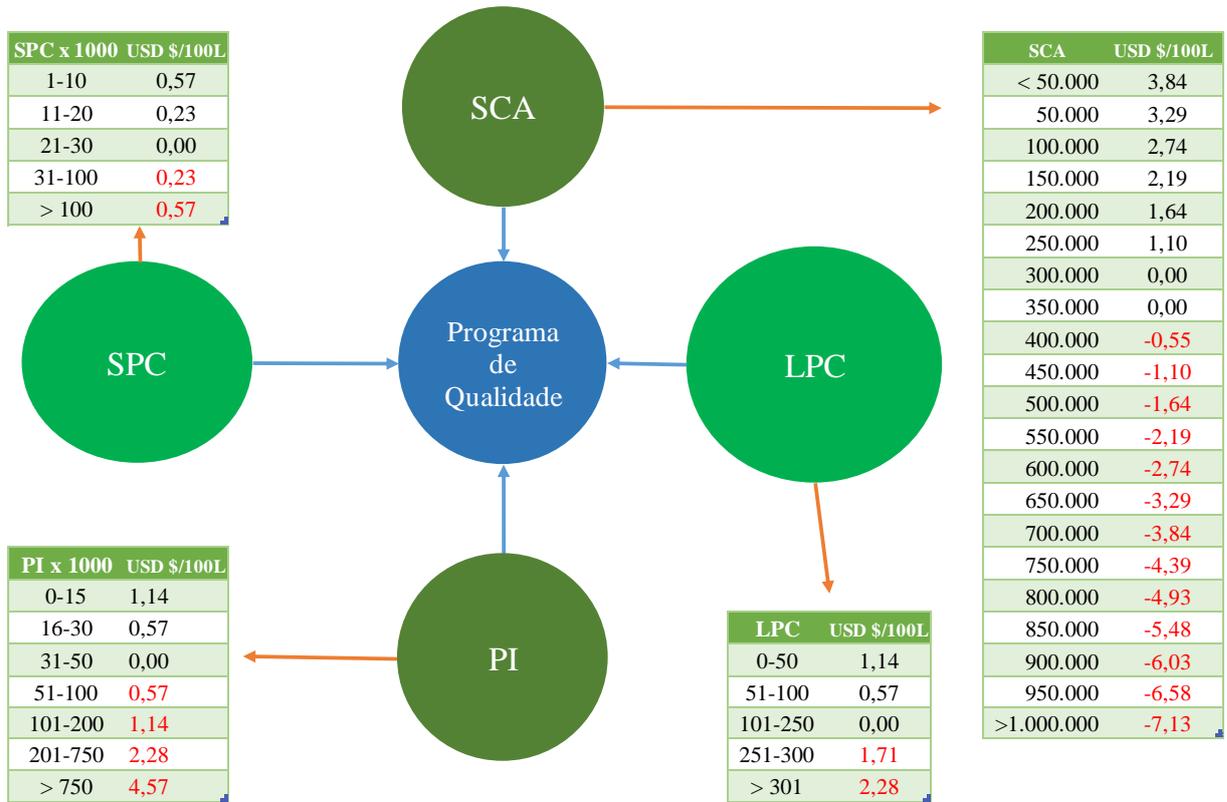
Os preços de todos os insumos utilizados na produção de leite foram levantados em cada região estudada. Os valores de venda dos animais de descarte foram calculados em USD \$/kg de peso vivo.

Os gastos com combustíveis, lubrificantes, energia elétrica e gás para aquecimento foram calculados de acordo com cada operação desenvolvida levando em consideração o consumo e tempo de uso de cada equipamento.

3.10 Preço do Leite

O cálculo do preço médio do leite foi feito baseado no ano de 2014 e levou em consideração os prêmios regionais, tipo de leite produzido (ORG-T e GRASSFED), qualidade e composição média do leite de cada raça. Foi considerado a venda para uma mesma empresa que tem atuação nas três regiões estudadas e que compra e processa os dois tipos de leite produzidos, para que a empresa não fosse um fator de variação. Para o cálculo do pagamento por qualidade do leite foi adotado o modelo que a empresa adotou no ano de 2014, conforme descrito na figura 8.

Figura 8. Modelo básico de cálculo do preço do leite (USD \$/100 L) por qualidade*



SCA “somatic cell adjuster” Contagem de células somáticas; SPC “standard plate count” Contagem bacteriana total; LPC “lab pasteurization count” Contagem bacteriana total realizada em leite aquecido e mantido a 62.8o C durante 30 minutos; PI “preliminary incubation count” Contagem bacteriana total realizada em leite incubado a 21oC durante 18 horas (simulando uma refrigeração inadequada); * valores negativos representam decréscimo ao preço final do leite e valores positivos representam acréscimos ao preço final do leite

A composição do leite também foi incluída, uma vez que o sistema de pagamento da empresa considera somente o preço dos componentes e não o volume de leite. Assim, foi considerado o pagamento (USD \$/kg) da gordura, proteína e outros sólidos. O valor total foi convertido para litros de leite (USD \$/100 L). Os prêmios regionais e nacionais e por tipo de leite também foram contabilizados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Dados regionais

O levantamento de dados a campo está compilado na Tabela 5 referentes as fazendas da região de ENC e na Tabela 6 para as regiões de NE e MA.

Na região ENC (Tabela 5), do número total de fazendas (69), 61 produziram leite orgânico tradicional com uso de grãos (ORG-T) e 8 produziram exclusivamente com forragem sem a utilização de grãos na dieta. Os dados destas 8 fazendas foram utilizados para representar a produção de leite do sistema GRASSFED. A área total de cada fazenda foi bastante variável em ambos os sistemas, ficando a média em 78 ha. Com relação a forma de posse da terra, em média os produtores arrendam cerca de 42,8% e são proprietários dos outros 57,2%. A média de área de pastagem foi semelhante, sendo 41,9 ha e 38,1 ha para o sistema com e sem o uso de grãos, respectivamente. O início de pastejo se dá na primavera e nos dois sistemas foi em média no dia 4 de abril de cada ano, variando entre 3 de março a 6 de junho. Essa variabilidade se deu em função da variação do clima de cada ano e da eficiência na condução da pastagem. O mesmo ocorre no outono, no final do pastejo, ocorrendo em média no dia 10 de outubro, podendo se estender até 12 de dezembro. O número total de matrizes variou muito em cada sistema. No sistema ORG-T o menor produtor possui 12 vacas e o maior 650 vacas e no sistema GRASSFED entre 15 e 140 vacas, respectivamente. A média para os dois sistemas ficou em 69 vacas. A produção de leite para o sistema GRASSFED foi 26% menor que o sistema ORG-T. Isso se deve a não utilização de suplementos proteicos ou energéticos. A raça Holandês foi predominante para o sistema ORG-T (57,1%), porém foi utilizada em menor proporção no sistema GRASSFED (20,7%) que contou com 79,3% de animais cruzados e de outras raças.

Tabela 5. Principais dados das fazendas orgânicas de leite da região East North Central (ENC)

Item	ORG-T			GRASSFED			MÉDIA ¹
	MÍN	MÁX	MÉDIA(DP)	MÍN	MÁX	MÉDIA (DP)	
Número de fazendas			61,0			8,0	69,0
Anos de Certificação em orgânico	*	*	*	*	*	*	*

Área total (ha)	0,0	639,4	83,5 (114,5)	2,0	135,2	51,9 (37,1)	78,7
Alugado (%)	0,0%	100,0%	42,6%	0,0%	100,0%	44,4%	42,8%
Próprio (%)	0,0%	100,0%	57,4%	0,0%	100,0%	55,6%	57,2%
Pastagem (ha)	6,1	146,1	41,9 (32,6)	6,5	85,8	38,1 (25,1)	41,1
Dias de pastejo/ano	122,0	256,0	186,8 (29,8)	167,0	247,0	201,4 (25,7)	188,2
Data início do pastejo	3-Mar	6-Jun	4-Abr (14,0)	4-Mar	5-Mai	4-Abr (13,0)	4-Abr
Data final do pastejo	9-Set	12-Dez	10-Out (20,0)	10-Out	12-Dec	11-Nov (25,0)	10-Out
Milho silagem (ha)	*	*	*	*	*	*	*
Milho grão (ha)	*	*	*	*	*	*	*
Feno ou pré secado (ha)	*	*	*	*	*	*	*
Feno/Pastagem (ha)	*	*	*	*	*	*	*
Grãos miúdos (ha)	*	*	*	*	*	*	*
Número de vacas ²	12,0	650,0	71,0 (88,1)	15,0	140,0	57,0 (37,0)	68,6
Produção de leite (kg/vaca/ano)	2.495	10.775	6.590 (1.804)	2.354	6.577	4.879 (1.268)	6.356
% da raça Holandês	0,0	100,0	57,1 (37,9)	0,0	97,1	20,7 (32,7)	52,1%
% da raça Jersey	*	*	*	*	*	*	*
% de outras raças ³	100,0	0,0	42,9	100,0	2,9	79,3	47,9%

DP Desvio Padrão; MÍN valor mínimo; MÁX valor máximo; ORG-T sistema de produção de leite orgânico com o uso de grãos na dieta; GRASSFED sistema de produção de leite orgânico sem o uso de grãos na dieta;¹ média entre tratamentos; ² número médio de vacas em lactação ³ inclui cruzamentos entre raças; * Item não presente no questionário;

Na região MA e NE, (Tabela 6) foram levantados dados de 15 fazendas com produção de leite orgânico, sendo três com uso exclusivo de forragem e 12 com a utilização de grãos na dieta. O tempo de certificação como produtor orgânico de leite ficou em média 10,2 anos. A fazenda com o maior tempo de certificação foi no estado de NH e estava com 17 anos de certificação. A área total de cada fazenda foi bastante variável em ambos os estados, ficando a média em 97,6 ha. A forma de posse da terra se assemelhou ao encontrado na região ENC, em média os produtores das regiões MA e NE, alugam cerca de 47% e são proprietários dos outros 53%. Em média a área destinada a pastagem foi de 22,3 ha e o início de pastejo se deu na primavera em média no dia 30 de abril de cada ano, variando entre 15 de abril a 24 de maio. Essa variabilidade se deu em função da variação do clima de cada ano e da eficiência na condução da pastagem. O mesmo ocorre no outono, com o final do pastejo, ocorrendo em média no dia 30 de outubro, se estendendo até 10 de dezembro. O número total de matrizes ficou na média em 53. A raça Holandês foi predominante (49,7%), seguida pela raça Jersey (25,8%) e outras raças e cruzamentos (24,5%). A predominância do Holandês também foi identificada no trabalho de Cook et al. (2010), onde 63% dos rebanhos das fazendas de

produção de leite orgânico do estado de Maine são na maior parte de Holandês. Foram identificados também no estudo rebanhos exclusivos com as raças Jersey e Holandês.

