



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA



**MAXIMIZAÇÃO ECONÔMICA EM UNIDADE PRODUTIVA
AGROPECUÁRIA COM REUTILIZAÇÃO DOS EFLUENTES
GERADOS**

ANDRÉ SANDMANN

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA

SETEMBRO - 2013

ANDRÉ SANDMANN

**MAXIMIZAÇÃO ECONÔMICA EM UNIDADE PRODUTIVA
AGROPECUÁRIA COM REUTILIZAÇÃO DOS EFLUENTES
GERADOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para obtenção do Título de Doutor em Engenharia Agrícola.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: IRRIGAÇÃO E DRENAGEM

ORIENTADORES:

VERA LÚCIA ANTUNES DE LIMA – Doutora - UFCG/CTRN/UAEAg

CARLA DANILE CAMARA - Doutora – UTFPR/SEDUP

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA

SETEMBRO – 2013

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

S214m Sandmann, André.

Maximização econômica em unidade produtiva agropecuária com reutilização dos efluentes gerados / André Sandmann. – 2013.

126 f. : il. color.

Tese (Doutorado Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande; Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

"Orientação: Profª. Drª. Vera Lúcia Antunes de Lima, Profª. Drª. Carla Danile Camara".

Referências.

1. Modelo Matemático. 2. Proteína Animal e Vegetal. 3. Impactos Ambientais. I. Lima, Vera Lúcia Antunes de. II. Camara, Carla Danile. III. Título.

CDU 631/636(043)



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA TESE

ANDRE SANDMANN

MAXIMIZAÇÃO ECONÔMICA EM UNIDADE PRODUTIVA
AGROPECUÁRIA COM REUTILIZAÇÃO DOS EFLUENTES GERADOS.

BANCA EXAMINADORA


Dr.ª Vera Lúcia Antunes
Orientadora (UAEAG/UFMG)


Dr.ª Carla Daniela Camara
Examinadora (UTPR/Medicina)


Dr.ª Silvana Ligia Vicenzi Bortolotti
Examinadora (UTPR/Medicina)


Dr. José Dantas Neto
Examinador (UAEA/UFMG)


Dr.ª Maria Sallydelândia Sobral de Farias
Examinadora (UAEA/UFMG)

PARECER

Aprovado

Aprovado

Aprovado

APROVADO

APROVADO

SETEMBRO DE 2013

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela oportunidade de ser e de existir, de usar dos dons concedidos para produzir conhecimento e compartilhá-lo com a sociedade,

A meus pais, por me terem doado parte de sua vida para minha criação, por estarem ao meu lado nos momentos mais extremos, ensinando a buscar e a lutar pelos meus sonhos, a enfrentar qualquer obstáculo para alcançá-los; sua força, ânimo, e garra são como uma luz que ilumina e orienta meu caminho.

A minha filha, Ana Flávia, pelo amor e mensagens de carinho dispensados a mim, mesmo com minha ausência constante, mais que ninguém, soube ser compreensiva e paciente, deixou com que dividisse as angustias e aflições, para compartilhar momentos de felicidade surgidos na construção desse trabalho.

A minhas irmãs, Luana e Sandra, por estarem presentes nos momentos mais lindos e mais difíceis de minha caminhada e pelo imenso amor que sentimos uns pelos outros.

Aos meus alunos, Adriano, Bruno, Leandro, Lucas André, Mauricio, Nívia, Otávio, Samuel e Vilson, pelo companheirismo, compreensão, carinho e paciência; enfim, pela significativa presença durante esses anos de pesquisa. Não tenho palavras para lhes agradecer.

A meus padrinhos, Noemi e Januário, por sempre me porem em suas orações e por seus bons exemplos de vida.

Aos meus amigos e colegas de trabalho, Betânia, Claudimara, Cleverson, Evandro, Everton, Ivone, Junyor, Liliane, Lucas, Mateus, Neusa, Pedro, Priscila, Romildo, Shiderlene, Soeli, Vanessa e Viviane, por acreditarem em mim incentivando-me sempre, e aos professores que contribuíram para o desenvolvimento deste projeto.

A grande amiga, Nilma Moresco, pelas sugestões, correções, carinho e compreensão.

À minha orientadora Profa. Dra. Vera Lucia Antunes Lima, pela oportunidade da realização deste trabalho, por sua compreensão das minhas ausências, pelos conselhos e pelo compartilhamento de seu conhecimento.

À minha amiga e co-orientadora Profa. Dra. Carla Daniela Camara, por sua presença constante e as valiosas contribuições neste trabalho.

À banca examinadora, por suas notórias contribuições.

À UFCG e à UTFPR, pela parceria e oportunidade de desenvolvimento dessa tese.

MAXIMIZAÇÃO ECONÔMICA EM UNIDADE PRODUTIVA AGROPECUÁRIA COM REUTILIZAÇÃO DOS EFLUENTES GERADOS

RESUMO: O presente estudo objetivou desenvolver um modelo matemático para unidades de produção agropecuária visando maximizar o resultado econômico e, ao mesmo tempo, adequar o sistema de produção à legislação ambiental relativa à implementação da bovinocultura de leite, avicultura, suinocultura e produção de grãos, nas condições do entorno do lago de Itaipu, Oeste do PR. Para isto, buscou-se conhecer a dinâmica do sistema de produção agropecuário, de uma unidade de produção agropecuária piloto, por meio de entrevistas e análises laboratoriais dos resíduos da cadeia produtiva de proteína animal. Esta abordagem permitiu levantar dados que auxiliaram na investigação e na análise da unidade de produção, a fim de formular o Modelo Matemático que possibilitou a elaboração de alternativas de desenvolvimento pertinentes à realidade onde se pretendeu intervir. A partir dos dados coletados foram realizados cálculos econômicos do balanço energético das pastagens da unidade em questão; estabeleceram-se as Restrições - técnicas; financeiras; de superfície; de mão-de-obra; de máquinas, equipamentos e instalações; de rotação de culturas, fertilidade do ecossistema; do impacto ambiental e de tratamento de resíduos - foram levantados os coeficientes zootécnicos referentes ao rendimento das pastagens e seus potenciais energéticos. O modelo desenvolvido, no Software LINGO 4.0, representa uma Unidade de Produção Agropecuária (UPA) que tem por prática a suinocultura, bovinocultura de leite, avicultura, produção de milho, soja e aveia. Como principais resultados do modelo verificou-se que a maximização do resultado econômico anual se mostrou mais eficaz, no aproveitamento da superfície de área útil e dos resíduos gerados na atividade agropecuária, do que simulação do resultado econômico mensal, e ainda, que a modelagem matemática é uma ferramenta eficaz no desenvolvimento, gerenciamento e tomada de decisões em atividades agrárias com elevados impactos ambientais. Obteve-se o reúso total dos efluentes da suinocultura que são os mais impactantes, bem como a utilização dos dejetos da bovinocultura na própria UPA; já em referência às camas de frango, devido à facilidade de manejo, o alto valor econômico agregado e a logística de fácil aplicação, os modelos sugeriram a comercialização como adubo orgânico.

Palavras-Chave: Modelo Matemático; Proteína Animal e Vegetal; Impactos Ambientais.

ECONOMICAL MAXIMIZATION IN AGRICULTURAL PRODUCTIVE UNIT WITH REUTILIZAÇÃO OF GENERATED WASTES

ABSTRACT: The present study aimed at developing a mathematical model for farming production units attempting to maximize the economical result and, at the same time, adapt the production system to the environmental laws regarding the implementation of the pig farming, milk-cattle raising, poultry and the production of grain, according to the conditions surrounding the Itaipu Lake, West of Paraná. For that, the dynamic of the farming production system was observed through interview and laboratory analysis of residue from the productive chain of animal protein. This approach allowed data collection, which helped in the investigation and in the analysis of the farming, in order to formulate the Mathematical Model that enabled the elaboration of development alternatives regarding the place where it was intended to intervene. Starting from the interviews, economic calculus of the energy balance of the grazing areas of the unit; it was established the following restrictions: technical, financial, surface, labor, machines, equipment and facilities, crop rotation restrictions, Ecosystem Fertility restrictions, environmental impact and waste treatment. Zoo technical coefficients were studied regarding the potential of the pastures and its energy potentials. The model developed through LINGO 4.0 software represents a Farming Production Unit (FPU) which has the practice of pig farming, milk-cattleraising, poultry, corn, soy and oat crop. As main results of the model it was verified that the maximization of the annual economical result showed more effectiveness in the use of the useful area and the residues generated in the farming activity in comparison to the simulation of the economic monthly result, and yet that the mathematical modeling is an effective tool in the development, administration and the taking of decision in agrarian activities with high environmental impacts. The FPU obtained the total reuse of effluents of pig farming which have greater ambiental impact; also the waste of the cattle-milk raising was used. In relation to the poultry litter, due to its easy handling, high economic added-value and the logistics of easy application, the models suggested the selling as organic fertilizer.

Key words: Mathematical Model; Animal and Vegetable Protein; Environmental Impacts.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS.....	18
2.1 Objetivo Geral.....	18
2.2 Objetivos Específicos.....	18
3. REVISÃO DE LITERATURA	19
3.1 Modelagem Matemática.....	20
3.1.1 Programação Linear.....	23
3.1.2 Formulação das restrições	27
3.2 Sustentabilidade do agronegócio nos municípios adjacentes ao lago de Itaipu	27
3.3 Produção de proteína animal ambientalmente adequada.....	29
3.3.1 Contaminação do solo e ar.....	31
3.4 Características gerais dos dejetos: suínos, bovinos e aves.....	32
3.5 Opções de tratamento de resíduos de bovinos e suínos	34
3.6 Avicultura no Brasil	40
3.7 Milho e Soja	42
3.8 Leite e Carnes	44
3.9 Culturas Agrícolas: Recomendações de Nutrientes.....	46
3.9.1 Nitrogênio	46
3.9.2 Fósforo	50
4. MATERIAL E MÉTODOS	52
4.1 Unidade de produção agropecuária piloto	52
4.2 Aquisição dos animais e manejo de seus resíduos	54
4.3 Monitoramento do sistema de tratamento e coleta de amostras de resíduos ...	55

4.4	Caracterização dos resíduos da avicultura e bovinocultura	57
4.5	Tratamento dos dados	58
5.	DESENVOLVIMENTO DO MODELO	59
5.1	Entrada de dados do Modelo – Dados primários	60
5.2	Entrada de dados do Modelo – Dados secundários	61
5.2.1	Alimentação da bovinocultura de leite	62
5.2.2	Oferta de Nitrogênio e Fósforo oriundos dos rejeitos	63
5.2.3	Superfície de área útil (SAU)	63
5.2.4	Mão-de-obra	64
5.2.5	Produção de grãos e pastagens	65
5.3	Descrição formal do modelo	65
5.3.1	Função Objetivo	66
5.3.2	Parâmetros de entrada	69
5.4	Produção de dejetos dos animais e balanço de nutrientes nas culturas	76
5.5	Restrições	79
5.5.1	Superfície	79
5.5.2	Alimentação dos Bovinos de Leite	80
5.5.3	Mão-de-Obra	90
5.5.4	Restrições para validação do modelo	91
5.6	Equações e inequações de Ligações	91
6.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	99
6.1	Resultados das análises dos resíduos na UPA	99
6.1.1	Avicultura	99
6.1.2	Bovinocultura	102

6.1.3	Suinocultura	104
6.2	Coerência do Modelo com a Situação Atual	109
6.3	Apresentação das Simulações.....	109
6.3.1	Sistema de Produção Proposto nas Soluções do Modelo.....	110
7.	CONCLUSÕES	118
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	120

Lista de Figuras

Figura 1. Vista aérea da prainha do município de São Miguel do Iguaçu (A) e mapa do oeste Paranaense (B)	54
Figura 2. Sistema de tratamento para dejetos de suínos: biodigestor (A) e lagoa facultativa (B)	55
Figura 3. Croqui da integração da dinâmica entre os principais elementos que compõem a produção de proteína animal	56
Figura 4. Aviários (A) e Sala de Ordenha (B).....	58
Figura 5. Fluxograma do Modelo desenvolvido para a UPA	60
Figura 6. Simulações sobre os resultados econômicos mensais.....	113
Figura 7. Distribuição da SAU nas simulações	115

Lista de Tabelas

Tabela 1. Cálculo da emissão anual de metano originário de dejetos da exploração pecuária, conforme cada categoria animal, em 1.000 toneladas anuais.....	32
Tabela 2. Equivalentes populacionais de várias espécies de animais	33
Tabela 3. Comparativo de algumas tecnologias de manejo ou tratamento avaliadas ou desenvolvidas no Brasil, para dejetos suínos.....	40
Tabela 4. Extração média de nutrientes pela cultura do milho destinada à produção de grãos e silagem, em diferentes níveis de produtividades	47
Tabela 5. Estimativa da necessidade de adubação nitrogenada para a cultura milho.....	49
Tabela 6. Quantidade absorvida e concentração de nutrientes na cultura da soja	51
Tabela 7. Localização da UPA	53
Tabela 8. Interpretação dos principais componentes do programa.....	62
Tabela 9. Distribuição da mão-de-obra em horas na UPA.....	65
Tabela 10. Energia metabolizável presente em alimentos disponíveis ao rebanho leiteiro.....	70
Tabela 11. Proteína bruta presente em alimentos disponíveis ao rebanho leiteiro	71
Tabela 12. Valores financeiros agregados ao rebanho leiteiro	72
Tabela 13. SAU e mão-de-obra disponíveis na UPA	72
Tabela 14. Necessidade das culturas por hectare cultivado em relação aos nutrientes N e P...73	
Tabela 15. Rendimento das culturas na UPA piloto	74
Tabela 16. Valor monetário agregado às atividades desenvolvidas na UPA piloto.....	75
Tabela 17. Teores médios de nutrientes N, P, K, Ca, Mg, Cu e Zn e Matéria orgânica (MO) da cama de frango dos seis lotes avaliados na UPA e seus coeficientes de variação (CVs)	100
Tabela 18. Teores médios de nutrientes e coeficientes de variação (CVs): N, P, Cu, Zn, Ca, Mg, K e Matéria orgânica (MO) oriundos da bovinocultura.....	103

Tabela 19. Resumo da análise de variância de N, P, K, Ca e Mg em efluentes de pocilgas para três tratamentos (SSP, SBIO, SLA).....	105
Tabela 20. Resumo da análise de variância de Zn, Cu e MO em efluentes de pocilgas para três tratamentos (SSP, SBIO, SLA).....	105
Tabela 21. Teores médios dos nutrientes N, P, K, Ca e MG, dos metais Cu, Zn e da Matéria orgânica relativa às análises químicas da suinocultura.....	106
Tabela 22. Resultados da otimização do modelo (REM e REA) e da situação atual (observada)	112
Tabela 23. Área da Upa ocupada pelas culturas destinadas a venda; número de lotes de suínos e aves e Produção de leite simulados pelo modelo para as funções objetivo 1 e 2.....	114
Tabela 24. Quantidades de N e P requeridos pelas culturas e produzidos na UPA para as 2 simulações e situação atual	116

1. INTRODUÇÃO

A crescente urbanização da população mundial ensejou, para abastecê-las, a necessidade de produção e comercialização de grandes volumes de alimentos; a partir de então, formaram-se processos agropecuários em escala agroindustrial e fluxos dessas mercadorias do campo para as cidades.

A busca de produção em longa escala industrial no campo, motivou, no Brasil, o aprimoramento do agronegócio, o que tem promovido uma considerável geração de dejetos que podem levar a sérios danos ao meio ambiente afetando a qualidade de vida da população; neste sentido, destaca-se como eixo norteador da sustentabilidade rural um equilíbrio na relação geração versus absorção de resíduos pela própria unidade de produção agropecuária. Combinando dióxido de carbono atmosférico e água, a atividade fotossintética transforma e acumula a energia solar nos vegetais e em alguns organismos unicelulares, sendo que os vegetais servem de alimento para uma vasta gama de animais enquanto sua digestão - sempre incompleta - gera dejetos orgânicos que, por sua vez, mantêm grande potencial energético. Além da carga orgânica esses resíduos possuem outros compostos orgânicos, nutrientes e minerais, como nitrogênio e o fósforo, os quais, por sua vez, quando dispostos na natureza em estado bruto, em especial se oriundos de aglomeração de animais (produção intensiva) em espaços relativamente reduzidos - denominados biomassa residual - produzem impactos ambientais significativos resultantes da liberação de altas cargas carbonáceas.

No Brasil, a produção de proteína animal vem sendo desenvolvida com margens de lucro frequentemente reduzidas e limitadas pela prática e concorrência acirrada no setor que tem encontrado dificuldades para cobrir os custos de investimento e operação do tratamento dos resíduos da atividade. Com isto, a sustentabilidade da criação é comprometida e pode ocorrer sua inviabilização pelo não atendimento às normas de preservação do meio ambiente. A possibilidade de gerar novas receitas não operacionais, ou seja, faturamento adicional com outros produtos, além da venda dos animais, como aqueles obtidos a partir do aproveitamento de resíduos como produção de energia elétrica, venda de crédito ao mercado de carbono e venda de biofertilizantes abre uma nova perspectiva ao setor podendo aportar recursos relevantes para cobrir investimentos e custos operacionais imprescindíveis ao tratamento da biomassa residual e otimizar a renda da unidade.

Para sobreviver e crescer neste mercado de forte concorrência, duas condições são fundamentais: a eficiência produtiva e a eficiência gerencial. Para tanto, o produtor tem que selecionar os animais adequados para a produção requerida levando em consideração o tamanho do animal, a aptidão leiteira, o potencial genético, a raça, os recursos disponíveis como pastagem, água, os custos e preços relativos dos insumos que necessitam ser constantemente monitorados.

Tendo em vista que os criadores têm cada vez mais que apostar no aumento do número de animais a serem estabulados, sendo que muitos deles se encontram sem condições de realizar os investimentos necessários ao tratamento dos efluentes dos criatórios. Este trabalho, tem como problema: examinar a dimensão deste problema na região marcada pelos municípios adjacentes ao lago de Itaipu e se a ideia de utilizar a energia existente nesses resíduos e efluentes – a biomassa residual – poderá ter significado.

Para tais procedimentos, se analisaram as possibilidades descritas como viáveis a partir da utilização da modelagem matemática, sentido em que, tanto a modelagem matemática como a informática são instrumentos poderosos de gestão moderna e ferramentas indispensáveis nos processos de monitoramento, tomada de decisão e busca de solução nos vários segmentos do agronegócio; entre os quais produção de grãos e proteína animal.

A escolha da consolidação deste trabalho na tríplice fronteira (Brasil, Argentina e Paraguai) foi motivada pela necessidade de conservação de um ambiente de valiosos patrimônios naturais como solos férteis, que são a base de um rico complexo agropecuário e agroindustrial, pelo elevado volume de água oriunda dos rios Paraná, Iguaçu e do Aquífero Guarani que se espalha pelo subsolo de quatro países, e pelo reservatório da hidrelétrica de Itaipu, com mais de 170 km de extensão e 29 bilhões de metros cúbicos de água.