Tabela 6. Principais dados das fazendas orgânicas de leite das regiões de New England (NE) e Middle Atlantic (MA)

Item	ME	NH	NY	PA	VT	MÍN	MÁX	MÉDIA (DP)
Número de fazendas	3	3	3	3	3			
Certificação orgânico ¹ (ano)	12,7	8,0	10,5	6,7	12,3	5,0	17,0	10,2 (3,8)
Área total (ha)	104,3	101,8	145,7	75,8	60,3	30,4	263,1	97,6 (57,1)
Alugado (%)	34,3%	44,7%	26,4%	80,0%	49,4%	0,0%	100,0%	47,0%
Próprio (%)	65,7%	55,3%	73,6%	20,0%	50,6%	0,0%	100,0%	53,0%
Pastagem (ha)	30,5	18,1	31,7	19,2	12,1	4,0	70,8	22,3 (18,6)
Tempo de pastejo (dias/ano)	175,3	151,0	192,3	201,0	196,0	149,0	236,0	183,7 (25,7)
Data início do pastejo	3-Mai	12-Mai	30-Abr	18-Abr	1-Mai	15-Abr	24-Mai	30-Abr (12,4)
Data final do pastejo	25-Out	10-Out	8-Nov	5-Nov	13-Nov	1-Out	10-Dez	30-Out (20,6)
Milho silagem (ha)	2,8	0,0	1,6	8,4	0,0	0,0	12,1	2,6 (4,1)
Milho grão (ha)	0,0	0,0	3,8	5,8	0,0	0,0	11,3	1,9 (3,8)
Feno ou pré secado (ha)	55,6	70,3	42,5	28,3	20,1	10,1	91,9	43,4 (26,8)
Feno/Pastagem (ha)	15,3	13,5	66,1	10,1	25,6	0,0	149,7	26,1 (37,0)
Grãos miúdos (ha) ²	0,0	0,0	0,0	4,0	2,4	0,0	8,1	1,3 (2,8)
Número de vacas ³	45	49	67	62	42	16	95	53 (21)
Produção (kg leite/vaca/ano)	5.557	6.085	6.239	4.235	7.649	3.571	9.965	5.953 (1.702)
% da raça Holandês	22,5%	49,9%	82,7%	53,9%	34,3%	0,0%	100,0%	49,7% (30,3%)
% da raça Jersey	36,8%	43,5%	11,4%	10,3%	28,0%	0,0%	100,0%	25,8% (32,2%)
% de outras raças ⁴	40,7%	6,7%	6,0%	35,8%	37,7%	0,0%	68,6%	24,5% (24,0%)

NE New England; MA Middle Atlantic; ME Maine; NH New Hampshire; NY Nova Iorque; PA Pensilvânia; VT Vermont; DP Desvio Padrão; MÉDIA valor médio entre os estados; MÍN valor mínimo; MÁX valor máximo; ¹tempo médio de produção no sistema orgânico a partir da obtenção da certificação; ² incluem sorgo, aveia, trigo ³ número médio de vacas em lactação ⁴ inclui os cruzamentos entre raças.

4.2 Fazenda média

Os principais dados que compõem a fazenda média utilizada para comparar os diversos sistemas de produção estudados estão na

Tabela 7. De acordo com Belflower et al. (2012), os estudos de comparação de sistemas de produção utilizando tamanho diferentes de fazendas não promovem uma comparação de fácil compreensão. Assim, foi definido uma área total única para todos os tratamentos. A área destinada a produção foi de 88,1 ha, sendo acrescido 2,0 ha para atender a legislação americana que exige uma área de transição entre propriedades com produção orgânica e convencional. Assim, a área total da fazenda aumentou para 90,1 ha. O mesmo procedimento

foi adotado por Hardie et al. (2014) e Dutreuil et al. (2014). A área de pastagem foi 31,7 ha e a de outras culturas 56,4 ha. O sistema GRASSFED utilizou a área destinada a outras culturas para produção de silagem.

De acordo com a

Tabela 7, observa-se a predominância de propriedades de produção de leite orgânico com um pequeno número de vacas (61). O menor número de matrizes também foi observado no trabalho de McBride e Greene (2010) que compararam fazendas de produção de leite convencional e orgânica nos EUA. A média nacional para sistema de produção orgânico foi de 83 vacas comparado a média nacional para sistema convencional de 156 vacas. Isso se deve, segundo Hoshide et al. (2011), a exigência por parte do USDA (USDA, 2011) de no mínimo de 30% do consumo de MS oriundos do pasto dificulta o aumento do rebanho.

Tabela 7. Principais características da fazenda média utilizada nas simulações

Item	Valor
Área total da fazenda (ha)	90,1
Área utilizada para produção (ha)	88,1
Área de transição ¹ (ha)	2,0
Área de pastagem (ha)	31,7
Área com outras culturas (ha)	56,4
Área arrendada (%)	44,9%
Área própria (%)	55,1%
Área arrendada (ha)	40,4
Área própria (ha)	49,7
Dias de pastejo	185,9
Dias de pastejo (% ano)	51,0%
Início do pastejo ²	20 de abril
Final do pastejo ³	16 de outubro
Número de matrizes ⁴	61
Número total de vacas em lactação ⁵	52

¹ Área destinada a transição entre propriedades com produção orgânica e convencional; ² data inicial média em que se inicia o uso da pastagem pelos animais; ³ data média em que se encerra o uso da pastagem pelos animais; ⁴ número total de matrizes; ⁵ considerando 85% do total de matrizes em lactação.

Outro ponto importante identificado é a prática, comum entre os produtores, de arrendamento de terras, principalmente para produção de forragem. Os produtores em média

são proprietários de 55,1% das terras e arrendam outros 44,9%. Na propriedade média foi considerado 40,4 ha e 49,7 ha para arrendamento e própria, respectivamente.

As regiões estudadas possuem clima temperado, com temperaturas abaixo de 0°C durante o outono e inverno (Figuras 3, 4 e 5) e com presença de neve em boa parte deste período. Assim, a utilização da pastagem ficou limitada a 185,9 dias, correspondendo a 51% dos dias do ano (

Tabela 7). Os outros 49% do tempo os animais ficaram estabulados em sistema tie-stall recebendo forragem conservada de acordo com cada tratamento.

A produção de leite (kg/vaca/ano) foi maior para a raça Holandês (Tabela 8), independente do sistema de produção. No sistema ORG-T o valor considerado na simulação de 6.590 kg/vaca/ano foi bem próximo do utilizado por Hoshide et al. (2011) que foi de 6.531 kg/vaca/ano. A raça Jersey apresentou, em média, produção (kg/vaca/ano) 14,1% menor. O mesmo foi detectado para peso corporal, sendo 690 kg e 483 kg para Holandês e Jersey, respectivamente.

Tabela 8. Produção de leite (kg/vaca) de acordo com o sistema de produção e raça utilizada nos sistemas simulados

Item	Valor
ORG-T	
Holandês (kg leite/vaca/ano)	6.590,0
Jersey (kg leite/vaca/ano)	5.663,0
Holandês (peso corporal, kg)	690,0
Jersey (peso corporal, kg)	483,0
GRASSFED	
Holandês (kg leite/vaca/ano)	4.879,0
Jersey (kg leite/vaca/ano)	4.190,6
Holandês (peso corporal, kg)	690,0
Jersey (peso corporal, kg)	483,0
Diferença de produção de leite (GRASSFED/ORG-T)	-26,0%
Diferença de produção de leite (Jersey/Holandês)	-14,1%

ORG-T sistema de produção de leite orgânico com o uso de grãos na dieta; GRASSFED sistema de produção de leite orgânico sem o uso de grãos na dieta;

A produção de leite (kg/vaca/ano), também foi influenciada pelo sistema de produção. No sistema GRASSFED, a produção considerada da vaca holandesa diminuiu de 6.590 para 4.879 (kg/vaca/ano) e a vaca Jersey de 5.663 para 4.190,6 (kg/vaca/ano). Em média, foi assumido que os animais produziram 26% menos leite no sistema GRASSFED comparado ao ORG-T. Isso se deve a não utilização de suplementos energéticos ou proteicos oriundos de ração, no sistema de produção GRASSFED. Nesse caso os animais se alimentam exclusivamente de forragem perene, seja na forma de pastagem na primavera-verão ou conservada no outono-inverno.

4.3 Composição e preço médio do leite

A composição média e a qualidade do leite produzido nos sistemas de produção simulados estão descritas na

Tabela 9. A raça Jersey foi superior a Holandês em relação aos percentuais de proteína e de gordura no leite. Esses valores entraram no cálculo do preço do leite, sendo estes remunerados em função da produção (kg) de gordura e proteína. Os outros parâmetros ligados a qualidade do leite foram considerados iguais para ambas as raças para possibilitar o cálculo do preço do leite.

Tabela 9. Composição e qualidade média do leite utilizado na simulação em função das raças utilizadas

Parâmetro	Holandês	Jersey
Proteína (%) ¹	3,05	3,70
Gordura (%) ¹	3,50	5,00
Outros sólidos (%) ¹	5,65	5,65
SPC ²	15	15
SCA ²	200.000	200.000
PI ²	40	40
LPC ²	75	75

¹ Composição média do leite por raça, obtida a partir dos dados de campo; ² dados não levantados a campo e assumidos como valor de referência para cálculo do preço médio do leite. SCA “somatic cell adjuster” Contagem de células somáticas; SPC “standard plate count” Contagem bacteriana total; LPC “lab pasteurization count” Contagem bacteriana total realizada em leite aquecido e mantido a 62.8° C durante 30 minutos; PI “preliminary incubation count” Contagem bacteriana total realizada em leite incubado a 21°C durante 18 horas (simulando uma refrigeração inadequada);

O detalhamento do preço final do leite (USD \$/100L) e o seu valor relativo (% do preço final) de acordo com os componentes e qualidade simuladas nos diferentes sistemas de produção, incluindo os prêmios estão descritos na Tabela 10 e 10.