O modelo ora desenvolvido nesta tese procurou representar as condições de uma unidade de produção agropecuária de médio porte – UPA, que tenha um sistema de produção baseado nas atividades de avicultura, bovinocultura de leite, suinocultura, produção de grãos e pastagens e avaliar como ocorrem, na natureza, os impactos da cadeia produtiva da criação e industrialização desses animais e as possibilidades de transformar os resíduos destas atividades em fonte de renda, razão para que buscou-se, a formulação dos objetivos econômicos e das restrições que condicionam a função objetivo do modelo; verificou-se,

também a viabilidade técnica e econômica de uma UPA na produção de proteína animal e vegetal comparou-se ainda a associação de culturas.

Este trabalho se divide em seis capítulos, em que nos primeiro e segundos, se apresenta o tema estudado e os objetivos da Tese.

No terceiro capítulo faz-se uma revisão bibliográfica sobre Modelos de Programação e sua aplicação à análise da produção de agropecuária descrevendo a Programação Matemática e a formulação das restrições e legislação ambiental.

No quarto capítulo desenvolveu-se a metodologia da pesquisa, na qual se descrevem ainda, o programa utilizado (LINGO 4.0) e a coleta e descrição de análise dos dados de uma UPA, além da determinação de coeficientes e geração dos modelos de programação matemática baseados nos dados coletados.

No quinto capítulo, apresentam-se os modelos matemáticos.

No sexto capítulo, se encontram os resultados e discussões da tese, a descrição do modelo e das simulações com os resultados encontrados.

No sétimo capítulo têm-se as conclusões da tese.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um modelo matemático para unidades de produção agropecuária que vise maximizar o resultado econômico e, ao mesmo tempo, adequar o desenvolvimento da agropecuária no que tange à produção de dejetos oriundos da suinocultura, avicultura e bovinocultura, nas condições do entorno do lago de Itaipu, PR, às leis ambientais.

2.2 Objetivos Específicos

- Estimar o custo de produção da suinocultura, bovinocultura e avicultura, em uma propriedade piloto;
- Avaliar a qualidade do esterco produzido em relação aos macronutrientes N, P, K, CA e Mg, aos metais Cu e Zn e a Matéria Orgânica
- Avaliar a eficiência do biodigestor e da lagoa de armazenamento para suinocultura, em relação ao tratamento do dejetos;
- Verificar a viabilidade econômica e técnica na produção de proteína animal e vegetal;
- Comparar a viabilidade de diferentes combinações de atividades agropecuárias em relação às variáveis econômicas e à legislação ambiental;
- Analisar o potencial de utilização do esterco oriundo da suinocultura, avicultura e bovinocultura de leite na produção de grãos e pastagens.

3. REVISÃO DE LITERATURA

Levando em consideração um cenário nacional de forte crescimento na produção de proteína animal¹, devido ao aumento da renda disponível para a população brasileira ou em outros países em processo de crescimento econômico, difunde-se com maior intensidade, além do âmbito restrito dos ambientalistas, a preocupação com os impactos que os efluentes desta produção podem causar no meio ambiente brasileiro.

A crescente na produção de proteína animal com grandes quantidades de animais por unidade de área de confinamento determina vazões extraordinárias de efluentes resultantes da fisiologia animal. São volumes incomparavelmente maiores na atual atividade pecuária industrial em relação aos do passado, de subsistência ou comercialização a partir de criações extensivas (JUNIOR, et al, 2009).

O efluente do agronegócio, tanto das unidades produtoras de carne suína, aves e bovina, assim como de leite e ovos e nas indústrias de transformações que as integram, traz altas cargas orgânicas expressas em Demanda Bioquímica e Química de oxigênio e de nutrientes como nitrogênio e fósforo que, dispostos no ambiente, comprometem a qualidade das águas tendendo a acumular-se em reservatórios e lagos naturais, alterando-lhes as condições limnológicas.

Conforme JUNIOR et. al (2009) torna-se praticamente inviável tratar ou minimizar esses efeitos nas águas de grandes reservatórios naturais, como os do Pantanal, ou artificiais, como o reservatório de Itaipu, para geração hidrelétrica; a solução é localizar e identificar as fontes geradoras com cargas orgânicas e nutrientes e proporcionar condições aos seus responsáveis para que seja evitada a poluição provocada pela disposição, sem o devido tratamento desses efluentes no ambiente natural.

De acordo com o mesmo autor, soluções técnicas disponíveis para o tratamento sanitário dos dejetos existem; entretanto, torna-se necessário estabelecer possibilidades concretas de valorização dos produtos resultantes do tratamento sanitário, que são o biogás e os biofertilizantes, além do benefício com os créditos de carbono e como o primeiro é potencialmente conversível em energia elétrica, disponível para atender à demanda própria, ou

¹ Carnes de gado, suínos e aves

vendida a terceiros – por meio da rede legal - e ainda elegível para obtenção de créditos por redução de emissão de gases do efeito estufa pelo MDL (Mecanismos de Desenvolvimento Limpo), é possível, deste modo, criar receitas adicionais para que as atividades enfrentem os investimentos e custos operacionais do tratamento sanitário proposto.

3.1 Modelagem Matemática

A Modelagem Matemática é tão antiga quanto a própria Matemática e vem sendo aplicada desde os tempos primitivos pelos povos em situações do seu cotidiano. Seu conceito surge durante o Renascimento para auxiliar na construção das ideias iniciais da Física. Atualmente, constitui um ramo da Matemática que auxilia diversas áreas do conhecimento como: Biologia, Geografia, Economia, Engenharia e outros (BIEMBENGUT e HEIN, 2003).

Conforme BIEMBENGUT e HEIN (2003) a Modelagem Matemática envolve uma série de procedimentos que podem ser citados em três etapas:

a) Interação:

- Reconhecimento da situação-problema;
- familiarização com o assunto a ser modelado – referencial teórico.

b) Matematização:

- Formulação do problema – hipótese;
- Resolução do problema em termos do modelo.

c) Modelo matemático:

- Interpretação da solução;
- validação do modelo – avaliação.

Para Prado (1999) a programação linear é um ramo da pesquisa operacional que permite estabelecer a mistura ótima de diversas variáveis, segundo uma função linear de efetividade e satisfazendo a um conjunto de restrições lineares para essas variáveis; conforme o autor, pesquisa operacional é uma ciência que objetiva ferramentas quantitativas ao processo de tomada de decisão visando alcançar os melhores resultados.

A técnica de programação linear foi consolidada por George Dantzig, em 1947, quando procurava desenvolver uma técnica de otimização para militares, por meio do

desenvolvimento do método simples, capaz de resolver certos problemas sobre logística. Dada à complexidade dos cálculos matemáticos, esta técnica foi difundida com o surgimento do computador; atualmente a Programação Linear é aplicada em diversas áreas.

As premissas a serem estabelecidas para a criação do modelo matemático são:

- Definir as variáveis do problema;
- Definir a função-objetivo: expressão matemática para a qual se deseja otimizar por meio da melhor combinação das variáveis básicas (maximização ou minimização);
- Definir o conjunto de restrições. Segundo Horngren, Foster e Datar (2000, p.286), “Uma restrição é uma inequação ou igualdade que deve ser satisfeita pelas variáveis de um modelo matemático”.

Segundo Silva Neto e Oliveira (2007) o “software” LINGO pode ser uma excelente ferramenta para a otimização Matemática voltada ao agronegócio visto que, depois de compilar o modelo, o software mostra um relatório de solução através da qual se encontram o resultado ótimo da função-objetivo e o número de variáveis, junto a respostas apresentadas em três colunas; na primeira constam os nomes das variáveis (“Variable”) e os valores se encontram na coluna central (“Value”). A última coluna é denominada “Reducet Cost” para cada variável do problema e a redução de custo de uma variável pode ser interpretada como a penalidade (positiva ou negativa), ou seja, é necessário pagar para introduzir uma unidade daquela variável na solução; na segunda parte do relatório, coluna à esquerda (“Row”), são apresentados nomes desde que tenham sido atribuídos, ou seja, destacados entre colchetes ou número de linhas do programa. O “Slack” ou “Surplus”, na coluna central, indica o excesso ou folga em restrições; a coluna à direita, designada “Dual Price”, pode ser compreendida como a quantidade pela qual a função objetivo melhoraria/pioraria, quando o lado direito das restrições é aumentado ou diminuído em uma unidade.

Ao se utilizar o LINGO 4.0, conclui-se haver duas situações nas quais uma solução ótima não pode ser encontrada; primeiro, se as restrições se contradizem (por exemplo, $x \geq 2$ e $x \leq 1$) logo a região factível é vazia e não pode haver solução ótima já que não pode haver solução nenhuma, caso em que a PL é dita *inviável*.

Geometricamente, as restrições lineares definem um poliedro convexo, chamado *conjunto dos pontos viáveis*; uma vez que a função-objetivo é também linear, todo ótimo local é automaticamente um ótimo global. Em a função-objetivo ser linear, também implica no fato

de que uma solução ótima pode apenas ocorrer em um ponto da fronteira do conjunto de pontos viáveis.

O uso de ferramentas matemáticas na abordagem sistêmica de unidades de produção agrícola (UPAs) permite que se teste a coerência de sua estrutura e do seu funcionamento, de forma metódica e rigorosa; neste sentido se destacam os métodos de otimização os quais, ao indicarem como utilizar os recursos disponíveis da forma economicamente mais vantajosa, atribuem um sentido prospectivo à análise.

Uma UPA pode ser interpretada como um conjunto de recursos mobilizados para a obtenção de um resultado econômico por meio de atividades agropecuárias. Tais atividades, além de competir em menor ou maior grau, por recursos, podem ser complementares ou suplementares entre si. A ênfase na consideração das limitações de recursos e a definição precisam das diversas relações que as atividades de uma unidade de produção mantêm entre si, já que caracterizam a noção de sistema de produção (SANDMANN e BARROS, 2009).

Uma das noções à aplicação de ferramentas matemáticas na abordagem sistêmica de unidade de produção agropecuária e que muitas vezes gera problemas, é a noção de atividade. Como se sabe, a Matemática não lida diretamente com conteúdos, mas apenas com quantidades e símbolos (normalmente usados quando não se sabe, ou não se deseja atribuir uma quantidade definida a uma variável). Por exemplo, do ponto de vista matemático a variável “produção de leite” não tem relação com espécies de animais que não sejam leiteiros mas, sim, com um conjunto de números (quantidades) que define o que é uma UPA na suinocultura. Tais quantidades podem ser insumos, horas de trabalho, rendimento físico, preço etc, os quais, quantificados monetariamente, determinam um resultado econômico, em virtude de quantidade de recursos disponíveis; desta forma, é comum uma unidade de produção especializada na produção de suínos possuir várias atividades (SILVA NETO e OLIVEIRA, 2007).

No caso de uma unidade de produção, por exemplo, pode-se considerar a possibilidade de se maximizar a soma de uma medida linear do resultado econômico (margem bruta, por exemplo) de diferentes atividades sujeitas a restrições de área, mão-de-obra e equipamentos.

Deste modo, é importante salientar que a PM – programação Matemática - é um instrumento de análise tipicamente de médio e longo prazo da unidade de produção, devendo

ser usada mais para seu planejamento estratégico do que para sua gestão cotidiana visto que, restrições como rotação de culturas e variáveis como a dimensão de um rebanho suíno ou as relacionadas à definição de sistemas de alimentação não podem ser analisadas adequadamente, visando apenas ao curto prazo (PUCCINI e PIZZOLATO, 1987).

Muitas das relações entre as atividades presentes em uma unidade de produção agropecuária são não-lineares. A otimização do capital fixo e a otimização, considerando o risco por meio da minimização da variável dos resultados econômicos, a consideração das relações entre o crescimento de pastagens e seu consumo pelos animais, a variação da capacidade de ingestão de alimentos por bovinos em função de sua quantidade e a qualidade, são alguns exemplos bem conhecidos, entre muitos outros, de relações não lineares entre atividades relacionadas à produção agropecuária. Além disto e de maneira geral, quanto mais detalhadas forem consideradas as atividades maior será a necessidade de se recorrer às relações não lineares, para sua formulação. A formulação de modelos de unidades de produção por meio de relações lineares implica, portanto em uma simplificação considerável de sua realidade (SILVA NETO e OLIVEIRA, 2007).

Outrossim, a ausência de preocupação em limitar a formulação de relações não lineares na representação de unidades de produção, por meio da Programação Matemática, leva rapidamente à obtenção de modelos computacionalmente insolúveis ou com soluções extremamente instáveis; neste sentido, a aplicação da programação não linear na modelagem de unidades de produção agropecuária deve ser restrita à inclusão de um número limitado de relações não lineares em modelos que, essencialmente, devem ser de programação linear.

3.1.1 Programação Linear

A programação linear foi um dos primeiros métodos matemáticos desenvolvidos, o que se projetou durante a segunda guerra por um grupo de pesquisadores a mando do governo norte-americano para solução de problemas de logística militar.

Segundo Lachtermacher (2009) a programação linear é o campo da matemática em que se estudam os métodos de maximização ou minimização de uma função linear de várias

variáveis na condição de que as variáveis satisfaçam às restrições expressas na forma de desigualdades lineares.

Um problema de programação linear envolve a maximização ou minimização de uma função linear de diferentes variáveis primárias, denominada função-objetivo sujeita a um conjunto de igualdades ou desigualdades lineares denominadas restrições.

Matematicamente, o problema de programação matemática é escrito da seguinte forma (BIEMBENGUT e HEIN, 2003):

Maximize a função objetivo:

$$Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

Sujeita as restrições:

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n &\leq b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n &\leq b_2 \\ &\dots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n &\leq b_m \end{aligned}$$

Donde:

Z = soma do resultado econômico

$x = 1$ a n atividades

c = Resultado econômico das 1 a n atividades

a = Necessidade de recurso das 1 a n atividades

$b = 1$ a m recursos disponíveis.

A cada modelo de programação linear original, denominado primal, contendo coeficientes a_{ij} , b_i e c_j , corresponde outro modelo denominado dual, formado por esses mesmos coeficientes porém dispostos de maneira diferente.

Enquanto o resultado da função primal fornece apenas os valores ótimos para as atividades, o dual também oferece, na sua solução, o custo marginal de substituição das

atividades que não integram a base ótima obtida. Assim, quando uma solução aponta que uma atividade não é interessante economicamente de ser praticada, o programa indica o quanto a introdução (forçada) de uma unidade dessa atividade na solução provocaria de queda no resultado da função objetivo (SILVA NETO e OLIVEIRA, 2009).

Seja o problema primal definido:

$$\text{Max. } Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

Sujeito a:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1(y_1)$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2(y_2)$$

...

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m(y_m)$$

$$x_j \geq 0(j = 1, 2, \dots, n).$$

Associando-se a cada restrição i do primal uma variável y_i , o problema dual é assim definido:

$$\text{Min. } D = b_1y_1 + b_2y_2 + \dots + b_my_m$$

Sujeito a:

$$a_{11}y_1 + a_{21}y_2 + \dots + a_{m1}y_m \geq c_1$$

$$a_{12}y_1 + a_{22}y_2 + \dots + a_{m2}y_m \geq c_2$$

...

$$a_{1n}y_1 + a_{2n}y_2 + \dots + a_{mn}y_m \geq c_n$$

$$y_i \geq 0(i = 1, 2, \dots, m).$$

Analisando o problema primal e o dual, Puccini e Pizzolato (1987) conclui que: - A função objetivo dual é de minimização ao passo que o primal é de maximização. - Os termos

constantes das restrições do dual são os coeficientes da função objetivo do primal; - Os coeficientes da função objetivo do dual são os termos constantes das restrições do primal; - As restrições do dual são do tipo \geq , ao passo que as do primal são do tipo \leq ; - O número de incógnitas do dual (m valores de y_i) é igual ao número de restrições do primal. - O número de restrições do dual é igual ao número de incógnitas do primal (n valores de x_j); - A matriz dos coeficientes do dual é a transposta da matriz dos coeficientes do primal.

Devido à grande interligação existente entre os problemas dual e primal é de se esperar que seja grande a relação entre suas soluções ótimas. Quando o valor primal e o dual forem iguais, este será o valor ótimo.

A solução do problema dual, além de apresentar algumas vantagens computacionais (economia de memória), também possui uma interpretação econômica importante; assim, enquanto os valores das variáveis da solução do problema primal correspondem ao nível ótimo das atividades, o valor das variáveis da solução dual fornece a produtividade marginal dos recursos disponíveis; em outras palavras, a solução do problema dual fornece o quanto aumentaria o resultado da função-objetivo se houvesse a disponibilidade de uma unidade a mais do recurso em questão (correspondente a uma restrição do problema primal).

Conforme Silva Neto e Oliveira (2007), para que se possa formular um problema de PL, este tem que conter exclusivamente relações lineares que se traduzem em alguns requisitos (ou limitações) que devem ser respeitados: divisibilidade e proporcionalidade; além de atividades de um modelo de PL devem ser totalmente independentes, isto é, não pode haver interações entre elas que afetem a linearidade de suas relações. Sempre que houver interações entre variáveis pode-se considerá-las atividades diferentes; por exemplo, se uma cultura em rotação com outra apresenta um rendimento físico maior, deve-se modelar esta cultura em duas atividades: na presença e na ausência da outra cultura (outra forma de modelá-la é impor que esta cultura só seja cultivada em rotação com a outra).

A formulação da função-objetivo em problemas de PL exige a linearidade da expressão. Muitas medidas de resultado econômico comumente utilizadas são não-lineares; por exemplo, a utilização da renda ou do valor agregado por unidade de superfície de uma cultura varia segundo sua área total, devido às despesas não proporcionais incluídas no seu cálculo. Tais medidas não devem, portanto, figurar na função-objetivo de problemas de PL. Dentre as medidas de resultado econômico cujo valor por unidade de superfície não depende

da área total, estão a margem bruta e o valor agregado; no entanto, muitas vezes é importante eleger medidas formuladas “ad hoc” para o problema (“margens de contribuição”) haja vista que o que interessa na solução de um problema de PL não é o resultado econômico obtido em si mas o quanto ele contribui para o resultado econômico global da unidade de produção (contanto que todas as outras despesas não variem).

3.1.2 Formulação das restrições

Pode-se observar, basicamente, dois tipos de restrições em problemas de Programação Matemática. As restrições externas correspondem às limitações físicas impostas à dimensão do sistema pela disponibilidade de recursos externos. Em uma unidade de produção tais recursos correspondem, em geral, à superfície de terra, à mão-de-obra, às máquinas, equipamentos e instalações e ao capital circulante. Tais recursos são considerados externos porque sua quantidade é fixa, isto é, ela não pode ser alterada ao longo do ciclo de produção representado pelo modelo. As inequações que representam as restrições externas sempre possuem, no seu lado direito, um número que expressa a quantidade disponível do recurso (ou uma variável cujo valor é fixo). Em geral, todos os coeficientes das variáveis deste tipo de variação são positivos (ou do mesmo sinal). E as restrições internas correspondem a recursos que são gerados no interior da unidade de produção ou podem ser adquiridos no seu exterior (SANDMANN e BARROS, 2010).

Principais grupos de restrições normalmente utilizadas para a modelagem de UPAs: Restrições de Superfície; Restrições de Mão-de-Obra; Restrições de Máquinas, Equipamentos e Instalações; Restrições de Rotação de Culturas; Restrições de Fertilidade do Ecossistema; Restrição do impacto ambiental e Restrição de tratamento de resíduos.

3.2 Sustentabilidade do agronegócio nos municípios adjacentes ao lago de Itaipu

Região de tríplice fronteira (Brasil, Paraguai e Argentina), privilegiada por solos férteis e água em abundância, são condições que permitiram construir no Brasil – e mais

precisamente no oeste paranaense – um dos mais promissores segmentos da economia rural brasileira, com milhares de pequenos produtores rurais, em sua maioria de caráter familiar, organizados na forma de cooperativas (JUNIOR et al, 2009).

Seu sistema de produção consiste, basicamente, no cultivo de soja e milho, que são transformados em ração utilizada como insumo na suinocultura, avicultura e na bovinocultura de leite, chegando à industrialização de carnes e laticínios. Além de atender ao mercado interno esta eficiente cadeia produtiva exporta para os principais mercados internacionais.

Belusso e Serra (2006) relatam que a riqueza e o dinamismo econômico dessas atividades na região dos municípios adjacentes ao lago de Itaipu têm, como base, a exploração intensiva dos recursos naturais, que acaba por cobrar um preço alto do ambiente, o que já começa a se evidenciar pelos registros de contaminação do solo e das águas por agrotóxicos; pela perda de solos resultante da erosão; pela perda da cobertura vegetal e da biodiversidade; bem como pela produção de efluentes da pecuária (dejetos de suínos, aves e gado) e das cidades (esgotos industriais e domésticos).

Como a ocupação humana é recente – a exploração agrícola de forma mais intensa tem apenas 50 anos – a lógica manda mudar os meios de produção agora pois recuperar a qualidade ambiental no futuro será uma tarefa cada vez mais complexa.

Junior et al (2009), relatam a pecuária como a atividade em que se encontram os impactos mais agressivos ao ambiente na região do entorno do lago de Itaipu, que conta com um plantel de mais de 1 milhão de suínos e cerca de 30 milhões de aves; nesses casos, uma proposta é utilizar os dejetos para gerar energia e tornar a propriedade autossuficiente ou, pelo menos, suprir sua demanda energética durante os horários em que as tarifas são mais caras.

A agricultura industrial de nossos tempos esqueceu a sabedoria acumulada pela humanidade durante os milênios e se converteu na agricultura do desperdício, exportando a fertilidade do solo e a água utilizada na produção agropecuária para os centros de consumo. Esqueceu-se de reciclar seus subprodutos, particularmente os dejetos animais que contaminam o meio ambiente e que são fonte de gases do efeito estufa. Esqueceu que o carbono e o metano na atmosfera são um perigo mas que esse mesmo carbono no solo é matéria orgânica e que o metano no biodigestor é um combustível para motores, para a produção de calor e também de eletricidade (JUNIOR et al, 2009).

Nosso país, com sua enorme biodiversidade e disponibilidade de água, produção agropecuária invejável e condições climáticas favoráveis, tem grande potencial para assumir posição de forte promotor do aproveitamento de fontes renováveis, e o emprego energético da biomassa residual das atividades agropecuárias e do tratamento de esgotos urbanos merece um foco diferenciado visto que está diretamente ligado ao suprimento de água de boa qualidade, um bem cada vez mais escasso no século 21.

A biomassa residual das atividades agropecuárias constitui uma vasta reserva energética de que o Brasil dispõe mas que está inerte, espalhada pelos campos do país, esperando para ser usada; seu aproveitamento sinaliza para novas oportunidades de geração de emprego e renda e da promoção do desenvolvimento com sustentabilidade (JUNIOR et al, 2009).

3.3 Produção de proteína animal ambientalmente adequada

Segundo a Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento de Minas Gerais², até 2011, no Brasil, cerca de 11,2% da população do Norte; 47,8% do Nordeste; 5,5% da população do Centro-Oeste, 20,3% da população do Sudeste e 15,2% da população do sul viviam no campo, o que expressa um elevado número de habitantes nas cidades, o que acaba gerando grandes impactos ambientais devido à necessidade e à prática de proteínas animais e vegetais para abastecimento das zonas urbanas.

Segundo Baasch (1999) antes de serem analisadas as diversas etapas na avaliação de impactos ambientais das atividades agropecuárias como suinocultura, avicultura, bovinocultura e grãos, é importante considerar suas características:

- Impacto positivo, ou benéfico: quando uma ação resulta na melhoria da qualidade de um fator ou parâmetro ambiental;
- Impacto negativo, ou adverso: quando uma ação resulta em dano à qualidade de um fator ou parâmetro ambiental.

² http://www.agricultura.mg.gov.br/files/perfil/perfil_brasil.pdf

Características de ordem, Baasch (1999):

- Impacto direto: quando resulta de uma simples relação de causa/efeito; também chamado impacto primário ou de primeira ordem;

- Impacto indireto: quando é uma relação secundária em relação à ação ou quando é parte de uma cadeia de relações; também chamado secundário, ou de enésima ordem, de acordo com sua situação de cadeia de reações.

Características espaciais:

- Impacto local, quando a ação afeta apenas o próprio sítio e suas imediações;

- Impacto regional, quando um efeito se propaga por uma área além das imediações do sítio onde se dá a ação;

- Impacto estratégico, quando é afetado um componente ambiental de importância coletiva ou nacional;

- Impacto extensivo é caracterizado pela impossibilidade ou grande dificuldade de delimitar sua área de abrangência, bem como seus prováveis efeitos cumulativos, progressivos e crônicos;

- Impacto intensivo é aquele que abrange uma área bem delimitável, qualquer que seja sua extensão.

Características temporais ou dinâmicas:

- Impacto imediato: quando o efeito surge no instante em que se dá a ação;

- Impacto médio ou de longo prazo: é quando o efeito se manifesta tempo depois de ter ocorrido a ação;

- Impacto temporário: quando o efeito permanece por tempo determinado, após a execução da ação;

- Impacto permanente: quando os efeitos não cessam de se manifestar num horizonte temporal conhecido, uma vez executada a ação (Fonte: Maia – 3ª edição, setembro 1999–PIAB).

Os impactos podem, ainda, ser caracterizados por sua reversibilidade devido aos seus efeitos cumulativos e sinérgicos e, também, por sua distribuição social, visto que os impactos benéficos e adversos nunca são igualmente sentidos pelos diferentes grupos sociais (MOREIRA, 1987). Além das características os impactos ambientais têm dois tipos de

atributo: a magnitude (grandeza em termos absolutos) e a importância (ponderação do grau de significância do impacto).

O presente modelo de produção de proteína animal brasileiro mostra uma redução do número de produtores com aumento de rebanhos (aves, bovinos e suínos) por unidade criatória. Isto se traduz no aumento de emissão de dejetos por área. O efeito direto e imediato deste processo é a contaminação acima dos níveis toleráveis, de fontes hídricas para consumo humano. Por outro lado, a redução do poder poluente para 40 mg/DBO/litro de dejetos, 15% de sólidos voláteis e redução da taxa de coliformes a 1%, requerem investimentos elevados que, via de regra, se mantêm acima da capacidade de investimento do produtor (LOVATTO)³.

Comparativamente ao esgoto doméstico, os dejetos suínos são 260 vezes mais poluentes; isto se deve à DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxigênio - referencial que traduz, de maneira indireta, o conteúdo de matéria orgânica de um resíduo, através da medida da quantidade de oxigênio necessária para oxidar biologicamente a matéria orgânica durante o tempo de cinco dias). A DBO₅ é de 200 e 40.000mg/l para o esgoto doméstico e dejetos suínos, respectivamente.

3.3.1 Contaminação do solo e ar

Quando o esterco líquido, tanto da bovinocultura quanto da suinocultura é aplicado em grandes quantidades no solo ou armazenado em lagoas não impermeabilizadas, poderão ocorrer sobrecarga da capacidade de filtração do solo e retenção dos nutrientes do esterco e, quanto isto realmente ocorre, alguns desses nutrientes podem atingir as águas subterrâneas ou superficiais acarretando problemas de contaminação. Um dos compostos que devem ser considerados na preservação ambiental, é o nitrato. Os teores de nitrato observados em lençóis freáticos de terras tratadas com grandes volumes (160 m³/ha de esterco líquido por vários anos) foram maiores que os encontrados nas terras não tratadas.

Uma estimativa de emissão anual de metano (CH₄) originário de dejetos da exploração pecuária no Brasil, de acordo com as categorias de animais, calculada a partir dos

³ http://w3.ufsm.br/suinos/CAP9_dej.pdf

rebanhos aqui existentes (incluindo, portanto, a criação extensiva de gado vacum), é aqui apresentada. Os valores se basearam na proporção do rebanho brasileiro em relação ao mundial e nas emissões deste último, calculadas por Steinfeld et al (2006).

Os dejetos produzidos por esses animais produziram, quando dispostos na natureza, uma emissão de metano estimada, Tabela 1.

Tabela 1. Cálculo da emissão anual de metano originário de dejetos da exploração pecuária, conforme cada categoria animal, em 1.000 toneladas anuais.

CH₄ DE DEJETOS				
	Aves	Suínos	Bovinos	Soma
Mundo	970,00	8.380,00	7.490,00	16.840,00
Brasil	56,2	292,78	1.012,70	1.361,70
BR/Mundo (%)	6	3	14	8

Fonte: STEINFELD et al (2006, tabela 3.8., p. 95, 96, 99)

Com base nos valores proporcionais aos indicados por Steinfeld et. al. (2006), o Brasil produziria, anualmente, 1,36 milhão de toneladas de metano originário de dejetos animais (Tabela 01). A emissão de metano por excrementos animais depositados no pasto ou manejados a seco é pouco significativa, de acordo com os autores (p.97), pois a produção deste gás exige condições anaeróbicas, ou seja, os dejetos somente produzirão metano quando dissolvidos em água e/ou depositados em biodigestores, em cursos d'água, lagoas naturais ou de decantação. Em termos mundiais os dejetos de suínos, representam quase 50% das emissões de CH₄, seguidos dos relativos ao rebanho de vacas leiteiras.

Considerando apenas o processo de digestão anaeróbica dos dejetos animais que ocorrem nos cursos d'água, lagos naturais ou artificiais, biodigestores ou lagoas de decantação, este corresponde a 58,2% daquele total, cerca de 10 milhões de toneladas anuais mundiais de metano (STEINFELD, 2006). No caso brasileiro, usando essa mesma proporção a emissão de metano atingiria 792,5 mil toneladas.

3.4 Características gerais dos dejetos: suínos, bovinos e aves

Segundo Cheverry et. al. (1978), traduzido por Aranha (1986), define-se como dejetos a mistura integral de fezes, urina, água residual, sobra de ração e pelos.

Frequentemente, tendo em vista a alimentação, o manejo e o sistema de coleta, os elementos orgânicos e minerais excretados serão mais ou menos diluídos e a quantidade de dejetos mais ou menos importante.

A quantidade total de dejetos produzida varia de acordo com o desenvolvimento ponderal dos suínos apresentando valores decrescentes de 8,5 a 4,9% de seu peso vivo por dia considerando a faixa dos 25 aos 100 kg de peso vivo, relatado por Konzen (1983). Um dos componentes que influem na quantidade líquida dos dejetos, é a produção de urina que, por sua vez, depende diretamente da quantidade de água ingerida. Suínos em crescimento e terminação consomem, em geral, ao redor de 5,5 litros de água/animal/dia e produzem 2,0 a 2,5 litros de urina por dia (MAMEDE, 1980; CONRAD & MAYROSE, 1971).

Na Tabela 2 verifica-se um comparativo do volume de dejetos de algumas categorias animais em relação ao homem:

Tabela 2. Equivalentes populacionais de várias espécies de animais

Origem dos Dejetos	Equivalente Populacional (EP)
Homem	1,00
Vaca	16,40
Cavalo	11,30
Galinha	0,14
Ovelha	2,45
Suíno	3,00

Fonte: DERISIO (1992)

Equivalente populacional ou população equivalente é uma unidade que indica a força poluidora de resíduos agroindustriais em relação ao poder poluente de uma pessoa (DERISIO, 1992). Na agricultura emprega-se, ainda, como unidade de referência, a unidade equivalente animal (EA), que se refere à quantidade total de resíduos orgânicos de um animal de 500 kg de peso vivo (FELLENBERG, 1980). Assim, é possível uma comparação entre EP e EA, através da DBO₅. A DBO₅ de 1 EA se situa ao redor de 800 g O₂/dia e corresponde a cerca de 15 EP, enquanto DERISIO (1992) relata uma DBO₅ para 1 EA em torno de 886 g O₂/dia, correspondendo a 16,4 EP. Tomando como critério a carga poluente diária dos efluentes

líquidos, expressa em DBO_5 (LAPOIX, 1979), comenta que na França, as criações de suínos e bovinos, fornecem uma poluição potencial superior a 250 milhões de EP. A DBO_5 é um parâmetro que indica a presença de maior ou menor quantidade de substâncias “ávidas” por oxigênio, na massa líquida (BRANCO & HESS, 1975). Sendo, portanto, o parâmetro mais usual para medição de poluição orgânica, aplicado às águas residuárias (BRAILE e CAVALCANTI, 1993). Outro parâmetro de importância é a DQO (Demanda Química de Oxigênio), utilizada para medir o conteúdo de matéria orgânica; o volume total de dejetos de uma criação depende, ainda, do sistema de manejo adotado, da quantidade de água desperdiçada pelos bebedouros e do volume de água utilizada na higienização das instalações. Para um sistema de uso mínimo de água de limpeza pode-se considerar um gasto de 3,5 litros por suíno/dia, nas fases de crescimento e terminação (KONZEN, 1980 & MAMEDE, 1980).

3.5 Opções de tratamento de resíduos de bovinos e suínos

Segundo Teloeken (2009) nas décadas de 80 e 90 o uso dos dejetos como fertilizante orgânico do solo era tratado como se fosse a solução definitiva para os riscos de poluição causada pelos dejetos suínos e bovinos. Realmente, são úteis, podendo ser utilizados na adubação na agricultura no cultivo das mais diversas culturas e pastagens; porém se tem um agravante que norteia a grande concentração da produção de grandes quantidades em espaço limitado, tornando a quantidade de dejetos incompatível com a disponibilidade de terra apta a recebê-lo.

As áreas pequenas fazem com que o solo não consiga absorver toda a quantidade de dejetos, provocando excesso. Há métodos de tratamento que tiram todo o potencial poluidor dos dejetos, com alto custo. Mas se pode simplificar e efetuar um tratamento mais simples, apenas reduzindo o potencial poluidor e a carga orgânica, a ponto de que a área de terra disponível consiga absorver o dejetos produzido.

A suinocultura paranaense é constituída por 80 % do total de pequeno e médio porte e se caracteriza pela ausência de investimentos em meio ambiente, sobretudo, na qualidade d'água. As duas regiões produtoras, oeste e sudoeste, foram apontadas como áreas de degradação dos recursos hídricos. O respaldo legal das ações ambientais do Instituto Ambiental

do Paraná (IAP), se baseia na legislação ambiental paranaense formada pelos mesmos elementos das demais legislações estaduais. A regulação ambiental paranaense é mais específica, ou seja, buscou, através de uma resolução estadual SEMA nº. 031⁴, desenvolver ações de controle dos dejetos nas propriedades suinícolas.

A resolução SEMA nº. 031, de 24 de agosto de 1998, define a classificação das propriedades suinícolas conforme o sistema de criação: ar livre, confinamento e misto; o sistema de produção – UPL, ciclo completo e terminação e, por último, pelo porte da propriedade que varia de mínimo a excepcional⁵. Para propriedades com sistema de produção ao ar livre é definida a área necessária para criação de suínos por matriz, que é de 500 até 1000m²; através da classificação da propriedade pelo número de matriz com que se mede o potencial poluidor do empreendimento feito pelo IAP (Instituto Ambiental do Paraná), órgão estadual vinculado à Secretaria de Estado de meio ambiente, responsável pela fiscalização ambiental.

Na mesma resolução é definido que o licenciamento ambiental⁶ é um mecanismo utilizado para autorizar o funcionamento do empreendimento, estruturado em 3 etapas distintas: licença prévia (LP), licença de instalação (LI) e licença de operação (LO), o que impossibilita a “queima de etapas”; o empreendimento só poderá avançar para etapas seguintes se for aprovado nas etapas anteriores. Devido ao alto grau de poluição dos dejetos a resolução nº 031 define padrões de composição dos efluentes líquidos e dos resíduos sólidos⁷. Quando não alcançados esses níveis, a resolução estabelece que os dejetos devam receber tratamento prévio⁸ e tratamento específico ou secundário⁹ – quando usados para aplicação no solo como fertilizante orgânico.

A conjunção dos tratamentos tem, como objetivo, reduzir os níveis de substâncias aos padrões regulados na resolução; conseqüentemente, redução do mau cheiro e a diminuição de

⁴ Este documento pode ser acessado no site: <http://www.pr.gov.br/meioambiente/iap> no link legislação

⁵ A unidade de medida usada é o número de matriz que pode variar de 30 até acima 4.000

⁶ Detalhes do licenciamento ambiental podem ser acessados no endereço <http://www.pr.gov.br/meioambiente/legislacao.shtml>, ou acesse <http://www.pr.gov.br/meioambiente/iap/#> e clique em legislação

⁷ Quantidades de máximo, mínimo e média de Ph; DBO; DQO; Sólidos totais, voláteis, fixos e sedimentares

⁸ Formado pelo sistema de armazenamento

⁹ Formado pelos sistemas: de compostagem, lagoas de estabilização, digestores, biodigestores

moscas e metais pesados¹⁰. Após receber o tratamento adequado, os dejetos podem ser utilizados como fertilizante orgânico na lavoura respeitando a época, a forma de aplicação e a cultura recomendada (apropriada).

Para completar as normas de aplicação de fertilizante orgânico determina-se a análise das características físicas e químicas do solo com o intuito de verificar a aptidão do solo, que é feita pela classificação do solo em classes de uso potencial I, II e III – dividem o solo em

Dentre as alternativas para reduzir as emissões de poluentes e promover o desenvolvimento de uma unidade de produção, aproveitamento dos dejetos dos suínos e bovinos com a produção do biogás, a negociação dos Créditos de Carbono e o uso adequado dos dejetos como biofertilizantes são de aplicação que levam a resultados considerados produtivos devido aos custos e ao retorno financeiro.