Tabela 10. Composição do preço do leite (USD \$/100L) de acordo com os componentes e qualidade simuladas nos diferentes sistemas de produção

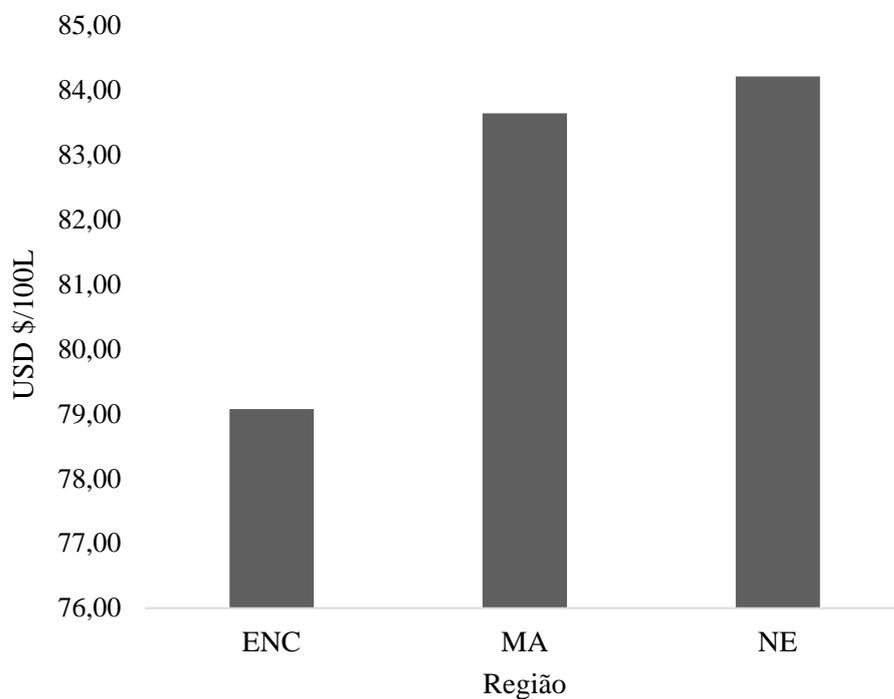
Item	East North Central				New England				Middle Atlantic			
	ORG-T		GRASSFED		ORG-T		GRASSFED		ORG-T		GRASSFED	
	Holandês	Jersey	Holandês	Jersey	Holandês	Jersey	Holandês	Jersey	Holandês	Jersey	Holandês	Jersey
Componentes	58,36	68,64	58,36	68,64	58,36	68,64	58,36	68,64	58,36	68,64	58,36	68,64
<i>Gordura</i>	14,59	23,92	14,59	23,92	14,59	23,92	14,59	23,92	14,59	23,92	14,59	23,92
<i>Proteína</i>	16,74	17,70	16,74	17,70	16,74	17,70	16,74	17,70	16,74	17,70	16,74	17,70
<i>Outros sólidos</i>	27,03	27,03	27,03	27,03	27,03	27,03	27,03	27,03	27,03	27,03	27,03	27,03
Prêmios	7,42	7,42	18,84	18,84	12,56	12,56	23,98	23,98	11,99	11,99	23,41	23,41
<i>Prêmios Reg. e Nac.</i>	7,42	7,42	7,42	7,42	12,56	12,56	12,56	12,56	11,99	11,99	11,99	11,99
<i>Prêmio GRASSFED</i>			11,42	11,42			11,42	11,42			11,42	11,42
Qualidade	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44
Total	68,22	78,51	79,64	89,93	73,36	83,65	84,78	95,07	72,79	83,07	84,21	94,49

Tabela 11. Composição do preço do leite (% do preço final) de acordo com os componentes e qualidade simuladas nos diferentes sistemas de produção

Item	East North Central				New England				Middle Atlantic			
	ORG-T		GRASSFED		ORG-T		GRASSFED		ORG-T		GRASSFED	
	Holandês	Jersey	Holandês	Jersey	Holandês	Jersey	Holandês	Jersey	Holandês	Jersey	Holandês	Jersey
Componentes	85,5%	87,4%	73,3%	76,3%	79,5%	82,1%	68,8%	72,2%	80,2%	82,6%	69,3%	72,6%
<i>Gordura</i>	21,4%	30,5%	18,3%	26,6%	19,9%	28,6%	17,2%	25,2%	20,0%	28,8%	17,3%	25,3%
<i>Proteína</i>	24,5%	22,5%	21,0%	19,7%	22,8%	21,2%	19,7%	18,6%	23,0%	21,3%	19,9%	18,7%
<i>Outros sólidos</i>	39,6%	34,4%	33,9%	30,1%	36,8%	32,3%	31,9%	28,4%	37,1%	32,5%	32,1%	28,6%
Prêmios	10,9%	9,5%	23,7%	21,0%	17,1%	15,0%	28,3%	25,2%	16,5%	14,4%	27,8%	24,8%
<i>Prêmios Reg. e Nac.</i>	10,9%	9,5%	9,3%	8,3%	17,1%	15,0%	14,8%	13,2%	16,5%	14,4%	14,2%	12,7%
<i>Prêmio GRASSFED</i>			14,3%	12,7%			13,5%	12,0%			13,6%	12,1%
Qualidade	3,6%	3,1%	3,1%	2,7%	3,3%	2,9%	2,9%	2,6%	3,4%	2,9%	2,9%	2,6%
Total	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Os preços médios do leite variaram em função da região, raça e sistema de produção. A partir do modelo representado na Figura 8, o valor médio calculado entre as regiões foi de USD \$82,31 por 100 litros de leite (Figura 9). O maior preço foi obtido na região de NE (USD \$84,21/100L) seguido por MA (USD \$83,64/100L) e ENC (USD\$ 79,07/100L). Desse modo observa-se um prêmio regional total de 5,8% e 6,6% para os produtores de MA e NE em comparação com ENC. Entre NE e MA o prêmio regional foi de 0,7%.

Figura 9. Preço médio do leite entre regiões (USD \$/100L)

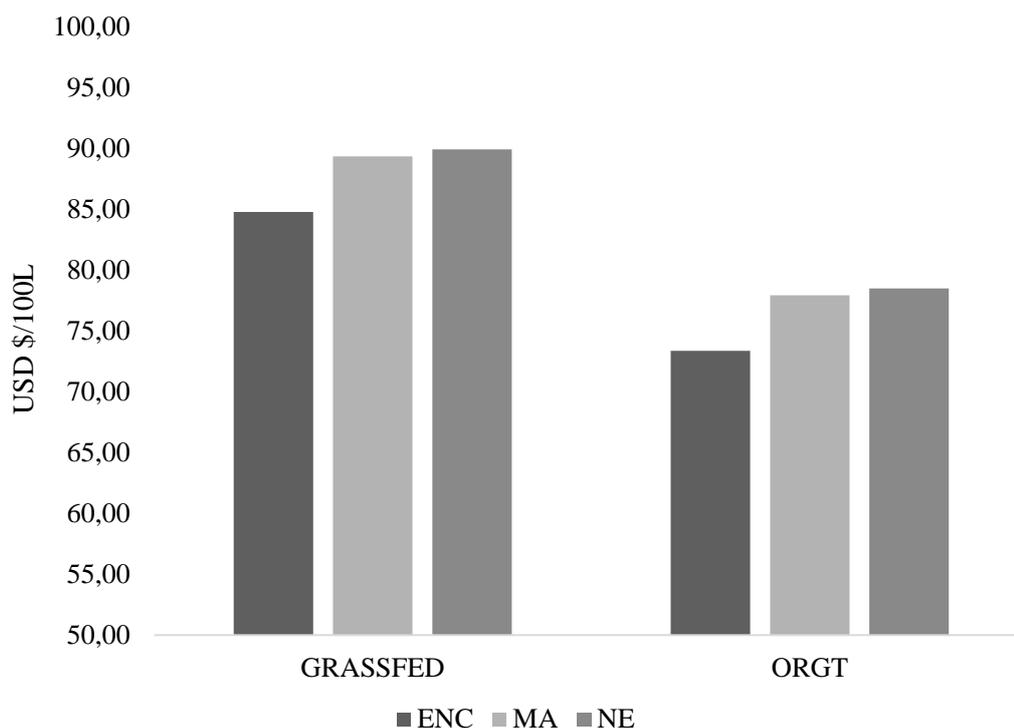


NE New England; MA Middle Atlantic; ENC East North Central

Considerando o preço do leite (\$/100L) em função do tipo de leite produzido, variou entre as regiões e também em função dos sistemas de produção (Figura 10). O sistema GRASSFED apresentou preço do leite superior ao ORG-T em todas as regiões. Na região ENC as simulações com leite produzido no sistema GRASSFED remuneraram o produtor 14,9% em média a mais que o sistema ORG-T. Nas regiões MA e NE as diferenças foram de 14,7% e 14,5%, respectivamente maiores para o sistema GRASSFED. Observou-se que o prêmio pago por região para o leite produzido no sistema GRASSFED foi inversamente

proporcional ao preço do médio do leite. Assim, as regiões com preços do leite mais atrativos, NE, seguido por MA e ENC, obtiveram menor prêmio do GRASSFED comparado ao ORG-T.

Figura 10. Preço médio do leite (USD \$/100L) por sistema de produção e tipo de leite produzido por região



ORG-T sistema de produção de leite orgânico com o uso de grãos na dieta; GRASSFED sistema de produção de leite orgânico sem o uso de grãos na dieta;

Independente da região e dos sistemas de produção simulados, o preço do leite foi diferente para as fazendas que utilizaram a raça Jersey ou Holandês (Tabela 12). A diferença na composição do leite observado na

Tabela 9, produziu uma diferença no preço do leite final, considerando o modelo de cálculo de preço do leite da Figura 8.

A remuneração do leite da raça Jersey foi maior (USD \$/100 L leite) em todos os sistemas estudados. O preço médio para o sistema ORG-T foi de USD \$ 81,74/100 L de leite para a raça Jersey e de USD \$ 71.46/100 L de leite para a raça Holandês, representando um prêmio total de 14,8% para a raça Jersey. Para o sistema GRASSFED foi de USD \$ 93.16/100

L de leite para a raça Jersey e de USD \$ 82,88/100 L leite para a raça Holandês, representando um prêmio de 12,5% para a raça Jersey (Tabela 12).