Conforme recomendações da EMBRAPA, para evitar problemas futuros e facilitar o tratamento cabem aos produtores, antes de construir uma pocilga, verificar e manter alguns cuidados no manejo, o seguinte:

- Proceder ao diagnóstico da situação ambiental local.
- Delinear um plano com dimensionamento do projeto em função do volume de resíduos gerados na produção de suínos e bovinos.
- Planejar as obras a partir das exigências da legislação ambiental federal, estadual e municipal, que determinam, por exemplo, as distâncias mínimas de corpos d'água (fontes, rios, córregos, açudes, lagos etc.), estradas, residências, divisas do terreno, a proteção das áreas de preservação permanente, 20% da área de reserva legal e outras.
- Planejar a propriedade tendo em vista a bacia hidrográfica como um todo respeitando a disponibilidade de recursos naturais.
- Avaliar as áreas de maior risco de poluição em caso de acidentes.
- Atender às Legislações Estaduais e Municipais que normalmente exigem:
 - a) LP (Licença Prévia) que determina a possibilidade de instalação do empreendimento em determinado local;
 - b) LI (Licença de Instalação) que faz a análise do projeto quanto à conformidade com a legislação ambiental;

¹⁰ Crômio, zinco e cobre.

c) LO (Licença de Operação) que concede a licença de funcionamento após conferência do projeto executado com base na LI e prevê um plano de monitoramento.

- Evitar o uso de cobre como promotor de crescimento e reduzir ao máximo o uso de zinco no controle da diarreia.

- Realizar manutenção periódica do sistema hidráulico.

A matéria seca contida no dejetos suíno e de bovinos confinados, na sua forma mais comum, líquida, ocorre em quantidades muito baixas; esta grande quantidade de água inviabiliza o transporte do mesmo a grandes distâncias. Portanto, devem ser estudadas e realizadas formas de tratamento para:

- Redução da carga poluidora visando aumentar a quantidade de dejetos a ser lançado sobre o solo;

- Aumentar seu valor nutritivo para uso como adubo, desde que evite perda de nutrientes por volatilização;

- Eliminação da água presente para viabilizar seu transporte para outras regiões.

Existem várias possibilidades de realizar este tratamento sendo que, a redução da carga orgânica vem sendo a mais usada e estudada até agora, em virtude de exigir menos mão-de-obra. A redução da carga orgânica é efetuada através do uso de lagoas de estabilização.

Essas lagoas usadas em série proporcionam um bom resultado, com a vantagem de uma das etapas, a lagoa Anaeróbica, produzir gás metano, biogás, que por sua vez também tem seu valor. As lagoas de estabilização são modeladas para águas residuárias, até que o efluente desejado seja obtido através da ação dos micro-organismos presentes no sistema, que quebram as moléculas orgânicas complexas em substâncias inorgânicas mais simples no processo de síntese celular (MEDRI, 1997).

Com o aumento do valor nutritivo e aumento da porcentagem de matéria seca, o tratamento usado é a compostagem dos dejetos a qual pode se dar no início, na própria pocilga ou no estábulo, com a utilização de cama sobreposta de maravalha ou palha para o alojamento dos suínos e bovinos, bem como a eliminação de água em tanques, ressalta-se que ambas as formas de tratamento proporcionam bom resultado na redução de odores produzidos pela atividade.

Ao utilizar os dejetos como fertilizantes e para ser possível lançá-los ao solo, cabe ao produtor realizar uma análise do solo para verificar a capacidade de absorção, levando em conta as culturas ali produzidas, pois há diferença na absorção de nutrientes conforme cada cultura; tudo isto confrontado com a quantidade de dejetos produzidos, é possível definir o tipo de tratamento a ser realizado.

Atualmente, os interesses em relação ao aproveitamento dos resíduos orgânicos gerados na suinocultura e bovinocultura ultrapassam os ambientais, norteando-se principalmente na economia com o aproveitamento energético do biogás.

Silva Neto e Oliveira (2007) armazenamento em esterqueiras ou em lagoas e posterior aplicação no solo, é a forma mais usada no manejo de efluentes de pocilga e vem sendo difundido no tratamento de dejetos da bovinocultura. Esta é uma opção de baixo custo para os produtores desde que corretamente dimensionadas e operadas e para propriedades que dispõem de áreas de cultivo suficientes para a absorção, em que esses resíduos possam ser utilizados como fertilizante orgânico. Devem ser respeitadas as instruções agronômicas para esta prática, levando-se em conta o balanço de nutrientes para nortear a tomada de decisão sobre as quantidades passíveis de serem lançadas, para que fiquem minimizados os impactos ambientais.

Para este tipo de armazenamento sem maior tratamento, o tempo de armazenagem recomendado é de 120 dias para uma estabilização da matéria orgânica e inativação de patógenos. Durante o armazenamento o dejetos sofre certa degradação anaeróbia devido a que é importante que a lagoa tenha profundidade superior a 2,5 metros. Neste processo pode ocorrer liberação de gases responsáveis pela geração de odores (TELOEKEN, 2009).

A utilização de biodigestores para o tratamento é uma alternativa que permite a agregação de valor ao dejetos, através do uso do gás (biogás) produzido pelo sistema; consiste, neste processo, além de uma ótima alternativa de tratamento de remoção de carga orgânica, a digestão dos sólidos no fundo do biodigestor processa a formação de uma camada de lodo vivo onde ocorrem o processo de fermentação anaeróbica e a degradação da matéria orgânica com geração dos gases; sendo o biodigestor de compartimento fechado, o gás não é mais liberado naturalmente para a atmosfera; ao contrário, ele é conduzido por canalização para a queima podendo ser queima natural, uso para aquecimento ou produção de energia.

O biofertilizante, efluente gerado no biodigestor, não pode ser descartado diretamente nos rios pois ainda apresenta alto potencial poluidor; seu uso como fertilizante orgânico deve também seguir os preceitos de balanço de nutrientes igual ao das esterqueiras porém com a vantagem de ter uma carga orgânica e poluidora menor; assim, o volume a ser lançado ao solo pode ser maior.

Dentre as formas de tratamento a mais recomendada e mais completa é formada por um sistema primário de separação do sólido e líquido, esta seguida de quatro lagoas em série, as duas primeiras anaeróbicas, depois uma facultativa e, por último, uma lagoa de aguapés, sistema este, recomendado para produtores que não dispõem de área para destino final, pois este sistema apresenta altas taxas de remoção de matéria orgânica e nutrientes. Os custos de sua implantação são mais altos, tempo de detenção maior, área para implantação grande e maior necessidade de mão-de-obra para o manejo; enfim, este sistema de tratamento desenvolvido pela EMBRAPA (2009) pode atingir níveis de remoção de até 99%.

A compostagem de dejetos, outra opção para o tratamento e destinação, é pouco usada mas é uma das que têm o melhor resultado. O processo de compostagem consiste em tornar os dejetos líquidos em sólidos pela eliminação de água, através de evaporação natural e adição de substrato, geralmente maravalha. Este sistema é, entre todos, o que gera os melhores resultados na diminuição de odores produzidos pela atividade suinícola e bovina e na proliferação de moscas. O processo de compostagem, além de ser uma opção para reduzir o potencial poluidor, agrega valor ao dejetos, haja vista que aumenta o valor nutritivo para uso na adubação; este processo fixa os nutrientes evitando que sejam perdidos com a volatilização e lixiviação. A compostagem é uma boa alternativa devido à redução de seu volume viabilizando o transporte a outras regiões, nas quais haja áreas de terra capazes de absorver. A compostagem necessita de remoções, fator este que para seu manejo necessita de máquinas, o que a grande maioria dos produtores não possui; o manejo é difícil e por isso este sistema ainda é pouco usado.

Uma forma bem resumida das vantagens e desvantagens de cada forma de tratamento de dejetos pode ser visualizada na Tabela 3. Existe uma série de vantagens e desvantagens no que tange aos diferentes tipos de tratamento; cabe, então, utilizar-se do método que junte eficiência, praticidade e disponibilidade de recursos tanto financeiros quanto espaciais.

Tabela 3. Comparativo de algumas tecnologias de manejo ou tratamento avaliadas ou desenvolvidas no Brasil, para dejetos suínos

Tecnologia	Vantagens	Desvantagens
Esterqueira\bioesterqueira	Baixo custo, facilidade de operação.	Odor, baixa estabilização do dejetos, necessidade de área para aplicação.
Separador de sólidos (peneiras)	Rapidez, móvel e compacto, fração sólida com menos umidade.	Alto consumo de energia elétrica, preço relativamente alto, eficiência de separação.
Decantador de palhetas	Facilidade de operação, baixo custo, alta eficiência de separação.	Lento, gera grande volume de lodo com umidade alta.
Biodigestores	Reduz odor, agrega valor ao dejetos pela produção de fertilizante e biogás.	Suscetível a mudanças de manejo com o uso de antibióticos e desinfetantes.
Sistema de lagoas em série (UFSC/Embrapa)	Grande eficiência e custo relativamente baixo.	Problemas com odor, tempo de residência muito alto.
Lagoas de alta taxa e aerada	Aumenta a remoção de nutrientes	Aumenta o tempo de tratamento e a área ocupada pelo sistema
Compostagem	Redução de odor e de insetos e agrega valor (fertilizante).	Exige manejo adequado quanto à umidade, aeração e temperatura.
Sistema de cama sobreposta	Idem compostagem, redução de consumo de água para higienização, conforto animal.	Manejo do sistema para eliminar riscos sanitários.

Fonte: Tecnologias de manejo e tratamento de dejetos de suínos estudados no Brasil

3.6 Avicultura no Brasil

A avicultura de corte é considerada uma das atividades mais rentáveis na área de carnes no Brasil, por ser de uma dinâmica diferenciada. No mundo, os maiores produtores são Estados Unidos, China, Brasil, Tailândia e alguns países da União Europeia. No Brasil, os estados de Mato Grosso, Santa Catarina e Paraná se destacam na produção.

Em 2010 a produção brasileira foi de 12.230 toneladas de frango, número quase 12% maior que em 2009. Desta maneira, o Brasil se consolida como o terceiro maior produtor mundial de carne de frango, atrás apenas dos EUA e China; este crescimento se deve

sobretudo ao aumento da demanda do aquecido mercado interno e também ao mercado externo, que expandiu a procura por carne avícola. Atualmente, cerca de 70% da produção nacional são destinados ao mercado interno, o que representa um consumo per capita de cerca de 44 quilos. O estado do Paraná é o maior produtor nacional com, atualmente, 27% de todo o mercado e o segundo maior exportador (1.000.531t), perdendo apenas para Santa Catarina (UBABEF).

A produção avícola exige altos investimentos por se tratar de uma atividade dinâmica mas, de certa forma, complexa. Os custos incluem gastos com energia elétrica, medicamentos, manutenção do aviário (óleo, mão-de-obra, água, cal), alimentação das aves, equipamentos etc. (FAEP, 2011) A quantidade de capital necessária depende do tamanho das instalações, da situação dos equipamentos (se são novos ou antigos), da quantidade média de aves armazenadas, da composição nutritiva dos alimentos e da remuneração/hora da mão-de-obra, além de outros fatores generalizados. Por exemplo, tem-se convencionado no oeste paranaense que a mão-de-obra detém 15% do lucro final obtido pela produção e as cooperativas disponibilizam a ração já processada para a alimentação.

Os resíduos de aves contêm componentes químicos poluentes e metais pesados, como o zinco e o cobre, que em alta quantidade podem ser altamente danosos além de carregar um sem número de bactérias patogênicas. Muitos componentes, porém, são nutritivos e podem ser aproveitados, como o potássio, o cálcio, o fósforo e o nitrogênio, em cujo uso, se deve atentar para as doses corretas de aplicação no solo.

A cama de aviário se constitui não apenas de fezes e urina mas também de resto de ração, penas etc. A composição deste material vai depender da alimentação das aves, da estocagem, do manejo realizado, dentre outros fatores; em seguida, realiza-se a coleta, após o que o material deve ser armazenado em local adequado. Já armazenados, os dejetos passam por um sistema de tratamento que seja condizente com a realidade do produtor e que não contrastem com a legislação ambiental. Três tratamentos são mais usuais e úteis: Com biodigestor, o qual se aproveitaria o biogás e o adubo (este último se estiver dentro do balanço nutricional para solos); a queima do gás metano gera energia, o que pode render créditos de carbono para o produtor, além de poder gerar sua própria energia.

Na compostagem, que filtra a massa de maneira que possa ser utilizada como composto na cama de aviário antiga, também se pode usar a incineração, por meio um tanto

quanto defasado, por ser caro e ecologicamente suspeito. A incineração gera cinzas que podem ser usadas como biofertilizante (EMBRAPA, 2009).

Antes de qualquer aproveitamento de dejetos é necessário que seja feita análise da cama e do solo em que se deseja aplicar, para que não haja qualquer risco de contaminação; sendo exercidas as legislações e técnicas cabíveis, a reutilização da cama se torna totalmente viável, tanto econômica, quanto ecologicamente.

Como é possível perceber, a produção avícola brasileira se concentra em regiões distantes de grandes biomas, o que reforça a iniciativa de se ter progresso com menores impactos ao ambiente. Apesar de todos os gastos de energia e água, a produção de aves ainda é a atividade menos impactante, no que se diz a cultivos de carne (UBABEF).

A avicultura brasileira possui um dos melhores índices de sanidade no mundo sendo proibido, na produção de aves, o uso de hormônios; na parte de medicamentos todo e qualquer uso tem seu uso inspecionado pelos meios legais (UBABEF).

3.7 Milho e Soja

No Brasil, as previsões de produção de milho indicam um aumento de 15,7 milhões de toneladas entre a safra de 2007/08; em 2018/2019 a produção deverá situar-se em 73,25 milhões de toneladas e um consumo de 52,49 milhões, cujos resultados indicam que o País deverá fazer ajustes no seu quadro de suprimento para garantir o abastecimento do mercado interno e obter algum excedente para exportação estimada em 22,91 milhões de toneladas em 2018/19 (MAPA/AGE, 2009).

O Brasil está entre os países que terão aumentos significativos de suas exportações de milho, ao lado da Argentina. A estimativa prevista para as exportações de milho são da ordem de 22,9 milhões de toneladas em 2018/19 porém este valor poderá ser superior devido à importância crescente do milho no mundo (FAPRI e USDA, 2008).

A área plantada de milho entre 2008/09 e 2018/19 deverá crescer anualmente 1,4%, passando de 14,3 milhões de hectares em 2008/09 para 16,46 milhões de hectares em 2018/19. Este crescimento é bem maior que a média mundial, de 0,33% ao ano, prevista para os próximos 10 anos. Tal diferença se deve ao fato do Brasil dispor de terras que poderão ser

incorporadas à produção nos próximos anos e ao crescimento da produção de milho nos próximos anos (MAPA/AGE, 2009).

De acordo com as previsões realizadas pela AGE, a produção brasileira poderá alcançar 80,9 milhões de toneladas de soja em 2018/2019. Esta projeção de 20 milhões de toneladas é maior em relação ao que o Brasil produziu na safra de 2007/08. A taxa de crescimento anual prevista é de 2,43% no período da projeção, 2008/09 a 2018/19; essa taxa está próxima da taxa mundial para os próximos dez anos, estimada pelo FAPRI (2008) em 2,56% ao ano.

O consumo interno de soja em grão deverá atingir 44,4 milhões de toneladas no final da projeção, representando 55,0% da produção. O consumo pode crescer a uma taxa anual de 2,11%, taxa esta praticamente idêntica ao crescimento previsto mundialmente. Como se sabe, a soja é um componente essencial na fabricação de rações animais e adquire importância crescente na alimentação humana.

As exportações de soja projetadas pela MAPA/AGE para 2018/2019 são de 36,5 milhões de toneladas, representando um aumento de 11 milhões de toneladas em relação à quantidade exportada pelo Brasil em 2007/08. A taxa anual projetada para a exportação de soja em grão é de 3,1%, um pouco acima, então, da taxa mundial projetada pelo, de 2,72% ao ano para os próximos anos. Os resultados obtidos revelam que a exportação de soja brasileira deve representar, no período final das projeções, 40% do comércio mundial; esse percentual que representa um acréscimo de 4 pontos percentuais em relação ao ano de 2008 FAPRI (2008).

Quanto à expansão de área plantada de soja, deve passar para 26,5 milhões de hectares em 2018/19; representa um aumento de 5,0 milhões de hectares em relação à safra 2007/08 pois há possibilidade de expansão de fronteira em regiões onde ainda há terras disponíveis e um processo de substituição de lavouras onde não há terras disponíveis para serem incorporadas (MAPA/AGE, 2009).

Segundo Mendonça (2009) apesar dos recordes sucessivos da safra brasileira na última década e da modernização do sistema produtivo, há problemas quanto aos sistemas de transporte e de armazenamento que comprometem um desempenho melhor e a expansão do agronegócio no Brasil.

Conforme dados da CONAB (2003), o Brasil possui capacidade para armazenar cerca de apenas 80% da produção de grãos total e que veículos de transporte como caminhões, trens e embarcações se tornam silos móveis para armazenar a produção nacional até sua chegada às indústrias ou aos portos, para exportação.

No Brasil, entre os anos de 2000 a 2003 a produção de grãos cresceu 50%, enquanto a capacidade de armazenagem cresceu apenas 5,7%. Esses fatores comprometem a rentabilidade do produtor de soja; as estratégias de aumento de produção agrícola requerem planos simultâneos de escoamento e armazenagem da produção (LIMA FILHO et al., 2005).

Conforme Lima Filho et al. (2005) ações devem ser tomadas tanto pelo Governo Federal quanto pelos próprios produtores, relacionadas à infraestrutura logística e ao armazenamento, com o intuito de se evitar uma produção recorde no campo sem a adequada condição de exportação e utilização inteligente nas indústrias nacionais. Essas ações, além de evitar o colapso logístico, poderão garantir a melhoria de rentabilidade aos produtores rurais.

Problemas de transporte e armazenamento comprometem o custo final do produto, colocam em risco a competitividade, impedem que muitos negócios sejam cumpridos nos prazos estipulados em contrato e ocasionam o aumento dos custos e redução da competitividade dos produtos brasileiros no exterior.

Enfim, as projeções indicam apenas possíveis direções do desenvolvimento e fornecem subsídios aos formuladores de políticas públicas quanto às tendências dos principais produtos do agronegócio nacional; contudo, para atender ao aumento da produção de grãos, o governo brasileiro precisa investir em infraestrutura para que o país tenha condições de comercializar sua produção de forma competitiva.

3.8 Leite e Carnes

O leite é considerado um dos produtos que apresentam elevadas possibilidades de crescimento, uma taxa anual de 2,75%; isto corresponde a uma produção de 36,9 bilhões de litros de leite cru no final do período das projeções. O consumo deverá crescer a uma taxa de 2,23% ao ano, nos próximos anos. Essa taxa é bem superior à observada para o crescimento da população brasileira. Os dados disponíveis sobre exportação não permitem que se faça com

segurança as projeções pois, ao contrário de outras séries de dados, o período não é suficientemente longo para que seja possível fazê-las com mais exatidão.

De acordo com a produção de carnes, as que indicam maiores taxas de crescimento anual no período 2008/2009 a 2018/2019, é a carne de frango, 4,22%; a bovina, 3,50% e a suína 2,84%, o que também representa um valor relativamente elevado, visto que conseguem atender ao consumo interno e às exportações (MAPA/AGE, 2009).

As projeções do consumo mostram preferência crescente dos consumidores brasileiros pela carne de frango cujo crescimento projetado é de 2,57% ao ano, no período 2008/2009 a 2018/2019. Isto significa um consumo interno de 9,9 milhões de toneladas daqui a 11 anos. A carne bovina assume o segundo lugar no aumento do consumo com uma taxa anual projetada de 2,22%, entre 2008/09 a 2018/19. Em nível inferior de crescimento, situa-se a projeção do consumo de carne suína, de 1,79% ao ano para os próximos anos (MAPA/AGE, 2009).

Quanto às exportações estão previstas taxas de crescimento elevadas para os três tipos de carne analisados. As estimativas realizadas pela MAPA/AGE (2009) preveem um quadro significativo para as exportações brasileiras de carne; as carnes de frango e de suínos lideram as taxas de crescimento anual das exportações para os próximos anos – a taxa anual prevista para carne de frango é de 5,62% e para a carne suína, de 4,91%; as exportações de carne bovina devem situar-se numa média anual de 3,07%.

Como as carnes são produtos que apresentam elevada elasticidade-renda, o aumento de renda interna pode direcionar parte da produção para o consumo interno e reduzir o excedente de exportações. No caso, as elasticidades renda-consumo de carne bovina, calculadas por Hoffmann (2007), variam entre 0,35 e 1,00 dependendo do estrato de renda. Esses valores são considerados elevados quanto a outros alimentos e indicam que o aumento do poder aquisitivo da população tem um impacto acentuado no consumo de carnes.

A expansão prevista de exportações de carnes pelo Brasil, o coloca em posição de destaque no comércio mundial. O país deverá manter a liderança de principal exportador de carne bovina e suína, e manter seu terceiro ou quarto lugar nas exportações de carne suína; em 2018/19 as relações Exportação do Brasil/Comércio mundial, devem representar: Carne bovina, 60,6% do comércio mundial; carne suína, 21% do comércio mundial; carne de aves e 89,7% do mercado mundial.

3.9 Culturas Agrícolas: Recomendações de Nutrientes

Na região oeste do Paraná há solos bastante férteis e de bons rendimentos enquanto na agricultura, de acordo com órgãos como a EMATER e a EMBRAPA, ainda existe a necessidade de algumas correções referentes à fertilidade e à agregação de insumos; o que se observa na prática agrícola desta região são os cultivos acentuados de soja, milho e aveia sendo que, muitas vezes, não é analisada a quantidade adequada de nutrientes necessários ao solo.

3.9.1 Nitrogênio

- Nitrogênio para a soja:

Não se recomenda a aplicação de adubo nitrogenado para a cultura de soja. As necessidades de N da planta são supridas pelo N do solo e pela simbiose com o rizóbio específico aplicado via inoculação das sementes ou já estabelecido no solo. A aplicação de N aumenta os custos, inibe a fixação simbiótica de N e não aumenta o rendimento.

- Nitrogênio para o milho:

40 – 120 kg / ha divididos em semeadura e cobertura.

Com relação aos micronutrientes, as quantidades requeridas pelas plantas de milho são muito pequenas; para uma produtividade de 9 t de grãos/ha são extraídos: 2.100 g de ferro, 340 g de manganês, 400 g de zinco, 170 g de boro, 110 g de cobre e 9 g de molibdênio; entretanto, a deficiência de um deles pode ter efeito tanto na desorganização de processos metabólicos e redução na produtividade como na deficiência de um macronutriente como, por exemplo, o nitrogênio.

Segundo Coelho e França (1995) foram determinadas a quantidade de N, P, K, Ca e MG para a cultura do milho grão e silagem, a partir de análises do solo, Tabela 4.

Tabela 4. Extração média de nutrientes pela cultura do milho destinada à produção de grãos e silagem, em diferentes níveis de produtividades

Tipos de exploração	Produtividade (t/ha)	Nutrientes extraídos ¹ (kg/ha)				
		N	P	K	Ca	Mg
Grãos	3,65	77	9	83	10	10
	5,80	100	19	95	7	17
	7,87	167	33	113	27	25
	9,17	187	34	143	30	28
	10,15	217	42	157	32	33
Silagem (Matéria seca)	11,60	115	15	69	35	26
	15,31	181	21	213	41	28
	17,13	230	23	271	52	31
	18,65	231	26	259	58	32

Fonte: COELHO & FRANÇA (1995)

No que se refere à exportação dos nutrientes, o fósforo é quase todo translocado para os grãos (77 a 86 %), seguindo-se o nitrogênio (70 a 77 %), o enxofre (60 %), o magnésio (47 a 69 %), o potássio (26 a 43 %) e o cálcio (3 a 7 %). Isto implica que a incorporação dos restos culturais do milho devolve ao solo grande parte dos nutrientes, principalmente potássio e cálcio, contidos na palhada. Quando o milho é colhido para silagem, além dos grãos, a parte vegetativa também é removida havendo, conseqüentemente, alta extração e exportação de nutrientes (Tabela 1). Assim, problemas de fertilidade do solo se manifestarão mais cedo na produção de silagem do que na produção de grãos (COELHO et al, 2006).

O milho é uma cultura que remove grandes quantidades de nitrogênio e usualmente requer o uso de adubação nitrogenada em cobertura para complementar a quantidade suprida pelo solo quando se desejam produtividades elevadas. Resultados de experimentos conduzidos no Brasil em diversas condições de solo, clima e sistemas de cultivo, mostram resposta

generalizada da cultura à adubação nitrogenada; em geral, 70 a 90 % dos ensaios de adubação com milho realizados em campo, no Brasil, apresentaram respostas à aplicação de nitrogênio.

As recomendações atuais para a adubação nitrogenada em cobertura são realizadas com base em curvas de resposta, histórico da área e produtividade esperada. A recomendação da adubação nitrogenada em cobertura para a cultura do milho de sequeiro varia, em geral, de 40 a 80 kg de N/ha; em agricultura irrigada, na qual prevalece o uso de alta tecnologia, para que obtenção de elevadas produtividades, essa recomendação seria insuficiente. Nessas condições, doses de nitrogênio variando de 100 a 150 kg/ha podem ser necessárias para obtenção de elevadas produtividades (Tabela 04).

Na tomada de decisão sobre a necessidade de adubação nitrogenada, alguns fatores devem ser considerados, tais como: condições edafoclimáticas, sistema de cultivo (plantio direto e convencional), época de semeadura (época normal e safrinha), responsividade do material genético, rotação de culturas, época e modo de aplicação, fontes de nitrogênio, aspectos econômicos e operacional, o que enfatiza a regra de que as recomendações de nitrogênio devem ser cada vez mais específicas e não generalizadas.

Dentre as informações requeridas para otimizar esta recomendação se incluem: a) a estimativa do potencial de mineralização do N do solo; b) a quantidade de N mineralizado ou imobilizado pela cultura de cobertura; c) o requerimento do N pela cultura para atingir um rendimento projetado; e d) a expectativa da eficiência de recuperação do N disponível das diferentes fontes (solo, resíduo de cultura, fertilizante mineral).

Pode-se calcular a necessidade de nitrogênio para uma cultura do milho, visando a uma produtividade estimada de 7.000 kg/ha em uma área cuja cultura anterior era o milho, conforme ilustrado na Tabela 5.

Tabela 5. Estimativa da necessidade de adubação nitrogenada para a cultura milho

Necessidades da cultura para produzir	
Grãos, 7000kg/ha ⁻¹ x1,4% de N	98kg
Palhada, 7000kg/ha ⁻¹ x1,0% de N	70kg
Total	168kg
Fornecimento pelo solo:	
20kg de N por 1% de M.O. (solo com 3% de M.O.)	60kg
Resíduos de cultura, 30% de N da palhada	21kg
Total	81kg
Necessidades de adubação ¹ :	
$N_f = (168-81)/0,60$	145k

Fonte: (COELHO et al, 2006)

Ainda Coelho et al (2006) para os plantios em sucessão e/ou em rotação com a cultura da soja, reduzir 20 kg de N/ha da recomendação de adubação em cobertura. A alternativa de aplicar todo o N a lanço ou em sulcos na pré-semeadura do milho, tem despertado grande interesse porque apresenta algumas vantagens operacionais, como maior flexibilidade no período de execução da adubação, racionalização do uso de máquinas e mão-de-obra; entretanto, devido à extrema complexidade da dinâmica do nitrogênio no solo, a qual é fortemente influenciada pelas variáveis ambientais, os resultados de experimentos de campo não são consistentes o bastante para que se possa generalizar a recomendação desta prática; por outro lado, a aplicação de N em cobertura quase sempre assegura incrementos significativos no rendimento de milho, independente de a precipitação pluvial ser normal ou excessiva, sobremaneira no período inicial de desenvolvimento da cultura.

Caso as plantas apresentem sintomas de deficiência, pode-se fazer aplicação suplementar em período anterior ao indicado, ou seja, aplicar, na semeadura, de 10 a 30 kg de N/ha.

3.9.2 Fósforo

Embora as exigências do milho em fósforo sejam em quantidades bem menores do que em relação ao nitrogênio e ao potássio (Tabela 4) as doses normalmente recomendadas são altas em função da baixa eficiência (20 a 30%) de aproveitamento desse nutriente pela cultura, decorrente da alta capacidade de fixação do fósforo adicionado ao solo, através de mecanismos de adsorção e precipitação reduzindo sua disponibilidade às plantas; outro fator que deve ser levado em conta é a demanda de fósforo pela cultura; plantas de desenvolvimento intenso, de ciclo curto como o milho, requerem maior nível de fósforo em solução e reposição mais rápida do P-adsorvido, que as plantas de culturas perenes, Coelho et al (2006).

A análise do solo se mostra útil para discriminar potenciais de respostas do milho à adubação fosfatada. A interpretação da análise de solo e a recomendação da adubação fosfatada para milho grão, com base no rendimento esperado, são apresentadas nas Tabelas 4 e 5, cujas doses devem ser aplicadas no sulco de semeadura e ser ajustadas para cada situação levando-se em conta, além dos resultados da análise de solo, o potencial de produção da cultura na região e o nível de tecnologia utilizado pelos agricultores (EMBRAPA, 2009).

Quando o solo apresentar teores de fósforo acima do nível crítico (Tabelas 4 e 5) ou seja, valor acima do qual não se espera resposta do milho a esse nutriente, a manutenção deste valor é feita pela reposição anual da quantidade removida no produto colhido. Para o milho considera-se que, para cada tonelada de grãos produzida, são exportados 10 kg de P_2O_5 . Este mesmo valor pode ser considerado quando se cultiva o milho para produção de silagem visto que, como mostrado na Tabela 1, a exportação de fósforo, quando se cultiva o milho para esta finalidade, é semelhante àquela para a produção de grãos, em que se encontram mais de 80% do fósforo absorvido pela cultura (KAMINSKI & PERUZZO, 1997).

A absorção de nutrientes por determinada espécie vegetal é influenciada por diversos fatores, entre eles as condições climáticas, como chuvas e temperaturas, as diferenças genéticas entre cultivares de uma mesma espécie, o teor de nutrientes no solo e dos diversos tratamentos culturais; contudo, alguns trabalhos apresentam as quantidades médias de nutrientes contidos em 1.000 kg de restos culturais de soja e em 1.000 kg de grãos de soja, como os dados apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Quantidade absorvida e concentração de nutrientes na cultura da soja

Parte da planta	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S	B	Cl	Mo	Fe	Mn	Zn	Cu
	kg/1000 kg ou g/kg						g/1000 kg ou mg/kg						
Grãos	51	10	20	3,0	2,0	5,4	20	237	5	70	30	40	10
Restos Culturais	32	5,4	18	9,2	4,7	10	57	278	2	390	100	21	16

Fonte: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja (Londrina, PR). **Recomendações técnicas para a cultura da soja na região Central do Brasil 1998/99**. Londrina: 1998. 182p. (EMBRAPA-CNPSO. Documentos, 120)

Observação: à medida em que a matéria seca produzida por hectare aumenta, a quantidade de nutrientes nos restos culturais da soja não segue modelo linear

Observa-se, através desses dados, que a maior exigência da soja refere-se ao nitrogênio e ao potássio, seguindo-se o cálcio, o magnésio, o fósforo e o enxofre; nos grãos, a ordem de remoção, em porcentagem, é bastante alterada; o fósforo é o mais translocado (67%), seguido do nitrogênio (66%), do potássio (57%), do enxofre (39%), do magnésio (34%) e do cálcio (26%). Em relação aos micronutrientes é importante observar as pequenas quantidades necessárias para a manutenção da cultura, porém não se deve deixar faltar, pois são essenciais e sem eles não há bom desenvolvimento e rendimento de grãos.

Nas misturas de NPK com fosfatos naturais a legislação determina que o P seja expresso em P₂O₅ solúvel em água, ácido cítrico e total. Para o cálculo da quantidade de fosfato a ser utilizada deve-se considerar, segundo a CQFS-NRSSBCS (2004) o valor de P total, complementando em 20%.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo são descritos os procedimentos gerais da pesquisa assim como da unidade de produção modelada para, após, se descrever a formulação do modelo utilizado.

Para a interpretação da unidade de produção agropecuária e caracterização dos elementos relevantes à obtenção de resultados, foram realizadas entrevistas junto ao agricultor. A partir do modelo básico elaborado foram sendo inseridos os dados referentes à UPA (Unidade de Produção Agropecuária) em questão; assim, foi possível criar um modelo que melhor representasse esta propriedade.

Com o levantamento bibliográfico realizado constatou-se grande importância, no que tange ao tratamento e reaproveitamento dos dejetos na própria UPA onde são gerados; apresentou-se, ainda, um direcionamento à criação de um modelo matemático que possibilite a redistribuição de culturas visando à autossustentabilidade do sistema agrário no qual se pretendeu intervir, oportunizando um equilíbrio financeiro e ambiental.

Para a realização deste trabalho, ancorada em pesquisas bibliográficas, fez-se contato junto a uma Cooperativa Agroindustrial do Oeste do Paraná, com sede em Medianeira, –PR, realizando-se visitas e entrevistas junto à cooperativa e ao agricultor.

A indicação da propriedade em estudo foi feita pela Cooperativa, sendo levado em consideração, para a escolha da unidade de produção, um produtor a ela associado e na qual deposite sua produção animal e vegetal, desenvolvendo policulturas.

4.1 Unidade de produção agropecuária piloto

O projeto foi desenvolvido em uma UPA (unidade de produção agropecuária) piloto onde ocorre a produção de suínos, comportando 500 suínos sendo que a engorda se desenvolve a cada 110 dias aproximadamente, em parceria com uma Cooperativa Agroindustrial. Nesta unidade se desenvolve ainda, a rotação de culturas de milho e soja, no verão, enquanto, no inverno a SAU (superfície de área útil) é cultivada com aveia para a produção de feno ou milho safrinha. A área mecanizada para a agricultura é de 9 hectares;

conta também com dois aviários em funcionamento com capacidade de engorda para aproximadamente 28.000 frangos/lote (em torno de 45 dias de permanência por lote). Dentre as atividades permanentes há ainda a prática de uma pequena bovinocultura de leite, contando com 15 cabeças dentre elas 6 vacas em lactação.

A referida UPA está localizada no município de São Miguel do Iguazu, na região Oeste do estado do Paraná, nas margens do Lago de Itaipu, apresentado na Figura 1; sua população estimada em 2011 foi de 25.755 habitantes; trata-se de uma cidade em desenvolvimento em relação à agricultura, ao comércio, à indústria e ao turismo; esta prática se iniciou a partir da formação do referido lago. Na Tabela 7 são apresentadas as coordenadas geográficas que circundam a UPA piloto.

Tabela 7. Localização da UPA

Ponto	Coordenadas		Altitude (m)
1	25° 16' 27.03" S	54° 17' 36.31" O	266
2	25° 15' 21.82" S	54° 15' 53.34" O	283
3	25° 13'44.27" S	54° 16' 23.12" O	234
4	25° 14' 12.02" S	54° 18' 34.01" O	248

O lago artificial surgiu pelo represamento das águas do Rio Paraná quando da construção da Itaipu Binacional, em 1982; é um dos maiores lagos do mundo, com 29 milhões de metros cúbicos e 20 km de extensão em linha reta; possui diversas praias em suas margens e é palco de diversas competições e esportes náuticos. A Figura 1 remete a uma visão localizada do lago de Itaipu enfatizando a prainha artificial da cidade de São Miguel do Iguazu.

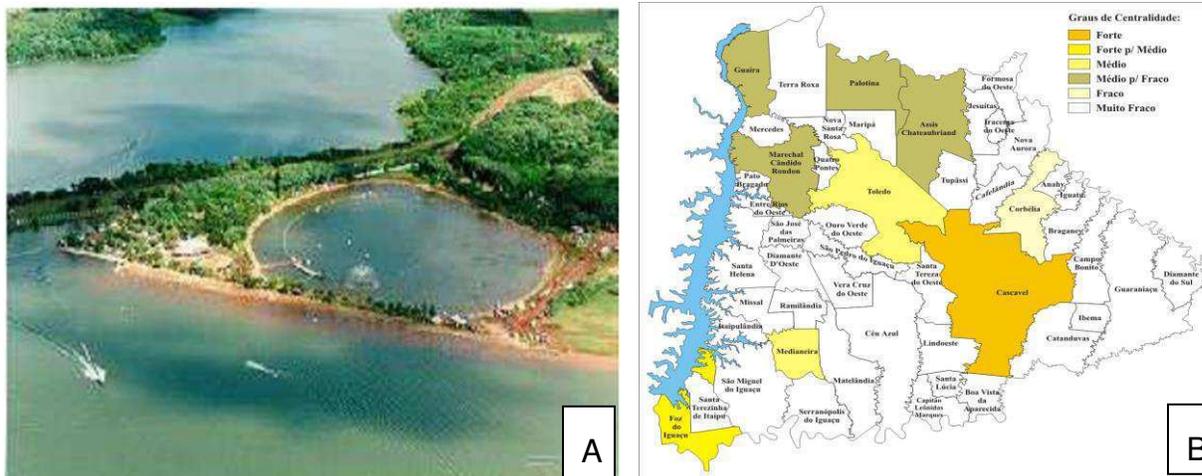


Figura 1. Vista aérea da prainha do município de São Miguel do Iguazu (A) e mapa do oeste Paranaense (B)

Fonte: <http://www.mundi.com.br/Fotos-Sao-Miguel-do-Iguacu-2714440.html>

O clima de São Miguel do Iguazu é subtropical úmido, sendo o mês de julho o mais frio do ano, com temperaturas médias entre 14°C e 16°C, e o mais quente, fevereiro, com temperaturas médias variando entre 25°C e 35°C. O verão apresenta tendência a muitas chuvas. Os invernos, apesar de, na média, serem considerados amenos, propiciam quedas bruscas de temperaturas que podem cair abaixo de zero durante a passagem de frentes frias com massas de ar polar na retaguarda; essas chuvas costumam ser bem distribuídas durante o ano com pequena redução no inverno e a precipitação anual varia em torno dos 2.052mm (IBGE, 2011).

4.2 Aquisição dos animais e manejo de seus resíduos

Os leitões e os pintainhos, tal como a ração, medicamentos e demais insumos, são adquiridos na cooperativa. Em relação à alimentação dos suínos, a distribuição é feita por sistema braçal ficando o alimento disponível à granja em quatro períodos durante o dia, enquanto para os aviários o sistema de alimentação é automatizado. A bovinocultura é criada a pasto e tem sua nutrição complementada com ração e forrageiras cuja disposição é feita por processo braçal.