Tabela 12. Preço médio do leite (USD \$/100L) de acordo com o tipo de leite produzido (ORG-T e GRASSFED), raça (Holandês e Jersey) e regiões geográficas (ENC, MA e NE)

Sistema de produção/Região	Holandês	Jersey	Preço médio ¹
GRASSFED	82,88	93,16	88,02
ENC	79,64	89,93	84,78
NE	84,78	95,07	89,92
MA	84,21	94,49	89,35
ORG-T	71,46	81,74	76,60
ENC	68,22	78,51	73,36
NE	73,36	83,65	78,50
MA	72,79	83,07	77,93
Preço médio ²	77,17	87,45	82,31

¹ Preço médio do leite (\$/100L) de acordo com o sistema de produção e região; ² Preço médio do leite (\$/100L) por raça; ³ Preço médio geral do leite (\$/100L); NE New England; MA Middle Atlantic; ENC East North Central; ORG-T sistema de produção de leite orgânico com o uso de grãos na dieta; GRASSFED sistema de produção de leite orgânico sem o uso de grãos na dieta;

Pode-se verificar alta variação no preço do litro de leite produzido nos sistemas simulados de produção de leite orgânico.

O maior preço do leite foi no sistema GRASSFED, utilizando a raça Jersey na região NE foi de USD \$ 95,07/100 L leite e o menor preço no sistema ORG-T na região ENC utilizando a raça Holandês foi de USD \$ 68,22/100 L de leite, sendo o primeiro superior 39,4%.

4.4 Indicadores econômicos

Os resultados econômicos foram influenciados pelo sistema de produção (GRASSFED e ORG-T), raças (Holandês e Jersey) e localização geográfica (regiões ENC, MA e NE).

4.4.1 Comparação entre os sistemas GRASSFED e ORG-T

O custo com a compra de alimentos para o sistema GRASSFED (Tabela 13) foi inferior ao sistema ORG-T. Enquanto a média do desembolso anual para o sistema GRASSFED foi de USD \$6.308,00, o sistema ORG-T teve gasto anual de USD \$71.685,00, representando um

custo 1.136% maior. O mesmo ocorreu para o custo total, incluindo a compra de alimentos e todos os gastos necessários a produção, sendo menor para o sistema GRASSFED. A média do custo total da fazenda foi de USD \$70.431,50 para o GRASSFED e de USD \$147.961,25 para o sistema ORG-T. Assim, o custo total foi 110% maior para o ORG-T. Isso é devido o sistema GRASSFED não utilizar na produção de leite nenhum tipo de suplemento oriundo de grãos como milho ou soja, computando apenas os gastos com suplementos minerais e vitamínicos.

A receita total foi menor para o sistema GRASSFED quando comparado ao sistema ORG-T. As médias da receita total anual foram de USD \$217.013,00 e USD \$261.430,75 para o GRASSFED e ORG-T, respectivamente, perfazendo uma receita 17% menor para o GRASSFED. Esse fato é explicado pela não utilização de suplementos proteicos/energéticos na dieta, ocasionando menor produção de leite das vacas quando comparado o sistema ORG-T. Apesar do maior valor de venda do leite GRASSFED, verificou-se que não foi suficiente para compensar a menor produção de leite em função do não uso de suplemento.

O custo líquido da alimentação total e por unidade de leite produzido foi inferior para o sistema GRASSFED, função também do menor desembolso com compra de alimentos. O custo líquido da alimentação representou em média 30,1% e 54,0% da receita com a venda de leite para os sistemas GRASSFED e ORG-T, respectivamente.

Tabela 13. Indicadores econômicos (USD \$) para dois sistemas de produção de leite orgânico nos EUA

Item	ORG-T	GRASSFED
Custo Compra de Alimentos	71.685,00	6.308,00
Outros Custos	76.276,25	64.123,50
Custo total	147.961,25	70.431,50
Receita venda de alimentos	14.437,25	7.253,50
Receita venda de leite	246.993,50	209.759,50
Receita total	261.430,75	217.013,00
Custo líquido da alimentação	133.523,25	63.178,50
Custo líquido da alimentação/100L leite	41,93	26,74
Custo líquido da alimentação (%)	54,03	30,10
Lucro total (Receita-Custo) ¹	113.469,50	146.582,00
Lucro total/ha ²	1.259,37	1.626,88
Lucro total/Vaca ³	2.182,00	2.818,50

ORG-T sistema de produção de leite orgânico com o uso de grãos na dieta; GRASSFED sistema de produção de leite orgânico sem o uso de grãos na dieta; ¹ sem considerar o valor da terra; ² considerando a área total da fazenda; ³ de acordo com o número total de matrizes

Apesar da menor receita total apresentada, o lucro total foi maior para o sistema GRASSFED comparado ao sistema ORG-T. A menor produção de leite desse sistema foi compensada pelo maior preço da venda do leite e pelo menor desembolso com a aquisição e produção de alimentos. Em média, o sistema GRASSFED foi 29,2% mais rentável, considerando o lucro total, comparado ao sistema ORG-T.

4.4.2 Comparação entre os sistemas GRASS vs. SM+GRASS

Como o sistema GRASSFED não permite o cultivo de qualquer planta que contenha algum tipo de grão utilizado com o objetivo de suplementar os animais (USDA, 2011), os sistemas GRASS e SM+GRASS foram comparados somente no sistema de produção ORG-T. De acordo com a Tabela 14, pode-se observar que o sistema SM+GRASS teve um custo menor com compra de alimentos, devido a presença de grãos na silagem de milho. Os outros custos da atividade foram maiores e a rentabilidade menor deste sistema de alimentação. Isso é função da necessidade de maior aporte para a compra de sementes, combustível, operações agrícolas e armazenagem. Resultado semelhante foi encontrado por Hoshide et al. (2011), que identificou menor rentabilidade para os sistemas que utilizam a silagem de milho como fonte de volumoso no período em que os animais ficam confinados, quando levado em conta os dados de fazendas com rebanhos menores (30 matrizes). Resultado oposto foi encontrado pelos autores em fazendas com rebanhos maiores (120 e 220 matrizes). Segundo os autores, em fazendas com maior número de matrizes e consequentemente maior escala de produção, custos maiores como o maior capital investido em equipamentos e armazenamento são diluídos. A melhor rentabilidade para sistema com uso de silagem de milho foi encontrada pelos autores nesse sistema com 220 matrizes.

Tabela 14. Indicadores econômicos (USD \$) para dois sistemas de alimentação utilizados na simulação de distemas de produção de leite orgânico em três regiões dos EUA

Item	ORG-T				GRASSFED	
	GRASS		SM+GRASS		GRASS	
	Holandês	Jersey	Holandês	Jersey	Holandês	Jersey
Custo total (Compra de Alimentos)	90.552,00	82.888,00	66.517,00	46.783,00	8.041,00	4.575,00
Custo total (outros)	64.107,00	63.127,00	89.250,00	88.621,00	64.672,00	63.575,00
Custo total	154.659,00	146.015,00	155.767,00	135.404,00	72.713,00	68.150,00
Receita venda de alimentos	15.728,00	21.899,00	9.229,00	10.893,00	2.971,00	11.536,00
Receita venda de leite	249.368,00	244.621,00	249.368,00	244.617,00	213.596,00	205.923,00
Receita total	265.096,00	266.520,00	258.597,00	255.510,00	216.567,00	217.459,00
Custo líquido da alimentação	138.930,00	124.115,00	146.538,00	124.510,00	69.743,00	56.614,00
Custo líquido da alimentação/100L leite	40,54	42,15	42,76	42,28	27,49	25,98
Custo líquido da alimentação (%)	55,70	50,70	58,80	50,90	32,70	27,50
Lucro total (Receita-Custo) ¹	110.437,00	120.505,00	102.830,00	120.106,00	143.854,00	149.310,00
Lucro total/Vaca	2.124,00	2.317,00	1.977,00	2.310,00	2.766,00	2.871,00

ORG-T sistema de produção de leite orgânico com o uso de grãos na dieta; GRASSFED sistema de produção de leite orgânico sem o uso de grãos na dieta; GRASS sistema de alimentação com uso somente de gramíneas/leguminosas na forma de pastagem e/ou sua forma conservada como silagem pré-secada e/ou feno; SM+GRASS sistema de alimentação com uso de silagem de milho e gramíneas/leguminosas na forma de pastagem;

¹ sem considerar o valor da terra

4.4.3 Comparação entre as raças Holandês vs. Jersey

Em todos os sistemas simulados as fazendas com a raça Jersey apresentaram menor custo total, menor custo líquido com alimentação e maior lucro total, quando comparados a raça Holandês (Tabela 14). O menor custo foi devido ao menor consumo de alimentos por serem animais de menor porte e com produção de leite inferior a Holandês. Somente a receita oriunda com a venda de leite foi desfavorável para as fazendas simuladas com a raça Jersey. Isso se deve a menor produção de leite por animal. Nesse caso o maior prêmio pago por unidade de leite produzido não foi suficiente para compensar.

A raça Jersey proporcionalmente promoveu maior redução dos custos totais e menor impacto na receita total, quando comparados a raça Holandês (Tabela 14). A maior redução de custos frente a menor redução na receita, promoveu o maior resultado econômico (lucro total) para a raça Jersey.

Tabela 15. Indicadores econômicos (USD \$) quando comparados a raça Jersey com a Holandês nos sistemas de produção simulados

Item	ORG-T		GRASSFED
	GRASS	SM+GRASS	GRASS
	Jersey X Holandês	Jersey X Holandês	Jersey X Holandês
Custo total (Compra de Alimentos)	-8,5%	-29,7%	-43,1%
Custo total (outros)	-1,5%	-0,7%	-1,7%
Custo total	-5,6%	-13,1%	-6,3%
Receita venda de leite	-1,9%	-1,9%	-3,6%
Lucro total (Receita-Custo)	9,1%	16,8%	3,8%
Lucro total/Vaca	9,1%	16,8%	3,8%

ORG-T sistema de produção de leite orgânico com o uso de grãos na dieta; GRASSFED sistema de produção de leite orgânico sem o uso de grãos na dieta; GRASS sistema de alimentação com uso somente de gramíneas/leguminosas na forma de pastagem e/ou sua forma conservada como silagem pré-secada e/ou feno; SM+GRASS sistema de alimentação com uso de silagem de milho e gramíneas/leguminosas na forma de pastagem; ¹ sem considerar o valor da terra

Quando comparados no sistema de produção ORG-T, utilizando a alimentação GRASS, a Jersey reduziu o custo total em 5,6% e aumentou o lucro total em 9,1% (Tabela 15). No sistema SM+GRASS a redução no custo total, subiu para 13,1% e o lucro total para 16,8%. A redução no custo é explicada pelo menor porte e consumo da raça Jersey e o maior lucro total pelo maior prêmio pago por unidade de leite produzido por esses animais. No sistema

GRASSFED o mesmo comportamento foi observado, havendo redução no custo total e aumento no lucro total.

4.4.4 Comparação entre as regiões ENC, MA e NE

Os dois sistemas de produção foram economicamente viáveis nas três regiões estudadas (Tabela 16). O custo total com a compra de alimentos, independente do sistema foi maior para NE, seguido por MA e ENC. Isso ocorreu porque a região ENC é produtora de grãos e apresenta menor custo com transporte de insumos. A região NE apresentou o maior custo com aquisição de alimentos por ser a mais distante da região ENC. A região MA obteve custo intermediário devido a localização geográfica, estando entre as regiões ENC e MA. Dessa maneira, o maior custo com frete aumentou o custo de compra de alimentos. O mesmo foi observado para o custo total e custo líquido de alimentação. Pode-se observar ainda que estes valores foram próximos, apresentando uma pequena diferença. Esse fato é explicado pelo eficiente sistema de transporte, com baixo custo de frete.

Tabela 16. Dados econômicos (USD \$) de dois sistemas de produção de leite orgânico simulados em três regiões geográficas dos EUA

Item	ORG-T			GRASSFED		
	ENC	MA	NE	ENC	MA	NE
Custo total (Compra de Alimentos)	69.872,25	73.527,25	75.685,00	6.186,00	6.437,00	6.608,00
Custo total (outros)	75.629,25	76.034,50	76.276,25	64.381,00	64.781,50	64.943,50
Custo total	145.501,50	149.561,75	151.961,25	70.567,00	71.218,50	75.551,50
Receita total	244.829,75	259.719,75	265.430,75	204.054,00	214.761,00	217.013,00
Custo líquido da alimentação/100L leite	41,24	42,41	41,93	27,15	27,44	26,74
Custo líquido alimentação (%)	56,93	55,08	54,03	32,40	31,05	30,10
Lucro total (Receita-Custo) ¹	99.329,00	110.158,00	113.469,50	133.487,50	143.542,50	145.461,50
Lucro total/Vaca	1.910,25	2.118,25	2.182,00	2.567,00	2.760,50	2.818,50

NE New England; MA Middle Atlantic; ENC East North Central; ORG-T sistema de produção de leite orgânico com o uso de grãos na dieta; GRASSFED sistema de produção de leite orgânico sem o uso de grãos na dieta;¹ sem considerar o valor da terra

A receita total comportou-se de forma inversa ao custo total. O maior valor foi obtido nas regiões de NE, MA e ENC, respectivamente. Esse fato se deve ao maior prêmio pago por unidade de leite produzido na região NE, seguidos por MA e ENC, descrito anteriormente na Tabela 12. O sistema GRASSFED apresentou menor receita, independente da região

comparado ao sistema ORG-T. A maior receita obtida foi no sistema ORG-T na região NE com USD \$265.430,75 e a menor no sistema GRASSFED na região ENC com USD \$204.054,00.

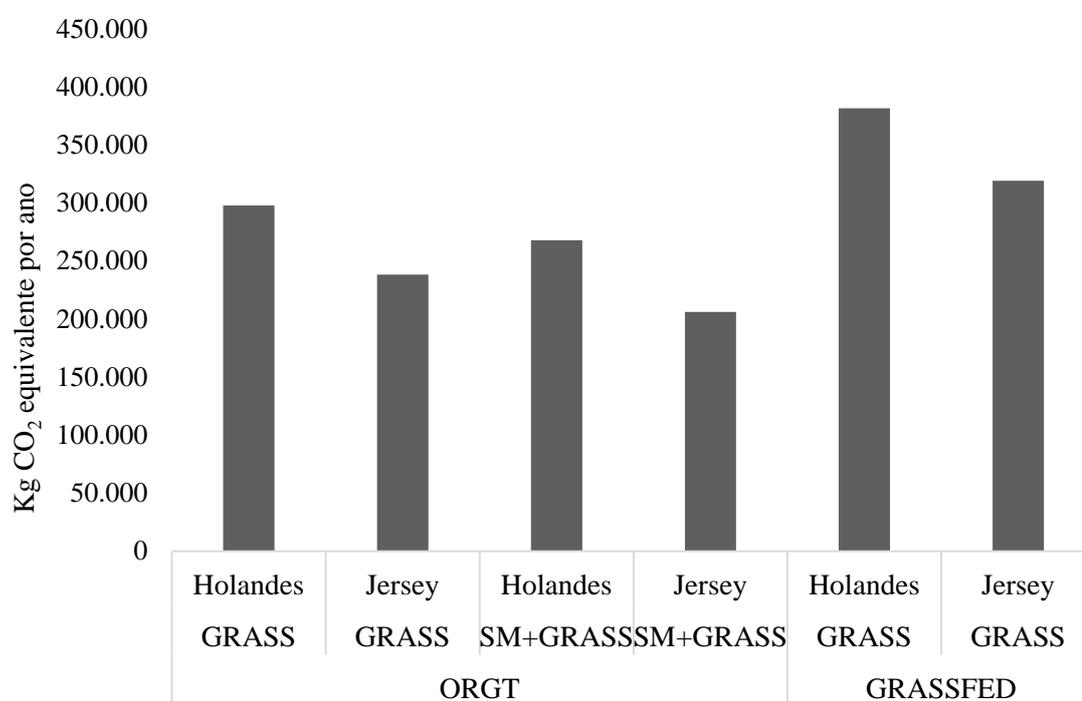
O lucro total e o lucro total por animal foram maiores para o sistema GRASSFED independente da região simulada quando comparado ao sistema ORG-T. Observou-se uma maior rentabilidade para a região NE, seguida por MA e ENC nos dois sistemas simulados. O maior custo de produção, principalmente com a aquisição de alimentos para a região NE e MA comparado ao ENC foi compensado pelo maior prêmio pago por unidade de leite produzido.

4.5 Impacto ambiental predito pelo modelo

De acordo com as Figuras 12 e 13, pode -se observar que a fonte de emissão de GEE mais importante foi a proveniente do animal, independentemente do sistema de produção, raça utilizada ou fonte de volumoso. Os dados do trabalho de Dutreuil et al. (2014) corroboram este resultado.

Os dados mostraram que independente do sistema de produção, a raça Holandês foi a que emitiu maior quantidade de GEE (Figura 11). A média de CH₄ emitido por vaca da raça Holandês foi 23,9% maior em relação a vaca Jersey. Para o N₂O houve o mesmo comportamento sendo 30,7% maior para a raça Holandês. A emissão total de GEE provenientes do animal (Figura 11), esterco, produção de alimentos, CO₂ biogênico líquido, CO₂ antropogênico, entrada via insumos de produção e o não destinado a produção de leite foram maiores para a raça Holandês.

Figura 11. Média anual de emissão (kg CO₂ eq.) de gases de efeito estufa (GEE) via animal nos sistemas simulados de acordo com os sistemas de produção,

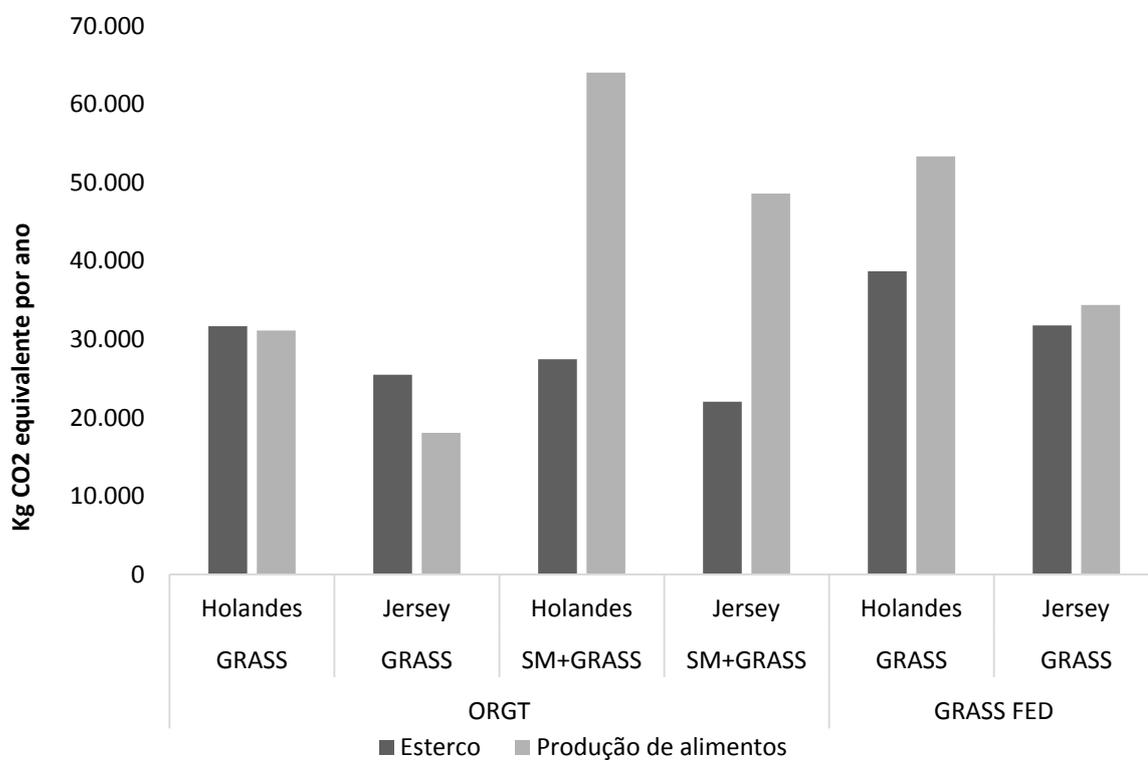


alimentação e raça¹

¹ considerando a produção de leite corrigido para energia e sem considerar o CO₂ biogênico; NE New England; MA Middle Atlantic; ENC East North Central; ORG-T sistema de produção de leite orgânico com o uso de grãos na dieta; GRASSFED sistema de produção de leite orgânico sem o uso de grãos na dieta;

Os resultados obtidos foram observados em função da raça Holandês possuir maior peso corporal e consumir mais MS. O mesmo comportamento foi observado por Gollnow et al. (2014), que detectou correlação entre a pegada de carbono e o consumo médio de MS por unidade produzida de leite corrigido para gordura. O mesmo resultado também foi obtido no trabalho de Capper e Cady (2012) que encontrou uma maior pegada de carbono para a raça Holandês comparado a raça Jersey.