Para o manejo dos resíduos a granja suinícola conta com um tubo para o escoamento dos dejetos, os quais são depositados em um sistema de tratamento ligados em série composto de um biodigestor e uma lagoa facultativa, sendo que a capacidade de cada um é de 240 m³;

após ser atingida a capacidade máxima do biodigestor, o excedente é transferido, por gravidade, à lagoa. A cada 55 dias, tempo de detenção hidráulica, esses dejetos são retirados da LF (lagoa facultativa) com auxílio de um caminhão tanque e espalhados na lavoura.

No aviário são realizadas seis engordas de frangos por ano. O tempo de permanência de cada lote é de 45 dias, com intervalo de 7 a 10 dias para limpeza e reposição das aves; a cada 8 lotes é realizada a troca da cama do aviário sendo uma parte desses dejetos vendida e outra aproveitada na lavoura da propriedade piloto.

O gado é criado em sistema semiextensivo; contando com uma área de pastagem permanente de 2 hectares, verifica-se que boa parte das fezes geradas nesta atividade fica depositada no próprio local de permanência do rebanho. Para os dejetos da bovinocultura de leite tem-se uma caneleta armazenadora que é utilizada para a coleta e armazenagem durante a ordenha, sendo aplicados na lavoura quando esta atinge sua capacidade máxima (10m^3).

4.3 Monitoramento do sistema de tratamento e coleta de amostras de resíduos

Os efluentes da atividade suinícola passam por um sistema de tratamento ligado em série, composto por um biodigestor com capacidade de 240m^3 e uma lagoa facultativa de mesmo volume. Na Figura 2 pode ser observada a integração dos tratamentos quando atingidas suas capacidades máximas.



Figura 2. Sistema de tratamento para dejetos de suínos: biodigestor (A) e lagoa facultativa (B)

O biodigestor e a lagoa facultativa da UPA piloto são confeccionados na própria unidade e têm, como suporte, uma vala de 10m de comprimento, 8m de largura e 3m de

profundidade; são revestidos por lona e tubos de PVC que fazem as interligações do sistema. Na saída do biodigestor há dois tubos de PVC, um para o escoamento do efluente excedente e outro para a queima do gás gerado. Na Figura 3 tem-se um croqui da integração da dinâmica entre os elementos que compõem a produção de proteína animal, na UPA.

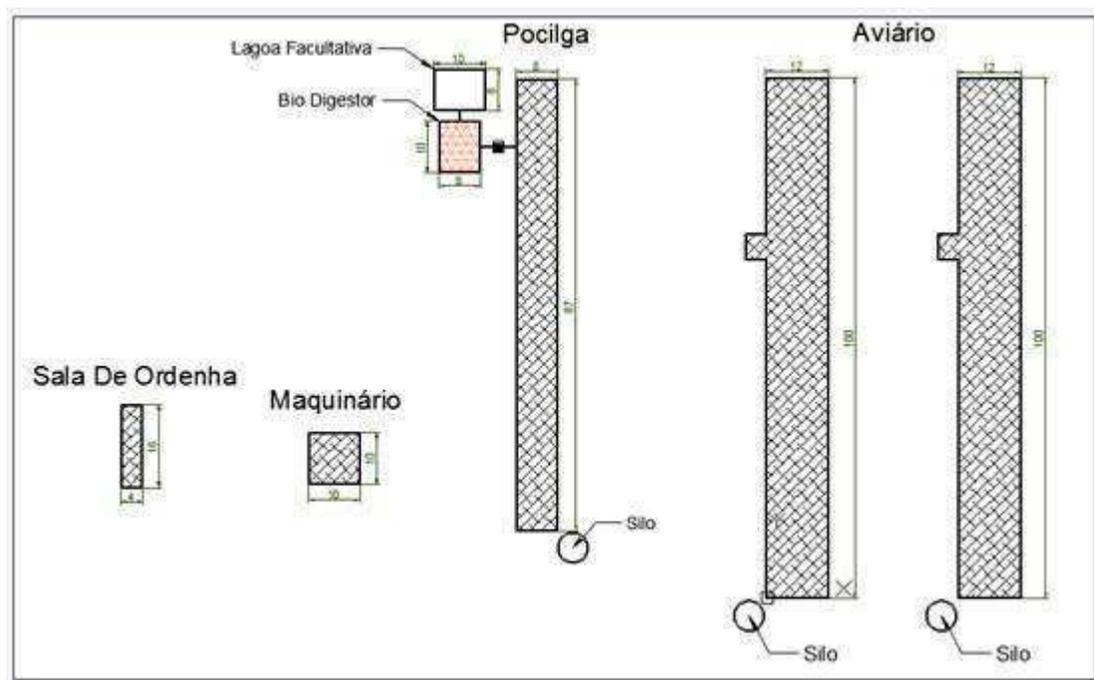


Figura 3. Croqui da integração da dinâmica entre os principais elementos que compõem a produção de proteína animal

O monitoramento do sistema de tratamento foi realizado com auxílio das coletas de afluentes e efluentes, realizadas mensalmente, no período de seis meses. Os dejetos foram coletados em três pontos de amostragem (saída da pocilga; saída do biodigestor e saída da lagoa facultativa). Considerando a lagoa como tanque de armazenamento final a cada coleta, utilizou-se de um agitador acoplado a um trator para que a amostra fosse a mais homogênea possível.

O sistema de tratamento dos dejetos oriundos da suinocultura já estava sendo aplicado na UPA, desde 2008, sendo que o período de detenção hidráulica em cada lagoa é de 55 dias, o que leva à necessidade de duas coletas para esvaziamento por lote, além de uma extensão territorial considerável para o reúso legalmente correto.

As amostras foram acondicionadas em recipientes plásticos e mantidas em refrigeração até chegar ao local das análises; os parâmetros avaliados foram N, P, K, Ca e Mg

e Cu e Zn micronutrientes e Matéria orgânica (MO) utilizando-se de metodologias do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, APHA, 2005, 21ª ed.

4.4 Caracterização dos resíduos da avicultura e bovinocultura

A caracterização dos dejetos foi realizada em três períodos distintos, época de baixas temperaturas (mês de agosto); temperaturas amenas (mês de outubro) e temperaturas elevadas (mês de janeiro).

Para a avicultura realizou-se coleta em vários pontos superficiais e internos no local em que foram armazenados os resíduos; após a coleta buscou-se misturá-los para que a amostra pudesse ser homogênea; após este processo foram retirados 500g do material e enviados ao laboratório.

Em relação à bovinocultura, foram coletadas amostras da canaleta coletora e da esterqueira; para tanto, foram tomados 500 ml do resíduo, em vários pontos de uma canaleta armazenadora, em seguida agitados em um balde plástico buscando-se uma homogeneização melhor; ao final tiram-se 500ml, que foram enviados ao laboratório; na esterqueira fez-se coleta em vários pontos para compor amostras de 500 ml de material sólido e 500ml de efluente líquido; as amostras foram acondicionadas em recipientes plásticos e conduzidas sob refrigeração ao laboratório, onde foram realizadas as análises de N, P, K, Ca e Mg e Cu e Zn micronutrientes e Matéria orgânica (MO) utilizando-se de metodologias do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, APHA, 2005, 21ª ed.

A Figura 4 apresenta os aviários e a sala de ordenha de onde foram retiradas as amostras de efluentes da bovinocultura.

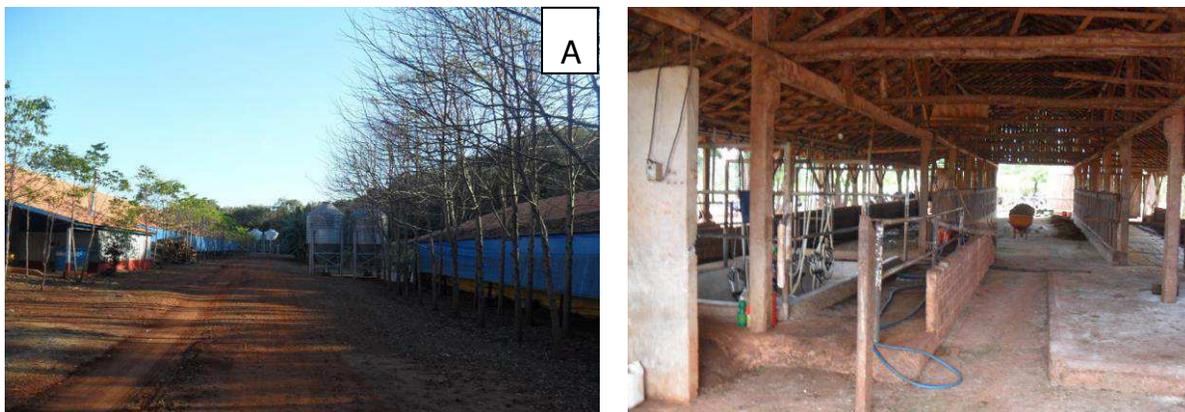


Figura 4. Aviários (A) e Sala de Ordenha (B)

4.5 Tratamento dos dados

Os dados dos nutrientes levantados nas análises químicas foram submetidos a análise de variância e teste de médias utilizando o software MINITAB

5. DESENVOLVIMENTO DO MODELO

Com base na elaboração do modelo matemático de análise da viabilidade econômica e ecológica da UPA piloto, procedeu-se às entrevistas com seus proprietários e se buscou o entendimento da dinâmica da cadeia produtiva de grãos e de proteína animal, além dos principais coeficientes zootécnicos (produção de volumosos, grãos e distribuição de mão-de-obra, entre outros), os condicionantes técnicos, econômicos e financeiros e o levantamento de dados na literatura especializada.

A partir dessas informações e de outros dados, desenvolveu-se o modelo na plataforma LINGO 4.0, conforme o fluxograma apresentado na Figura 5. O modelo é baseado em um conjunto de restrições em relação à atividade pecuária, conjuntamente com a legislação ambiental no que diz respeito ao uso máximo dos efluentes gerados. O modelo foi direcionado à redistribuição das principais atividades levantadas nas entrevistas, como redistribuição da SAU destinada à produção agrícola, mão-de-obra familiar e disponibilidade de nutrientes.

Os possíveis resultados obtidos no modelo permitem um desempenho melhor dos principais fatores vinculados à produtividade agropecuária definindo um resultado econômico ótimo em relação à UPA analisada.

O “software” LINGO mostra, depois de compilar o modelo, um relatório de soluções no qual se encontram o resultado ótimo da função-objetivo e o número de variáveis junto às respostas apresentadas em três colunas; a primeira apresenta os nomes das variáveis (“Variable”), cujos valores se encontram na coluna central (“Value”); a última coluna é denominada “Reduced Cost”, ligada a cada variável do problema. A redução de custo de uma variável pode ser interpretada como a penalidade (positiva ou negativa), ou seja, é necessário pagar para introduzir uma unidade daquela variável na solução (SANDMANN e BARROS, 2010).

Na segunda parte do relatório, coluna à esquerda (“Row”), são apresentados nomes desde que tenham sido atribuídos, isto é, destacados entre colchetes ou número de linhas do programa. O “Slack” ou “Surplus” na coluna central indica o excesso ou folga em restrições. A coluna à direita, designada “Dual Price”, pode ser compreendida como a quantidade pela

qual a função objetivo melhoraria/pioraria, quando o lado direito das restrições é aumentado ou diminuído em uma unidade.

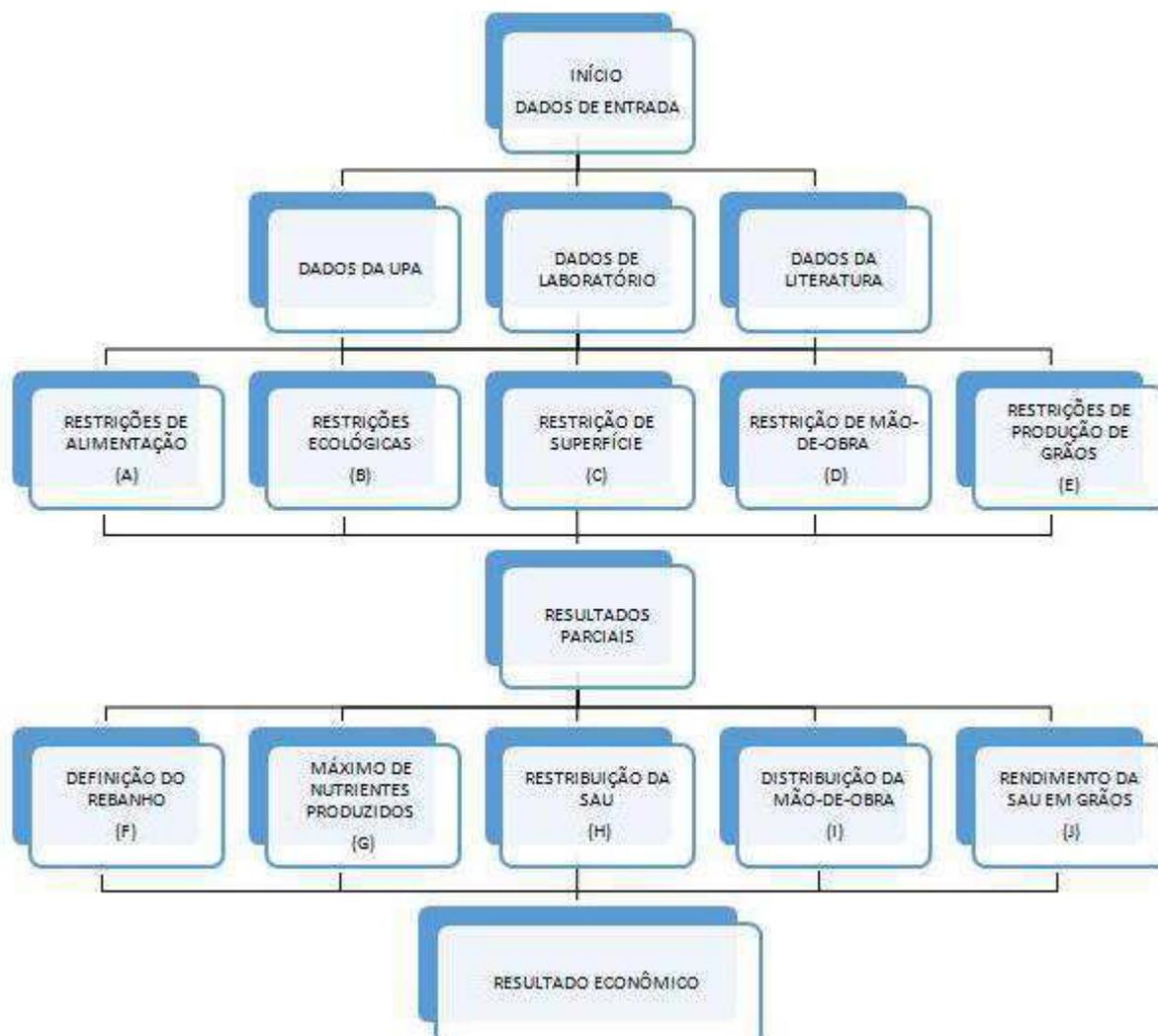


Figura 5. Fluxograma do Modelo desenvolvido para a UPA

5.1 Entrada de dados do Modelo – Dados primários

Para atender a função objetivo foi desenvolvida, com auxílio de entrevistas com o agricultor e do Excel, a estrutura de custos dos principais sistemas de produção da UPA piloto, a qual fornece elementos que auxiliam, ao ser compilado o modelo, na tomada de decisões.

Para compor os dados de custos do modelo foi criada uma sub-rotina na plataforma Excel, que relacionava as principais saídas financeiras nas diferentes práticas desenvolvidas na UPA piloto; para isto foram considerados condicionantes técnicos e financeiros das atividades desenvolvidas como custos, para: a implementação da cadeia produtiva de proteína animal, ressaltando-se valores agregados à construção e manutenção das instalações (pocilgas, aviários, sala de ordenha, galpões, biodigestor, lagoa facultativa); a exploração das culturas agrícolas (soja, milho, aveia, pastagens) e se levando em consideração valores agregados a sementes insumos, mão-de-obra e equipamentos.

Dos dados gerados na sub-rotina tomou-se, como variável de entrada no modelo, o ganho de capital relativo à venda da soja; do milho; do leite; dos suínos; das aves; das vacas de descarte e do feno. A função objetivo no modelo comporta, ainda, os custos que representam as saídas de capital referentes à manutenção e alimentação das vacas leiteiras e do rebanho; aos custos com energia elétrica; pastagens; mão-de-obra e silagem com transporte dos efluentes da suinocultura, da bovinocultura e dejetos da avicultura. Os custos com a produção de proteína animal e vegetal foram desenvolvidos no Excel levando-se em conta a SAU destinada a cada categoria e, como os valores associados, sua prática como insumos e medicamentos, entre outros.

5.2 Entrada de dados do Modelo – Dados secundários

Para compor o modelo no que tange aos dados de entrada secundários foi levantado, a partir das entrevistas, da literatura e dos dados primários, um quadro representativo das relações e das restrições das atividades praticadas na UPA, o qual visa mostrar, também, as principais ligações entre as categorias da cadeia produtiva da UPA piloto como, por exemplo, geração de resíduos e produção de biomassa vegetal, atividade desenvolvida e necessidade de mão-de-obra, entre outras.

A Tabela 8 relaciona as principais variáveis que foram incorporadas ao modelo matemático – dados de entrada secundários, conjunto de restrições e resultados finais.

Tabela 8. Interpretação dos principais componentes do programa

Dados de Entrada	Restrições dadas por Inequações	Resultados
Secundários		
Alimentação da bovinocultura de leite (kg, kcal)	Relação de quantidade de energia metabolizável, proteína, volumosos produzidos pelo sistema de pastagens e quantidade necessária para a manutenção do rebanho e produção de leite	Distribuição de terra para pastagens, visando não só a um rendimento leiteiro melhor mas também a uma absorção maior dos efluentes oriundos do sistema de produção de proteína animal.
Oferta de N e P em kg oriundos dos rejeitos	Relação da quantidade produzida de N e P e recomendações agrotécnicas	Quantidade de esterco máximo a ser produzido na propriedade e quantidade de lotes/ano de suínos e aves.
Superfície de área útil (hectares)	Relação da somatória destinada em hectares para as diferentes culturas agrícolas e a disponibilidade de terra.	Quantidade de terra para cada cultura a ser cultivada.
Mão-de-obra (horas)	Relação da mão-de-obra a ser distribuída na agricultura, bovinocultura e suinocultura.	Quantidade de horas a ser destinada a cada atividade.
Quantidade produzida de grãos e pastagens (toneladas) e absorção de dejetos.	Relação do rendimento de grãos e pastagens por hectare e capacidade de absorção das culturas (milho, soja e pastos)	Rendimento total de grãos da SAU e quantidade de nutrientes absorvido pelas culturas.