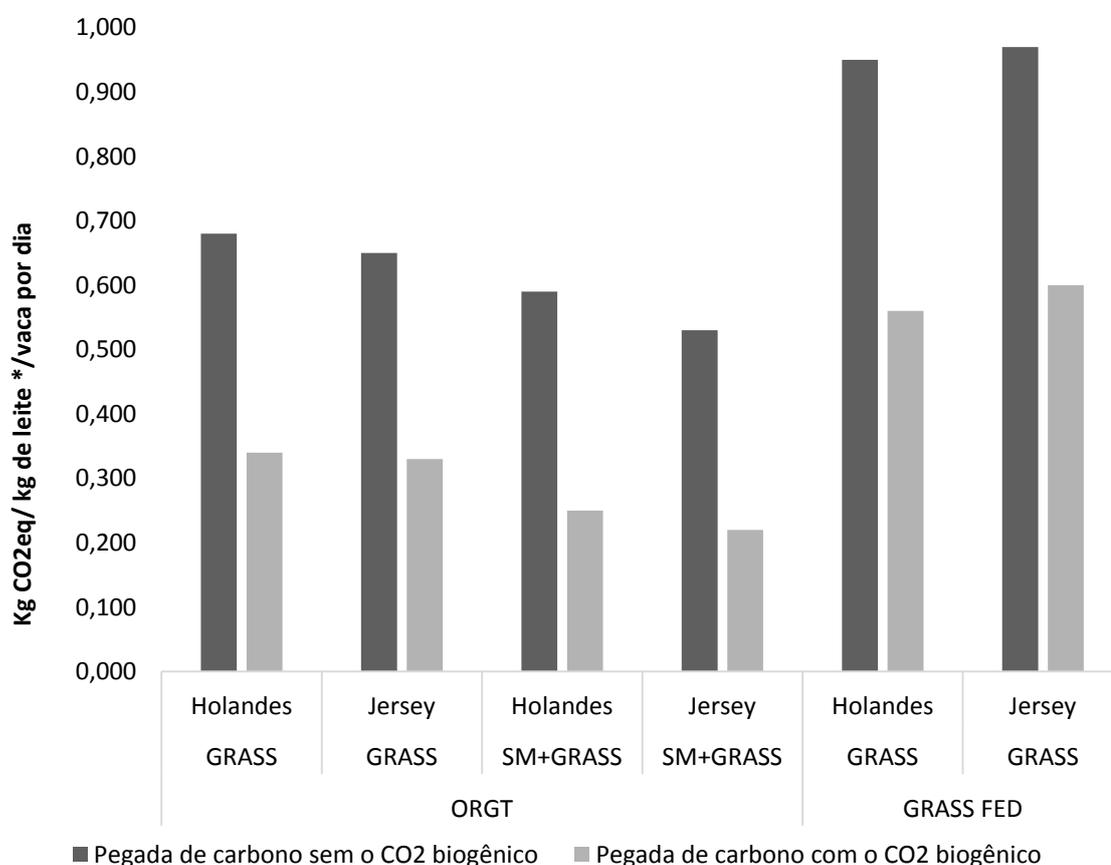
Figura 12. Média anual de emissão (kg CO₂ equivalente) de gases de efeito estufa (GEE) via esterco e produção de alimentos nos sistemas simulados de acordo com os sistemas de produção, alimentação e raça



NE New England; MA Middle Atlantic; ENC East North Central; ORG-T sistema de produção de leite orgânico com o uso de grãos na dieta; GRASSFED sistema de produção de leite orgânico sem o uso de grãos na dieta;

No entanto, apesar da vaca da raça Holandês ter emitido maior quantidade de GEE, sua produção de leite foi maior (Tabela 8). Essa diferença na emissão de GEE, quando considerada a produção de leite corrigido para energia e sem considerar o CO₂ biogênico (Figura 13), foi menor, sendo somente 3% maior que a Jersey. Quando considerado o CO₂ biogênico e a produção de leite corrigido para energia, as duas raças apresentaram a mesma emissão de GEE 0,383 kg CO₂ eq/kg de leite produzido. Os trabalhos de Gerber et al. (2011) e Dutreuil et al. (2014) corroboram estes dados. Os autores concluíram que a maior produção de leite por animal diluiu a quantidade de GEE emitida, quando expresso por unidade de leite produzido.

Figura 13. Pegada de carbono (Kg CO₂eq/ kg de leite */vaca por dia) com e sem CO₂ biogênico nos sistemas simulados.



* considerando a produção de leite corrigido para energia; NE New England; MA Middle Atlantic; ENC East North Central; ORG-T sistema de produção de leite orgânico com o uso de grãos na dieta; GRASSFED sistema de produção de leite orgânico sem o uso de grãos na dieta;

Com relação aos sistemas de produção, o sistema GRASSFED foi o que emitiu mais GEE (Tabela 17). A diferença na emissão de GEE, quando considerada a produção de leite corrigido para energia e sem considerar o CO₂ biogênico foi 44,4% maior. Já quando foi incluído o CO₂ biogênico e levou em consideração o leite corrigido para energia, o valor foi 73,1% maior que o mesmo sistema utilizando ração. De acordo com Chianese et al. (2009a), as emissões de CH₄ entérico por vaca geralmente aumentam com a maior porcentagem de fibra nas dietas. Portanto, as dietas a base de forragem aumentam a emissão de GEE. O mesmo foi relatado por Dutreuil et al. (2014), que observaram que a menor proporção de forragem/concentrado na dieta, reduziu as emissões de GEE. Para Belflower et al. (2012),

outro efeito que contribui essa para maior emissão de GEE é que os animais de menor produção têm um requisito de manutenção maior por unidade de leite produzido.

Tabela 17. Emissão média anual de gases de efeito estufa (GEE) nos sistemas de produção

Emissão de GEE	ORG-T				GRASSFED	
	GRASS		SM+GRASS		GRASS	
	Holandês	Jersey	Holandês	Jersey	Holandês	Jersey
Metano						
Kg CH ₄ /vaca	236,5	189,6	213	164,4	302,2	252,8
Kg CO ₂ equiv.	360.662,5	289.140	324.825	250.710	460.855	385.520
Oxido nitroso						
Kg N ₂ O/vaca	4	2,9	5,5	4,4	5,4	4,1
Kg CO ₂ equiv.	72.712	52.716	99.979	79.983,2	98.161,2	74.529,8
GEE Total (kg CO ₂ equiv.)						
Animal	298.046	238.431	268.009	206.183	381.858	31.9318
Esterco	31.678	25.484	27.449	22.044	38.689	31.785
Produção de alimentos	31.132	18.057	64.049	48.600	53.348	34.391
CO ₂ biogênico líquido	-141.375	-129.229	-138.996	-126.612	-129.030	-116.082
CO ₂ antropogênico	21.632	18.011	11.909	10.945	27.053	23.293
Entrada via insumos de produção	106.308	97.255	78.868	63.278	46.335	40.142

de leite simulados.

ORG-T sistema de produção de leite orgânico com o uso de grãos na dieta; GRASSFED sistema de produção de leite orgânico sem o uso de grãos na dieta; GRASS sistema de alimentação com uso somente de gramíneas/leguminosas na forma de pastagem e/ou sua forma conservada como silagem pré-secada e/ou feno; SM+GRASS sistema de alimentação com uso de silagem de milho e gramíneas/leguminosas na forma de pastagem

No sistema ORG-T, quando se compara o sistema SM+GRASS em relação ao sistema com GRASS, a emissão de GEE relativa a produção de alimentos dentro da fazenda foi maior no sistema que utiliza silagem de milho. Isso se deve ao maior uso de insumos na produção desse tipo de forragem, como maior número de operações para o preparo de solo, plantio, adubação e colheita. Porém, quando considerado a emissão de GEE via entrada total de insumos de produção, este valor foi menor, devido à menor necessidade de aquisição de insumos como ração para o sistema SM+GRASS (Tabela 17). Embora o CO₂ seja emitido a partir de outras fontes em um sistema, tais como o metabolismo animal e degradação do esterco durante o armazenamento, a emissão e assimilação de CO₂ ocorre durante a produção

de alimentos para animais influenciando fortemente a emissão total de CO₂ biogênico em cada fazenda (Chianese et al. 2009a).

As emissões secundárias (ocorridas na fabricação de insumos) foram maiores no sistema ORG-T, devido a maior utilização dos recursos produzidos fora da fazenda, incluindo combustível, eletricidade, produtos químicos e grãos comprados. Resultados semelhantes foram encontrados por Belflower et al. (2012).

5 CONCLUSÕES

A rentabilidade e a emissão de GEE foram influenciadas pelo sistema de produção, fonte de volumosos e pela raça utilizada, sendo todos os sistemas de produção de leite orgânico economicamente rentáveis.

O sistema GRASSFED foi o de maior rentabilidade, porém apresentou maiores emissões de GEE. O sistema ORG-T, apresentou menores emissões de GEE com lucratividade menor. O sistema SM+GRASS apresentou menor rentabilidade e maiores emissões de GEE.

O sistema de produção com menor produtividade (GRASSFED) foi o responsável pelas menores emissões por animal, porém, foram maiores quando levadas em conta a emissão por unidade de leite produzido.

O prêmio pago ao leite no sistema GRASSFED foi fundamental para compensar a menor produtividade dos animais e manter ganhos econômicos.

A raça Jersey apresentou menor produtividade e maior rentabilidade econômica por unidade de leite produzido em relação a raça Holandês.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AROEIRA, L.J.M; STOCK, L.A.; ASSIS, A.G.; MORENS, M.J.F.; ALVES, A.A. Viabilidade da produção orgânica de leite no Brasil. *Anais... Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, 43, 2006, João Pessoa. XLIII Reunião Anual da Sociedade Brasileira De Zootecnia. SBZ, 2006.
- ASAE Standards. D497.4. and EP496.2. *Agricultural Machinery Management*. 2000. 47^a Ed. 2000. St. Joseph, MI.
- ARGOLOME, A. C.; OLIVEIRA, R. D. Congresso USP de Controladoria e Contabilidade, 6. *Anais... Um modelo de simulação de cenários como ferramenta de planejamento na bovinocultura de corte*. São Paulo: USP, 2006.
- BARBIER, B.; CARPENTIER, C. Mini-Symposium on Modeling at the International Association of Agricultural Economists Conference. *Anais... The conditions for sustainability of tropical Agriculture: Bioeconomic models applied to five contrasting farming systems*. Berlin: 2000.
- BARBOSA, F.A.; SOUZA, R.C. *Administração de fazendas de bovinos – leite e corte*. Viçosa : Aprenda Fácil, 2007. p. 342.
- BARBOSA, P. F.; COSTA, M. A. B.; TORRES, I. *Modelos de simulação como ferramentas de auxílio à tomada de decisões em sistemas de produção de gado de corte*. Modelagem e simulação de sistemas de produção animal. São Carlos : Embrapa Pecuária Sudeste, 2002.
- BELFLOWER, J.B.; BERNARD, J.K.; GATTIE, D.K.; HANCOCK, D.W.; RISSE, L.M.; ROTZ, A. A case study of the potential environmental impacts of different dairy production systems in Georgia. *Agricultural systems*.2012. p84-93.
- BERCHIELLI, T. T.; MESSANA, J. D.; CANESIN, R. C. Produção de metano entérico em pastagens tropicais. *Revista Brasileira de Saúde Produção Animal*, v. 13, n.4, p. 954-968, 2012.
- BERETTA, V. Produtividade e Eficiência Biológica de Sistemas de Produção de Gado de Corte de Ciclo Completo no Rio Grande de Sul. *Revista Brasileira de Zootecnia*. p. 991-1001, 2002.

BERETTA, V. Produtividade e Eficiência Biológica de Sistemas Pecuários de Cria Diferindo na Idade das Novilhas ao Primeiro Parto e na Taxa de Natalidade do Rebanho no Rio Grande de Sul. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 2001. v30. p. 1278-1286.

BORTON, L.R., C.A. ROTZ, J.R. BLACK, M.S. ALLEN, AND J.W. LLOYD. 1997. Alfalfa and Corn Silage Systems Compared on Michigan Farms. *J. Dairy Sci.* 80:1813-1826.

BORTON, L.R., C.A. ROTZ, H.L. PERSON, T.M. HARRIGAN, AND W.G. BICKERT. 1995. Simulation to evaluate dairy manure systems. *Appl. Eng. Agric.* 11(2):301-310.

BOUWMAN, A.F. Direct emission of nitrous oxide from agricultural soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* (1996) v46. p53-70.

BRASIL. Instrução Normativa nº 64 do Ministério da Agricultura (MAPA). Dispõe sobre produção orgânica animal e vegetal. Brasília, 2011.

CAPPER, J. L.; CADY, R. A. A comparison of the environmental impact of Jersey compared with Holstein milk for cheese production. *Journal of Dairy Science*. 2012. v95. p165–176.

CENTURY. CENTURY user's guide and reference. Natural Resource Ecology Laboratory. 2007. Colorado State University, Fort Collins, CO. disponível em: <http://nrel.colostate.edu/projects/century5/reference/index.htm>

CHIANESE, D.S.; ROTZ, C.A.; RICHARD, T.L. Whole-Farm Greenhouse Gas Emissions: A Review with Application to a Pennsylvania Dairy Farm. *Applied Engineering in Agriculture*. 2009a. v25. p431-442.

CHIANESE, D.S.; ROTZ, C.A.; RICHARD, T.L. Simulation of carbon dioxide emissions from dairy farms to assess greenhouse gas reduction strategies. *Transactions of the ASABE*. 2009b. v52. p1301-1312.

CHIANESE, D.S.; ROTZ, C.A.; RICHARD, T.L. Simulation of methane emissions from dairy farms to assess greenhouse gas reduction strategies. *Transactions of the ASABE*. 2009c. v52. p1313-1323.

CHIANESE, D.S.; ROTZ, C.A.; RICHARD, T.L. Simulation of nitrous oxide emissions from dairy farms to assess greenhouse gas reduction strategies. *Transactions of the ASABE*. 2009d. v52. p1325-1335.

COOK, A. L., P. S. HEACOCK, G. K. CRINER, AND L. A. BRAGG. 2010. Organic Milk Production in Maine: Attributes, Costs, and Returns. Maine Agricultural and Forest Experiment Station Technical Bulletin 204. The University of Maine, Orono.

CORSON, M.S.; ROTZ, C.A.; SKINNER, R.H. Evaluating warm-season grass production in temperate-region pastures: A simulation approach. *Agricultural systems*. 2007. v93. p252-268.

DAYCENT. DAYCENT. Versão. 4.5. 2007. Fort Collins, CO: Natural Resource Ecology Laboratory, Colorado State University.

DEAK, A.; HALL, M.H.; SANDERSON, M.A.; ROTZ, A.; CORSON, M. Whole-Farm Evaluation of Forage Mixtures and Grazing Strategies. *Agronomy journal*. 2010. v102. p. 1201-1209.

DEL GROSSO, S.J.; PARTON, W.J.; MOSIER, A.R., OJIMA, D.S. General model for N₂O and N₂ gas emissions from soils due to denitrification. *Global Biogeochemical Cycles*. 2000. v.14. p.1045–1060.

DUTREUIL, M.; WATTIAUX, M.; HARDIE, C.A.; CABRERA, V.E. Feeding strategies and manure management for cost-effective mitigation of greenhouse gas emissions from dairy farms in Wisconsin. *Journal of dairy Science*. 2014. v97. p5904-5917.

DIJKHUIZEN, A. A. Critical steps in system simulation. *Animal Health Economics*. 1997. p. 59-67.

EIA, Energy Information Administration. Emissions of greenhouse gases in the United States 2005. 2006. U.S. Department of Energy, Washington, D.C. disponível em: <http://www.eia.doe.gov/oiaf/1605/ggrpt/>

EPA, Environmental Protection Administration. Inventory of U. S. greenhouse gas emissions and sinks: 1990-2006. Additional Information. U.S. Environmental Protection Agency. 2008. Washington, DC. Disponível em: http://www.epa.gov/climatechange/emissions/downloads/08_Annex_6.pdf.

FLESSA, H.; DÖRSCH, P.; BEESE, F.; KÖNIG, H.; BOUWMAN, A. F. Influence of Cattle Wastes on Nitrous Oxide and Methane Fluxes in Pasture Land. *Journal of Environmental Quality*. 1996. v. 25 n.6, p. 1366-1370

FONSECA, M. F. A. C. Cenário da produção e da comercialização dos alimentos orgânico. Workshop sobre produção orgânica de leite, Juiz de Fora, Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, 2000.

FONTOURA-JÚNIOR, J.A.S.; MENEZES, L.M.; CORRÊA, M. N.; DIONELLO, N.J.L. Utilização de modelos de simulação em sistemas de produção de bovinos de corte. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. 2007. n.1. v.14.p. 19-30.

FORSTER, P. et al. Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. *Climate change 2007: the physical science basis*. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. p. 129- 234.

GHEBREMICHAEL, L.T.; CEROSALETTI, P.E.; VEITH, T.L.; ROTZ, C.A.; HAMLETT, J.M.; GBUREK, W.J.; Economic and Phosphorus-Related Effects of Precision Feeding and Forage Management at a Farm Scale. *Journal of dairy science*. 2007.v9. p 3700-3715.

GUIMARÃES, P.H.S.; MADALENA, F.E.; CEZAR, I.M. Simulação dos efeitos dos preços de produtos e insumos na avaliação econômica de três sistemas alternativos de bovinocultura de cria. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. 2005. v.57, supl. 2. p.227-230.

GOLLNOW, S.; LUNDIE, S.; MOORE, A.D.; Et al. (2014) Carbon footprint of milk production from dairy cows in Australia. *International Dairy Journal*, v. 37, n. 1, p. 31-38

HAMILTON, S.W.; DEPETERS, E.J.; MCGARVEY, J.A.; LATHRO, P.J. Greenhouse gas, animal performance, and bacterial population structure responses to dietary Monensin to dairy cows. *Journal of Environmental Quality*. 2010. v39. p1-9.

HARDIE, C.A., M. WATTIAUX, M. DUTREUIL, R. GILDERSLEEVE, N.S. KEULER, AND V.E. CABRERA. Feeding strategies on certified organic dairy farms in Wisconsin and their effect on milk production and income over feed costs. *Journal of Dairy Science*. 2014. 97:4612–4623

HARRIGAN, T.M., W.G. BICKERT, AND C.A. ROTZ. 1996. Simulation of dairy manure management and cropping systems. *Appl. Eng. Agric*. 12(5):563-574.

HARRIGAN, T.M, C.A. ROTZ, AND J.R. BLACK. 1994. A comparison of large round bale storage and feeding systems on dairy farms. *Appl. Eng. Agric*. 10(4):479-491.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2006. Microdados Censos Agropecuários.

IDF International Dairy Federation. A common carbon footprint approach for dairy. The IDF guide to standard lifecycle assessment methodology for the dairy sector. 2010. Boletim 455, Brussels.

IPCC. Climate Change 2001: Synthesis Report. A Contribution of Working Groups I, II, and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2001. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, and New York, NY, USA, 398 pp

IPCC. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. 2006. Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.

IPCC. Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

HAYNES, R.J.; WILLIAMS, P.H. Changes in soil solution composition and pH in urine-affected areas of pasture. *Journal of Soil Science*. 1992. v43. p323-334.

HOLTER, P. 1997. Methane emissions from Danish cattle dung pats in the field. *Soil Biology and Biochemistry*. v29. p31- 37

HOSHIDE, A.K.; HALLORAN, J.M.; KERSBERGEN, R.J.; GRIFFIN, T.S.; DEFAUW, S.L.; LAGASSE, B.J.; JAIN, S. Effects of Stored Feed Cropping Systems and Farm Size on the Profitability of Maine Organic Dairy Farm Simulations. *Journal of dairy Science*. 2011. v94. p5710-5723.

JARVIS, S.C.; LOVELL, R.D.; PANAYIDES, R. Patterns of methane emission from excreta of grazing animals. *Soil Biology and Biochemistry*. 1995. v.27. p.1581–1588.

JORGE JUNIOR, J.; CARDOSO, V.L.; ALBUQUERQUE, L.G. Modelo bioeconômico para cálculo de custos e receitas em sistemas de produção de gado de corte visando à obtenção de valores econômicos de características produtivas e reprodutivas. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 2006. p. 2187-2196.