5.2.1 Alimentação da bovinocultura de leite

A alimentação da bovinocultura de leite é fator de grande relevância para o desenvolvimento do modelo haja vista que nesta variável cabe uma série de restrições de ligação que relacionam produtividade leiteira com a necessidade de forrageiras, rações e mão-de-obra, tanto para a ordenha quanto voltada à manutenção do rebanho gerando 16 baterias de inequações referentes ao produto das categorias do rebanho (vacas leiteiras, vacas secas,

novilhas e terneiras) pela alimentação (ingestão - volumosos e ração, ingestão de volumosos, energia metabolizável e proteína bruta) para cada um dos 12 meses do ano, totalizando 192 inequações.

A oferta de pastagem para alimentação do rebanho foi modelada de acordo com a disponibilidade no sistema de produção ao longo do ano enquanto a ração concentrada, a silagem e o feno, entraram no modelo como variáveis livres uma vez que podem ser armazenados e distribuídos ao longo do ano. Esta variável teve, como entrada no modelo, 10 baterias de equações resultantes da relação entre a oferta de alimentos - milho grão, milho forragem, cana-de-açúcar, capim elefante, tifton 85, aveia, sorgo, feno silagem e ração concentrada - e o percentual desses alimentos oferecidos ao longo dos 12 meses do ano; o balanço entre a oferta e a demanda por alimento foi dado por inequações.

5.2.2 Oferta de Nitrogênio e Fósforo oriundos dos rejeitos

Os nutrientes N e P estão fortemente ligados à produção de proteínas animal das três categorias da UPA piloto - bovinos, suínos e aves, sendo fatores limitantes ao se considerar restrições ecológicas devendo ser tratados e reaproveitados na própria unidade em que forem gerados; para tanto se tem, na produção de proteína vegetal, boas práticas para o aproveitamento desses rejeitos.

O modelo em questão relaciona, usando-se três baterias de equações, a quantidade de dejetos produzidos por (suínos, bovinos e aves) com os teores os nutrientes - Nitrogênio e Fósforo. Em referência aos fertilizantes dos rejeitos da suinocultura, o modelo considera, ainda, por meio de inequações, a eficiência dos tratamentos - biodigestor e lagoa facultativa.

5.2.3 Superfície de área útil (SAU)

A UPA piloto conta com uma área de 13 hectares, dos quais 9 são destinados à agricultura podendo-se cultivar soja, milho, aveia e pastagens; esta superfície agricultável é de fundamental importância para a permanência do agricultor no campo e para o aproveitamento dos efluentes e dejetos da agropecuária.

A SAU entra no modelo como restrição de área para as diferentes culturas, juntamente com a quantidade dos nutrientes Nitrogênio e Fósforo, oriundos dos dejetos que podem ser reaproveitados na cadeia produtiva de proteína vegetal, tanto para alimentação do rebanho como para venda (milho, soja e feno).

5.2.4 Mão-de-obra

Um dos grandes impasses ligados à atividade agropecuária é a questão da mão-de-obra; o que ocorre é uma grande dificuldade de se contratar funcionários que permaneçam nas empresas rurais (UPAs). A Tabela 9 remete às principais distribuições de horas/trabalhador na unidade estudada.

O modelo em questão considera que demanda de mão-de-obra tem que ser menor que a oferta, o que é representado em 12 inequações referentes aos 12 meses do ano considerando-se todas as atividades de cultivo agrícola, manutenção das instalações e manejo dos rebanhos.

Para os suínos a mão-de-obra é utilizada para alimentação dos animais e higienização das instalações enquanto na bovinocultura a mão-de-obra é usada principalmente na ordenha e na alimentação do rebanho; a produção de pastagens requer horas diferentes de trabalho que variam de acordo com os meses; já a somatória da mão-de-obra foi de 460 horas mensais caracterizando o trabalho familiar, correspondendo a 2 pessoas.

A mão-de-obra relativa à avicultura não entrará como fator limitante de vez que a prática que vem sendo desenvolvida na UPA é a contratação específica para este fim.

Tabela 9. Distribuição da mão-de-obra em horas na UPA

Hora Trabalhador por Unidade de Atividade da UPA Piloto									
Mês	Suínos	Pastagem						Milho	Soja
		VL	Perene	Potreiro	Sorgo	Silagem	Aveia	Venda	Venda
Janeiro	30	16	20	-	20	1	-	-	-
Fevereiro	30	16	20	-	20	-	-	-	1
Março	30	16	20	-	20	-	-	1	-
Abril	30	16	20	-	20	-	-	-	-
Maiο	30	16	20	-	20	-	1	-	-
Junho	30	16	20	-	20	-	-	-	-
Julho	30	16	20	-	20	1	-	-	-
Agosto	30	16	20	-	20	-	-	-	-
Setembro	30	16	20	-	20	-	-	-	-
Outubro	30	16	20	1	20	-	-	-	-
Novembro	30	16	20	-	20	-	-	-	-
Dezembro	30	16	20	-	20	-	-	-	-

5.2.5 Produção de grãos e pastagens

Para a variável produção de grãos e pastagens foi desenvolvido um conjunto de inequações que relacionam as necessidades nutricionais quanto ao nitrogênio e ao fósforo, das oito culturas - milho, soja, aveia, sorgo, capim elefante, tifton e cana-de-açúcar e os teores de fertilizantes dos rejeitos das atividades agropecuária - suinocultura, bovinocultura e avicultura.

5.3 Descrição formal do modelo

O modelo matemático foi desenvolvido na plataforma LINGO 4.0 e formado por um conjunto de equações cuja finalidade foi descrever o sistema produtivo de uma unidade de

produção agropecuária que conta com as atividades de produção de proteína animal (leite, carnes: aves, suínos e bovinos) e vegetal (grãos e pastagens).

A partir da realidade constatada na unidade de produção tornou-se possível formular o problema, por meio da abstração. Assim, relacionou-se esta realidade com a matemática criando o modelo e o validando com os dados coletados a partir do sistema atual investigado.

As equações se estruturam na forma de um modelo de programação matemática o qual abrange a programação linear e não linear e se divide em três partes: função objetivo, um conjunto de restrições e um conjunto de condições de não-negatividade para as n variáveis de escolha.

Pode-se afirmar que a otimização se sujeita a restrições, isto é, os valores das variáveis de decisão, maximizadores da função objetivo estabelecida, são induzidos a satisfazer certas restrições técnicas e comportamentais e as restrições de não-negatividade são impostas pelo fato de que valores negativos não teriam significado físico algum (SANDAMNN E BARROS, 2010).

A descrição do modelo, como formulado no programa LINGO 4.0, está exposta sucintamente, como segue no subitem 5.1.

5.3.1 Função Objetivo

Consideram-se, para a elaboração da função objetivo, as variáveis:

- Preço para o leite e para a carne do rebanho descartado;
- Custo por animal por categoria (vaca leiteira, vaca seca, novilhas e terneira) incluindo medicamento, sal comum, sal mineral e inseminação artificial;
- Consumo intermediário por hectare para as pastagens (silagem, aveia + azevém, cana-de-açúcar, tifton 85, sorgo forrageiro);
- Valor agregado bruto por hectare para o plantio das culturas de soja e de milho grão, para venda.
- Balanço entre os valores de venda e despesas, atualizados para 2013, dos principais produtos na UPA: leite, vacas de descarte, suínos, aves, grãos e dejetos da avicultura.

Duas funções objetivo foram definidas, em que na primeira se assumiu que o agricultor procura maximizar a renda anual e, na segunda função, ele busca otimizar a renda no mês de pior resultado econômico, ou seja:

$$\text{Função Objetivo 1} \longrightarrow \text{MAX= REA} \quad \text{Eq 1}$$

$$\text{Função Objetivo 2} \longrightarrow \text{MAX= REM;} \quad \text{In 1}$$

Para a Função objetivo 1 tem-se que o resultado econômico anual – REA, relaciona a matriz do resultado econômico mensal com os custos para manutenção do sistema. A função objetivo é multicritério, o que apresenta o resultado econômico anual, representado tanto pelo balanço geral anual como pelo controle mensal da renda, buscando maximizar os resultados econômicos e ambientais da UPA e se considerando as variáveis envolvidas na equação 1.

$$\begin{aligned} [\text{RREANUAL}] & (\text{SOJA} * \text{VSOJA}) + \text{VENDAVES} + \text{VESTRAV} + \text{VENDALOTESU} + \\ & (\text{VMIL1} * \text{MILHO1}) + (\text{VMIL2} * \text{MILHO2}) + (\text{PL} * \text{L}) + (\text{PVENDAVS} * \text{PV} * \text{VD}) - \\ & (\text{CVL} * \text{VL} + \text{CVS} * \text{VS} + \text{CN} * \text{N} + \text{CTF} * \text{TF}) - (\text{CSCE} * (\text{CANA} + \text{CE} + \text{SOR})) - (\text{CMIL} * \text{MILHO1}) \\ & - (\text{CPOT} * \text{POT}) - (\text{CUSTOSOJA} * \text{SOJA}) - (\text{CAV} * \text{AV}) - (\text{CMIL} * \text{MILHO2}) - (\text{PRACAO} * \text{R}) - \\ & \text{CSIL2} - \text{CSIL1} + \text{BALANCOADUBO} = \text{REA} \quad \dots\dots\dots(\text{Eq 1}) \end{aligned}$$

A função objetivo 2 apresenta o balanço econômico relativo a cada mês do ano, que serve para se localizar a renda suportável pelo agricultor no pior mês relativo à produtividade do sistema. A Inequação 1 representa a função objetivo 2 para o mês de janeiro; os demais meses têm suas inequações definidas de acordo com as atividades desenvolvidas nesses períodos.

$$\begin{aligned} [\text{REJAN}] & \text{PL} * \text{LJAN} + (\text{PVENDAVS} * \text{PV} * \text{VD} - \text{CVL} * \text{VL} - \text{CVS} * \text{VS} - \text{CN} \\ & * \text{N} - \text{CTF} * \text{TF}) / \text{ANO} - \text{PRACAO} * \text{RJAN} - \text{CSIL1} + \text{VENDALOTESUJAN} + \\ & \text{BALANCOADUBO} / 12 \geq \text{REM} \dots\dots\dots \end{aligned}$$

In. 1

$$\begin{aligned}
 & \cdot \\
 & \cdot \\
 & [\text{REDEZ}] \text{ PL} * \text{LDEZ} + (\text{PVENDA VS} * \text{PV} * \text{VD} - \text{CVL} * \text{VL} - \text{CVS} * \text{VS} - \text{CN} \\
 & * \text{N} - \text{CTF} * \text{TF}) / \text{ANO} - \text{PRACAO} * \text{RDEZ} + \text{VESTRAV} + \text{VENDA VESDEZ} + \\
 & \text{BALANCO ADUBO} / 12 \geq \text{REM} \dots\dots\dots \text{In.12}
 \end{aligned}$$

Com este conjunto de 12 inequações referentes à REM, o modelo indicará medidas a serem tomadas no sistema de produção (modificações na área de cultivo, redução ou ampliação do rebanho, alteração no número de lotes de suínos e aves, entre outros) que possibilitarão a melhoria da renda da UPA tendo como referência a pior situação, isto é, o mês de menor rendimento.

O rendimento de cada mês é determinado por meio de 12 equações que executam o balanço entre os valores mensais de entrada na unidade e seus custos agregados. O sistema de equações a seguir ilustra o rendimento da UPA para os 12 meses do ano:

$$\begin{aligned}
 & [\text{RREJAN}] \text{ PL} * \text{LJAN} + (\text{PVENDA VS} * \text{PV} * \text{VD} - \text{CVL} * \text{VL} - \text{CVS} * \text{VS} - \\
 & \text{CN} * \text{N} - \text{CTF} * \text{TF}) / \text{ANO} - \text{PRACAO} * \text{RJAN} - \text{CSIL1} + \text{VENDALOTESUJAN} \\
 & = \text{REM1} \dots\dots\dots \text{Eq 2}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \cdot \\
 & \cdot \\
 & \cdot \\
 & [\text{RREDEZ}] \text{ PL} * \text{LDEZ} + (\text{PVENDA VS} * \text{PV} * \text{VD} - \text{CVL} * \text{VL} - \text{CVS} * \text{VS} - \\
 & \text{CN} * \text{N} - \text{CTF} * \text{TF}) / \text{ANO} - \text{PRACAO} * \text{RDEZ} + \text{VESTRAV} + \text{Eq. 13} \\
 & \text{VENDA VESDEZ} + \text{BALANCO ADUBO} / 12 = \text{REM12} \dots\dots\dots
 \end{aligned}$$

O sistema de equações remete ao balanço financeiro de cada mês; deste modo, o agricultor pode prever o ganho nas diferentes etapas da produção.

5.3.2 Parâmetros de entrada

Os principais parâmetros de entrada do modelo estão elencados nos subitens de a até c. Os valores dos parâmetros foram obtidos a partir de entrevistas com agricultores e técnicos, análises laboratoriais e revisão bibliográfica. Entre as referências pesquisadas se destacam Silva Neto e Oliveira (2007), VALADARES FILHO, S.C., MACHADO, P.A.S., CHIZZOTTI, M.L. et al.(2012) e EMBRAPA (2009), como fontes extratoras desses coeficientes.

a) Parâmetros estritamente relativos ao rebanho leiteiro

a-1) Estabilização do rebanho

Para que ocorra estabilização do rebanho leiteiro visando a um rendimento leiteiro melhor, é necessário que sejam respeitadas as inequações que seguem (SALVA NETO e OLIVEIRA, 2007)

$$[VLVS] \quad 0.3*VL - 0.7*VS \leq 0; \dots\dots\dots \text{In 13}$$

$$[VLTERNEIRAS] \quad 0.5*VL - TF \leq 0; \dots\dots\dots \text{In 14}$$

$$[VLNOVILHAS] \quad 0.49*VL - N \leq 0; \dots\dots\dots \text{In 15}$$

$$[VLVD] \quad VD - 0.48*VL \leq 0; \dots\dots\dots \text{In 16}$$

$$[MORTALIDADE] \quad MORT=0.03; \dots\dots\dots \text{Eq 14}$$

Em que:

- 0,03 é a relação entra vacas secas e vacas em lactação;
- 0,7 é a relação entra vacas em lactação e vacas secas;
- 0,5 é a porcentagem em relação às vacas leiteiras e às terneiras;
- 0,49 é a porcentagem em relação às vacas leiteiras e às novilhas;

- 0,48 é a porcentagem em relação às vacas leiteiras e às vacas para descarte.

a-2) Potencial de rendimento das vacas:

Esta restrição faz com que o modelo busque uma solução através da qual a produção de leite seja superior a 12 litros por vaca *dia (como na simulação realizada os valores de produção foram sempre superiores a 12 não foi necessário usar esta restrição, ou seja, a variável leite se manteve livre).

! [POTVL] L - 12*360*VL <= 0; ! potencial de rendimento por vaca/dia.....In.17

Em que:

- 12 equivale ao rendimento mínimo de leite por vaca por dia;
- 360 representa os dias de um ano.

a-3) Teores de energia de cada forrageira

Em referência à produção leiteira e para manutenção do rebanho, verificou-se a necessidade de teores médios de ingestão de energia metabolizável, os quais são extraídas das rações e dos volumosos, conforme os teores apresentados na Tabela 10: Segundo Silva Neto e Oliveira (2007) tem-se, para energia metabolizável (Mcal/kg).

Tabela 10. Energia metabolizável presente em alimentos disponíveis ao rebanho leiteiro

Alimento	Energia Metabolizável (Mcal/kg)
Piquete de gramínea (ENPOT)	1.6
Tifton 85 (ENCE)	2
Sorgo Forrageiro (ENSOR)	2
Aveia (ENAV)	2
Silagem (ENSIL)	2.3
Cana de Açúcar (ENCANA)	2
Ração (ENR)	3

Fonte: SILVA NETO e OLIVEIRA, 2009

a-4) Teores de proteína de cada forrageira

Os teores médios de proteína bruta a ser disponibilizada ao rebanho, estão apresentados da Tabela 11 e são expressos em Mcal.kg⁻¹.

Tabela 11. Proteína bruta presente em alimentos disponíveis ao rebanho leiteiro

Alimento	Proteína Bruta (Mcal/kg)
Piquete (PROTPOT)	0,081
Tifton 85 (PROTCE)	0,15
Sorgo Forrageiro (PROTSOR)	0,167
Aveia (PROTAV)	0,16
Silagem (PROTSIL)	0,08
Cana-de-açúcar (PROTCANA)	0,03

Fonte: VALADARES FILHO, S.C., MACHADO, P.A.S., CHIZZOTTI, M.L. et al.(2012)

a-5) Peso médio de cada animal do rebanho existente na propriedade, em kg e coeficiente de ingestão de matéria seca

A massa média de cada animal está relacionada à ingestão de volumosos: PV=365 kg; PS=360 kg; PN=240 kg; PT=80 kg. Para a manutenção do rebanho faz-se necessário uma quantidade mínima de ingestão, que deve ser devidamente balanceada, conforme determinado por: [COEFINGMS] CIMS = 0.03 – representa a necessidade de ingestão de alimentos por dia por animal, em relação à sua massa.

a-6) Outros valores agregados ao rebanho

Esses dados se referem ao valor recebido pelo preço do leite; valor do quilograma de gado vivo na venda das vacas de descarte e custo de cada categoria de animal na propriedade, representados na Tabela 12, que foram elencados a partir das entrevistas.

Tabela 12. Valores financeiros agregados ao rebanho leiteiro

Produto	Unidade	Valor (R\$)
Leite Venda (PL)	L	0,99
Vaca Descarte (PVENDA VS)	kg	7
Vaca Leiteira (CVL)	ano	200
Vaca Seca (CVS)	Ano	120
Novilha (CN)	Ano	60
Terneira (CTF)	Ano	60
Ração (PRACAO)	kg	0,70

Esses valores serviram de base na melhor distribuição das atividades da UPA levando-se em consideração alguns fatores da cadeia produtiva do leite.

b) Superfície e mão-de-obra disponíveis

Outros fatores de grande importância ao se considerar a cadeia produtiva agrícola, são a SAU e a mão-de-obra disponíveis, fundamentais para a escolha das atividades desenvolvidas na UPA. A Tabela 13 traz tais valores.

Tabela 13. SAU e mão-de-obra disponíveis na UPA

Recurso	Unidade	Valor
Superfície de área útil verão (SAUV)	ha	9
Superfície de área útil inverno (SAUI)	ha	9
Mão-de-Obra	horas	460

c) Rendimento, qualidade das forragens (teores médios) e valores financeiros agregados

Rendimento em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ e $\text{custo}\cdot\text{ha}^{-1}$ em reais, de cada forrageira, do milho grão e da soja na propriedade em estudo, tal como o valor pago pelo agricultor ao quilograma de ração consumida pelos animais, energia elétrica e demais valores econômicos agregados à cadeia produtiva dessa UPA, foram imprescindíveis para a representatividade do modelo elaborado.

A dosagem dos dejetos líquidos de suínos e de bovinos e das camas de aves deve obedecer à reposição da exportação de nutrientes pela produção das culturas, conforme apresentados na Tabela 14.