KIRCHGESSNER, M.; WINDISCH, W.; MÜLLER, H.L.; KREUZER, M. Release of methane and of carbon dioxide by dairy cattle. *Agribiological Research*. 1991. v44. p91-102.

LAMPERT, V.N.; BARCELLOS, J.O.J.; KLIEMANN NETO, F.J.; CANELLAS, L.C. Development and application of a bioeconomic efficiency index for beefcattle production in Rio Grande do Sul, Brazil *Revista Brasileira de Zootecnia*. 2006. v.41, n.3, p.775-782.

MCALLISTER, T.A.; CHENG, K.J.; OKINE, E.K.; MATHISON, G.W. Dietary, environmental and microbiological aspects of methane production in ruminants. *Canadian Journal of Animal Science*, 1996, 76:231-243.

MCBRIDE, W. D.; GREENE, C. Organic dairy sector evolves to meet changing demand. *Amber Waves*. USDA, Economic Research Service. 2010.

MENDONÇA, L. R. C.; OLIVEIRA, M.A.A.; MONTEIRO, L.A. Simulator of Bioeconomics Scenes for Support to the Decision in the Management of Producing Farms of Beef Cattle. *Advances in Intelligence Systems Theory And Applications*. 2004.

MERTENS, David R. Dietary fiber components: relationship to the rate and extent of ruminal digestion. *Federation Proceedings*, v. 36, n. 2, p. 182-192, 1977.

MILLS, J.A.N.; KEBREAB, E.; YATES, C.M.; CROMPTON, L. A.; CAMELL, S. B. DHANOA, M.S.; AGNEW, R.E.; FRANCE, J. Alternative approaches to predicting methane emissions from dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2003. v81. p3141-3150.

NOAA. National Centers for Environmental Information. *The 1981-2010 Climate Normals*. 2016. Asheville, NC. Disponível em <http://www.ncdc.noaa.gov/cdo-web/datatools/normal>.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Nutrient requirements of dairy cattle. 7.ed. Washington, DC: National Academy Press, 2001. 381p.

HONORATO, L. A.; MACHADO FILHO, L. C. P.; BARBOSA SILVEIRA, I. D.; HOTZEL, M. J. Strategies used by dairy family farmers in the South of Brazil to comply with organic regulations. *Journal of Dairy Science*. 2014. v97. p1319–1327.

O'BRIEN, D; SHALLOO, L.; GRAINGER, C.; BUCKLEY, HORAN, F. B.; WALLACE, M. The influence of strain of Holstein-Friesian cow and feeding system on greenhouse gas emissions from pastoral dairy farms. *Journal of Dairy Science*. 2010. v93. p3390–3402

OLESEN, J.E.; SCHELDE, K.; WEISKE, A.; WEISBJERG, M.R. Modelling greenhouse gas emissions from European conventional and organic dairy farms. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2006. v112. p207–220.

OMSCO. Organic milk market report 2015. Worle, Somerset. p45. Disponível em: http://www.omSCO.co.uk/_clientfiles/pdfs/MarketReport-2015.pdf

PARTON, W.J.; E.A.; HOLLAND, S.J.; DEL GROSSO, M.D.; HARTMAN, R.E. Generalized model for NO_x and N₂O emissions from soils. *Journal of Geophysical Research*. 2001.v.106. p.17403–17419.

PAUL, J.W.; BEAUCHAMP, E.G. Relationship between volatile fatty acids, total ammonia, and pH in manure slurries. *Biological Wastes*. 1989. v.29. p.313 – 318.

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. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 2004. v.39, n.3, p.277-283.

REIS R. P. Fundamentos de economia aplicada. 2002. Lavras: UFLA/FAEPE.

ROTZ, C.A. Economics of chemically conditioned alfalfa on Michigan dairy farm. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. 1985. v28. p1024-1030.

ROTZ, C.A.; KOEGEL, R.G.; SHINNERS, K.J.; STRAUB, R. J. Economics of maceration and mat drying of alfalfa on dairy farms. *Applied Engineering in Agriculture*. 1990. v6. p248-256.

- ROTZ, C.A.; BUCKMASTER, D.R.; BORTON, L.R. Economic potential of preserving high-moisture hay. *Applied Engineering in Agriculture*. 1992. v8. p315-323.
- ROTZ, C.A.; PITT, R.E.; MUCK, R.E.; ALLEN, M.S.; BUCKMASTER, D.R. Direct-cut harvest and storage of alfalfa on the dairy farm. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. 1993. v36. p621-628.
- ROTZ, C.A.; RODGERS, J.R. A comparison of grazing and confined feeding systems on a Pennsylvania dairy farm. *Anais...* 1994 Forage and Grassland Conference. American Forage and Grassland Council. Georgetown, TX. p. 252-156.
- ROTZ, C.A. Economics of grazing alfalfa on Michigan dairy farms. *Anais...* 26th National Alfalfa Sym. Certified Alfalfa Seed Council, Inc.1996. Davis, CA. p72-81.
- ROTZ, C.A.; JOHNSON, L.M.; HARRISON, J.H. Economics of corn silage processing on North American dairy farms. *Applied Engineering in Agriculture*. 1999a. v15. p411-421.
- ROTZ, C.A.; SATTER, L.D.; MERTENS, D.R.; MUCK, R.E. Feeding strategy, nitrogen cycling, and profitability of dairy farms. *Journal of Dairy Science*. 1999b. v82. p2841-2855.
- ROTZ, C.A.; KAMPHUIS, G.H.; KARSTEN H.D.; WEAVER, R.D. Organic dairy production systems in Pennsylvania: a case study evaluation. *Journal of Dairy Science*. 2007. 90:3961-3979.
- ROTZ, C.A.; MONTES, F.; HAFNER, S.D.; HEBER, A.J.; GRANT, R.H. Ammonia Emission Model for Whole Farm Evaluation of Dairy Production Systems. *Journal of environmental quality*. 2014. v43. p1143.
- ROTZ, C.A.; Corson, M.S.; Chianese, D.S.; Montes, F; Hafner, S.D.; Bonifacio, H.F.; Coiner, C.U. IFSM Reference Manual Version 4.2. 2015. Disponivel em: <https://www.ars.usda.gov/ARUserFiles/80700500/Reference%20Manual.pdf>.
- SANDERSON, M.A.; CORSON, M.S.; ROTZ, C.A.; SODER, K.J. Economic Analysis of Forage Mixture Productivity in Pastures Grazed by Dairy Cattle. *Forage and grazinglands*. 2006.
- SHERLOCK, R.R.; Sommer, S.G.; Khan, R.Z.; Wood, C.W.; Guertal, E.A. Emission of ammonia, methane and nitrous oxide from pig slurry applied to a pasture in New Zealand. *Journal of Environmental Quality*. 2002. v.31. p.1491-1501.
- SNELL, L.K.; GURETZKY, J.A.; JIN, V.L.; DRIJBER, R.A. Nitrous oxide emissions and herbage accumulation in smooth brome grass pastures with nitrogen fertilizer and ruminant urine application. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 2014. v98. p223-234.

SOARES, J. P. G., AROEIRA, L. J. M., FONSECA, A. H. F., FAGUNDES, G. M., & SILVA, J. B. 2011. *Anais... Produção orgânica de leite: desafios e perspectivas*. III Simpósio Nacional de Bovinocultura Leiteira.

SOARES, R. P. Desenvolvimento de um Simulador Genérico de Processos Dinâmicos. 2003. 162p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SODER, K.J., AND C.A. ROTZ. 2001. Economic and environmental impact of four levels of concentrate supplementation in grazing dairy herds. *J. Dairy Sci.* 84:2560-2572.

SODER, K.J. AND C.A. ROTZ. 2003. Economic and environmental impact of utilizing a total mixed ration in Pennsylvania grazing dairy herds. *Prof. Anim. Scientist* 19:304-311.

SOMMER, S.G.; PETERSEN, S.O.; MOLLER, H.B. Algorithms for calculating methane and nitrous oxide emissions from manure management. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 2004. v69. p143-154.

SOUZA, R. M.; COELHO, R. W.; RODRIGUES, R. C. Simulação da produção animal para avaliar o efeito de práticas de manejo na produtividade do gado de corte. *Anais... REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA*, 38. Piracicaba, 2001.

TANURE, S.; NABINGER, C.; BECKER, J.L. Bioeconomic Model of Decision Support System for Farm Management: Proposal of a Mathematical Model. *Systems Research and Behavioral Science*. 2014. v. 31.

USDA Agricultural Marketing Service. National Organic Program (NOP) - Pasture for Organic Ruminant Livestock: Understanding and Implementing the National Organic Program (NOP) Pasture Rule. 2011. US Department of Agriculture, Agricultural Marketing Service, Washington, DC.

VAN GROENIGEN, J.W.; KUIKMAN, P.J.; DE GROOT, W.J.M. Nitrous oxide emission from urine-treated soil as influenced by urine composition and soil physical conditions. *Soil Biology and Biochemistry*. 2005. v37. p.463-473.

WANG, M. *GREET version 12*. Argonne National Laboratory, Argonne, IL. 2012. disponível em: <http://greet.es.anl.gov>. Acessado em 13/01/2015.

WHITE, J. W., RASSWEILER, A., SAMHOURI, J. F., STIER, A. C. AND WHITE, C. 2014. Ecologists should not use statistical significance tests to interpret simulation model results. *Oikos*, 123: 385–388.

WILLER, H.; LERNOUD, J. *The World of Organic Agriculture. Statistics and Emerging Trends 2011*. FiBL-IFOAM Report. IFOAM, Bonn, Germany and Research Institute of Organic Agriculture, FiBL, Frick, Switzerland; 2011.

WILLER, H.; LERNOUD, J. *The World of Organic Agriculture. Statistics and Emerging Trends 2016*. IFOAM, Bonn, Germany and Research Institute of Organic Agriculture, FIBL, Frick, Switzerland; 2016.

YÁÑEZ L.; ARANGUREN-MÉNDEZ, J.; VILLASMIL-ONTIVEROS, Y. Modelo Bioeconomico de simulación para orientar la definición del objetivo de selección en el sistema doble propósito. *Revista Científica*. (Maracaibo). 2006. v.16 n.4. p. 381-392.

YAMULKI, S.; JARVIS, S.C.; OWEN, P. 1999. Methane emission and uptake from soils as influenced by excreta deposition from grazing animals. *Journal of Environmental Quality*. v.28.p 676–682.