Tabela 14. Necessidade das culturas por hectare cultivado em relação aos nutrientes N e P

Culturas Agrícolas	Necessidade das Culturas (kg/ha)
Nitrogênio Aveia (NECESAVN)	75
Fósforo Aveia (NECESAVP)	30
Nitrogênio Cana (NECESCANAN)	120
Fósforo Cana (NECESCANAP)	54,4
Nitrogênio Tifton 85 (NECESCEN)	400
Fósforo Tifton 85 (NECESCEP)	35
Nitrogênio Milho Verão (NECESMILHON1)	187
Nitrogênio Milho Inverno (NECESMILHON2)	150
Fósforo Milho Verão (NECESMILHOP1)	33,5
Fósforo Milho Inverno (NECESMILHOP2)	27
Nitrogênio Potreiro (NECESPOTN)	100
Fósforo Potreiro (NECESPOTP)	35
Nitrogênio Silagem Verão (NECESSILN1)	180
Nitrogênio Silagem Inverno (NECESSILN2)	150
Fósforo Silagem Verão (NECESSILP1)	21
Fósforo Silagem Inverno (NECESSILP2)	18
Nitrogênio Soja (NECESSOJAN)	0
Fósforo Soja (NECESSOJAP)	40
Nitrogênio Sorgo (NECESSORN)	214
Fósforo Sorgo (NECESSORP)	26

Na Tabela 15 se apresenta, de acordo com as entrevistas, o rendimento das culturas desenvolvidas na UPA analisada.

Tabela 15. Rendimento das culturas na UPA piloto

Culturas Agrícolas	Produção t.ha ⁻¹
RENDAV (Aveia)	27
RENDCANA (Cana-de-Açúcar)	21
RENDCE (Tifton 85)	54
RENDMILHO1 (Milho Verão)	8,75
RENDMILHO2 (milho Inverno)	7
RENDPOT (Potreiro)	2
RENDSOJA (Soja)	4
RENDSOR (Sorgo Forrageiro)	38
SILAG1 (Silagem de Verão)	19
SILAG2 (Silagem de Inverno)	16

Os custos agregados e os valores financeiros brutos por cultura agropecuária referentes a UPA piloto estão apresentados na Tabela 16 e foram levantados por meio de entrevistas.

Tabela 16. Valor monetário agregado às atividades desenvolvidas na UPA piloto

Culturas	Unidade	Valor Agregado (R\$)
Custo Milho (CMIL)	Hectare	1500
Venda Milho Verão (VMIL1)	Hectare	3500
Venda Milho Inverno VMIL2	Hectare	3000
Custo Silagem Verão (CSIL1)	Hectare	2371
Custo Silagem Inverno (CSIL2)	Hectare	2371
Custo Soja (CSOJA)	Hectare	1000
Venda Soja (VSOJA)	Hectare	4000
Custo Aveia (CAV)	Hectare	120
CUSTO Tifton 85 (CSCE)	Hectare	100
Custo Potreiro (CPOT)	Hectare	100
CUSTO DA CANA (CCANA)	Hectare	100
Custo Sorgo (CSOR)	Hectare	100
Venda Lote Suíno (VENDALOTESU)	Lote	9000
Venda Lote Ave (VENDAV)	Lote	11000
Venda Dejeito Aves (VESTRAV)	Tonelada	50,00
Custo de Nitrogênio e Fósforo	kg	1,20

5.4 Produção de dejetos dos animais e balanço de nutrientes nas culturas

Os resíduos produzidos pelos animais, embora tenham elevado potencial de contaminação, são ricos em nutrientes podendo ser aproveitados na unidade de produção evitando, desta forma, a contaminação do ambiente. Tem-se, a seguir, a produção total dos nutrientes N e P dos rejeitos da cadeia produtiva de proteína animal da UPA em função da dimensão dos rebanhos de suínos, de bovinos e das aves de corte; são apresentados, também, os principais valores agregados ao sistema produtivo das três categorias.

Em relação aos suínos, determinou-se que as equações e inequações:

$$\text{LOTESU} \leq 3 \dots\dots\dots \text{In.18}$$

$$\text{DEJS} = 8 \cdot 110 \cdot 495 \cdot \text{LOTESU} \dots\dots\dots \text{Eq.15}$$

$$\text{QNSST} = \text{NSST} \cdot \text{DEJSST} \dots\dots\dots \text{Eq.16}$$

$$\text{QNSBIO} = \text{NSBIO} \cdot \text{DEJSBIO} \dots\dots\dots \text{Eq.17}$$

$$\text{QNSLA} = \text{NSLA} \cdot \text{DEJSLA} \dots\dots\dots \text{Eq.18}$$

$$[\text{PSEMTRATS}] \text{QPSST} = \text{PSST} \cdot \text{DEJSST} \dots\dots \text{Eq.19}$$

$$[\text{PBIOSUI}] \text{QPSBIO} = \text{PSBIO} \cdot \text{DEJSBIO} \dots\dots \text{Eq.20}$$

$$[\text{PLAGOASUI}] \text{QPSLA} = \text{PSLA} \cdot \text{DEJSLA} \dots\dots \text{Eq.21}$$

$\text{DEJS} = \text{vol rejeito animal dia}^{-1} \cdot \text{período de engorda} \cdot \text{n}^\circ \text{ de suínos} \cdot \text{LOTESU}$

Para que o modelo determinasse o sistema de tratamento de efluentes mais adequado à suinocultura na UPA analisada, utilizaram-se as equações:

$$[\text{LIMDEJN}] \text{QNSST} + \text{QNSBIO} + \text{QNSLA} = \text{NSUINO} \dots\dots\dots \text{Eq. 22}$$

$$[\text{LIMDEJP}] \text{QPSST} + \text{QPSBIO} + \text{QPSLA} = \text{PSUINO}; [\text{DEJTOTAL}] \text{DEJSST} + \text{DEJSBIO} + \text{DEJSLA} = \text{DEJS} \dots\dots\dots \text{Eq.23}$$

$$[\text{MANEJO1}] \text{DEJSST} - 1.320.000 \cdot \text{SST} \leq 0 \dots\dots\dots \text{In.19}$$

$$[\text{MANEJO2}] \text{DEJSBIO} - 1.320.000 \cdot \text{SBIO} \leq 0 \dots\dots\dots \text{In.20}$$

$$[\text{MANEJO3}] \text{DEJSLA} - 1.320.000 \cdot \text{SLA} \leq 0 \dots\dots\dots \text{In.21}$$

$$[\text{ESCOLHADEJS}] \text{SST} + \text{SBIO} + \text{SLA} \leq 1 \dots\dots\dots \text{In.22}$$

1.320.000 - Volume máximo de rejeito ano⁻¹

No que tange às excretas da avicultura e bovinocultura de leite, foram desenvolvidas equações que levassem aos seus acúmulos para auxiliar na compilação do modelo matemático em questão, sendo que, para aves, foram definidas:

$$\text{VESTRAV} = (50 * \text{DEJAVV}) / 1000 \quad \text{Eq.24}$$

$$\text{VENDAVES} = 11000 * \text{LOTESAV} \quad \text{Eq.25}$$

$$[\text{LOTESA}] \text{LOTESAV} \leq 6 \quad \text{In.23}$$

$$[\text{QDEJTOSA}] \text{DEJAV} = 30000 * \text{LOTESAV} \quad \text{Eq.25}$$

$$\text{NAST} = 0.000521 \text{ (kg)} \quad \text{Eq.26}$$

$$\text{PAST} = 0.000347 \text{ (kg)} \quad \text{Eq.27}$$

$$[\text{NAVES1}] \text{QNAST} = \text{NAST} * \text{DEJAVUSO} \quad \text{Eq.28}$$

$$[\text{PAVES1}] \text{QPAST} = \text{PAST} * \text{DEJAVUSO} \quad \text{Eq.29}$$

$$[\text{DEJAVES}] \text{DEJAV} = \text{DEJAVV} + \text{DEJAVUSO} \quad \text{Eq.30}$$

$$[\text{NGADO}] \text{QNVST} = \text{NVST} * \text{DEJVT} \quad \text{Eq.31}$$

$$\text{NVST} = 0.000843 \text{ (kg)} \quad \text{Eq.32}$$

$$[\text{PGADO}] \text{QPVST} = \text{PVST} * \text{DEJVT} \quad \text{Eq.33}$$

$$\text{PVST} = 0.000466 \text{ (kg)} \quad \text{Eq.34}$$

$$[\text{DEJGADO}] \text{DEJVT} = 365 * (\text{DEJVL} * \text{VL} + \text{DEJVS} * \text{VS}) \quad \text{Eq.35}$$

$$[\text{DEJVACAL}] \text{DEJVL} = 40 \text{ (L)} \quad \text{Eq.36}$$

$$[\text{DEJVACAS}] \text{DEJVS} = 25 \text{ (L)} \quad \text{Eq.37}$$

$$[\text{DEJNOV}] \text{DEJN} = 19 \text{ (L)} \quad \text{Eq.38}$$

$$[\text{DEJTERNEIRA}] \text{DEJTF} = 9 \text{ (L)} \quad \text{Eq.39}$$

Desenvolveu-se um sistema de inequações no modelo, para determinar a quantidade máxima de N e P que pode ser gerada pelos efluentes e utilizada nas culturas soja, milho e

pastagens, de modo a não ter excedente de resíduos e assim atender às exigências ambientais de disposição de efluentes na unidade de produção:

$$[\text{NOTROGENIMAXT}] \text{NSUINO} + \text{QNAST} + \text{QNVST} = \text{NMAX} \dots \text{Eq.40}$$

$$[\text{FOSFOROMAX}] \text{PSUINO} + \text{QPAST} + \text{QPVST} = \text{PMAX} \dots \text{Eq.41}$$

$$[\text{PLANTIUVERAOP}] \text{NECESSOJAP} * \text{SOJA} + \text{NECESMILHOP1} * \text{MILHO1} + \text{NECESCEP} * \text{CE} + \text{NECESPOTP} * \text{POT} + \text{NECESSORP} * \text{SOR} + \text{NECESSILP1} * \text{SIL1} + \text{NECESCANAP} * \text{CANA} + \text{NECESMILHOP2} * \text{MILHO2} + \text{NECESSILP2} * \text{SIL2} + \text{NECESAVP} * \text{AV} \geq \text{PMAX} \dots \text{In.24}$$

$$[\text{PLANTIUVERAON}] \text{NECESSOJAN} * \text{SOJA} + \text{NECESMILHON1} * \text{MILHO1} + \text{NECESCEN} * \text{CE} + \text{NECESPOTN} * \text{POT} + \text{NECESSORN} * \text{SOR} + \text{NECESSILN1} * \text{SIL1} + \text{NECESCANAN} * \text{CANA} + \text{NECESMILHON2} * \text{MILHO2} + \text{NECESSILN2} * \text{SIL2} + \text{NECESAVN} * \text{AV} \geq \text{NMAX} \dots \text{In.25}$$

Para determinar as quantidades necessárias de N e P das culturas se criaram as equações:

$$\text{NECESSOJAP} * \text{SOJA} + \text{NECESMILHOP1} * \text{MILHO1} + \text{NECESCEP} * \text{CE} + \text{NECESPOTP} * \text{POT} + \text{NECESSORP} * \text{SOR} + \text{NECESSILP1} * \text{SIL1} + \text{NECESCANAP} * \text{CANA} + \text{NECESMILHOP2} * \text{MILHO2} + \text{NECESSILP2} * \text{SIL2} + \text{NECESAVP} * \text{AV} = \text{FOSFORO} \dots \text{Eq.42}$$

$$\text{NECESSOJAN} * \text{SOJA} + \text{NECESMILHON1} * \text{MILHO1} + \text{NECESCEN} * \text{CE} + \text{NECESPOTN} * \text{POT} + \text{NECESSORN} * \text{SOR} + \text{NECESSILN1} * \text{SIL1} + \text{NECESCANAN} * \text{CANA} + \text{NECESMILHON2} * \text{MILHO2} + \text{NECESSILN2} * \text{SIL2} + \text{NECESAVN} * \text{AV} = \text{NITRO} \dots \text{Eq.43}$$

Em relação ao balanço dos nutrientes na UPA, desenvolveram-se as equações que visaram medir as prováveis diferenças entre os nutrientes gerados na propriedade e os absorvidos por ela. Elaborou-se um sistema de equações que permitiu determinar os custos para compra de adubo químico e compensar as possíveis faltas no adubo orgânico geradas por esse sistema, como segue:

$$\text{NITRO} - \text{NMAX} = \text{NCOMPRA} \dots\dots\dots \text{Eq.44}$$

$$\text{FOSFORO} - \text{PMAX} = \text{PCOMPRA} \dots\dots\dots \text{Eq.45}$$

$$\text{FOSFOCOMPRA} = 1.2 * \text{PCOMPRA} \dots\dots\dots \text{Eq.46}$$

$$\text{NITROCOMPRA} = 1.2 * \text{NCOMPRA} \dots\dots\dots \text{Eq.47}$$

$$\text{ADUBOCOMPRA} = \text{NITROCOMPRA} + \text{FOSFOCOMPRA} \dots\dots \text{Eq.48}$$

$$\text{BALANCOADUBO} = \text{VESTRAV} - \text{ADUBOCOMPRA} \dots\dots\dots \text{Eq.49}$$

5.5 Restrições

Todo sistema de produção tem - em dado momento no tempo - pelo menos uma restrição que limita a performance do sistema em relação aos seus objetivos (SANDMANN e BARROS, 2010). Essas restrições podem ser classificadas como internas e externas ou, ainda, de mercado. Para gerir a performance do sistema a restrição deve ser identificada e administrada corretamente. São apresentadas, a seguir, as restrições relacionadas ao modelo elaborado.

5.5.1 Superfície

A superfície agrícola considerada útil é de 9 ha tanto para o verão como para o inverno. Na região oeste do Estado do Paraná os cultivos de verão podem ser iniciados a partir de setembro e os cultivos de inverno, em março. Essas culturas possibilitam a sobreposição na oferta de pastagens entre essas estações. No modelo esta sobreposição não acontece, exceto para o cultivo de tifton85 e aveia e o somatório das superfícies agrícolas utilizadas pelo agricultor deve ser menor ou igual à área disponível total, divididas em superfície agrícola útil no verão com as atividades: milho, soja, tifton 85, enquanto no inverno atividade se resume em: aveia + azevém (consorciados), milho safrinha, milho para silagem. Salienta-se que o agricultor mantém alguns cultivos permanentes em sua propriedade, tais como: sorgo forrageiro, cana-de-açúcar, potreiro e subsistência.

As equações e inequações necessárias para representar as restrições de SAU, são:

[SAUQ] SOJA+ MILHO1+POT+CE+SOR+SIL1+CANA<=SAUV	In.26
[SAUF] MILHO2 +SOR+ SIL2+ POT+AV+CANA<=SAUI	In.27
[TOTALV] SAUV = 9 (ha)	Eq.50
[SAUTOTALI] SAUI = 9 (ha)	Eq.51

5.5.2 Alimentação dos Bovinos de Leite

Tal restrição permite o balanço energético, a proporção de concentrado e outros, compreendendo a quantidade e a qualidade do alimento. Tem-se um conjunto que assegura a quantidade de elementos indispensáveis na alimentação dos animais, mensalmente, para as Vacas em Lactação (VL) e rebanho não produtivo (REB), respeitando a capacidade de ingestão dos animais.

As restrições de alimentação se dividem em:

(a) Necessidade de energia:

I. Vacas em Lactação (VL):

A soma da necessidade de energia para a produção do leite com a necessidade de manutenção das vacas em lactação deve ser menor ou igual à do rendimento de energia disponível nas pastagens mais a energia disponível na ração, para cada mês. A seguir se apresenta o conjunto de restrição:

$$\begin{aligned}
 &[\text{ENERGIAVLJAN}] \quad 1.15 * \text{LJAN} + \text{ENVL} * \text{VL} - \text{ENPOT} * \text{POTJANVL} * \\
 &\text{RENDPOTJAN} - \text{ENSIL} * \text{SILJANVL} * \text{SILAG} - \text{ENCE} * \text{CEJANVL} * \\
 &\text{RENDCEJAN} - \text{ENSOR} * \text{SORJANVL} * \text{RENDSORJAN} - \text{ENR} * \text{RJANVL} - \\
 &\text{ENCANA} * \text{CANAJANVL} * \text{RENDCANA} - \text{ENAV} * \text{AVJANVL} * \text{RENDAVJAN} \\
 &<=0 \dots\dots\dots \text{In.28}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \cdot \cdot \cdot \\
 & [\text{ENERGIAVLDEZEM}]1.15 * \text{LDEZ} + \text{ENVL} * \text{VL} - \text{ENPOT} * \text{POTDEZVL} * \\
 & \text{RENDPOTDEZ} - \text{ENSIL} * \text{SILDEZVL} * \text{SILAG} - \text{ENCE} * \text{CEDEZVL} * \\
 & \text{RENDCEDEZ} - \text{ENSOR} * \text{SORDEZVL} * \text{RENDSORDEZ} - \text{ENR} * \text{RDEZVL} - \\
 & \text{ENCANA} * \text{CANADEZVL} * \text{RENDCANA} - \text{ENAV} * \text{AVDEZVL} * \text{RENDAVDEZ} \quad \text{In.39} \\
 & \leq 0 \dots\dots\dots
 \end{aligned}$$

Energia metabolizável L leite⁻¹ = 1.15 Mcal.

II. Animais não produtivos (REB):

A soma da necessidade de energia para a manutenção das Vacas Secas, Novilhas e Terneiras, deve ser menor ou igual à do rendimento de energia disponível nas pastagens mais a energia disponível na ração, para cada animal nos 12 meses do ano. Segue-se a restrição referente às vacas secas, novilhas e terneiras, no mês de janeiro.

II.1. Energia vaca seca:

$$\begin{aligned}
 & \cdot \cdot \cdot \\
 & [\text{ENERGIAVSJAN}] \text{ENVS} * \text{VS} - \text{ENPOT} * \text{POTJANVS} * \text{RENDPOTJAN} - \\
 & \text{ENSIL} * \text{SILJANVS} * \text{SILAG} - \text{ENCE} * \text{CEJANVS} * \text{RENDCEJAN} - \text{ENSOR} * \\
 & \text{SORJANVS} * \text{RENDSORJAN} - \text{ENR} * \text{RJANVS} - \text{ENCANA} * \text{CANAJANVS} * \\
 & \text{RENDCANA} - \text{ENAV} * \text{AVJANVS} * \text{RENDAVJAN} \leq 0 \dots\dots\dots \quad \text{In.40}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \cdot \cdot \cdot \\
 & [\text{ENERGIAVSDEZ}] \text{ENVS} * \text{VS} - \text{ENPOT} * \text{POTDEZVS} * \text{RENDPOTDEZ} - \\
 & \text{ENSIL} * \text{SILDEZVS} * \text{SILAG} - \text{ENCE} * \text{CEDEZVS} * \text{RENDCEDEZ} - \text{ENSOR} * \\
 & \text{SORDEZVS} * \text{RENDSORDEZ} - \text{ENR} * \text{RDEZVS} - \text{ENCANA} * \text{CANADEZVS} * \\
 & \text{RENDCANA} - \text{ENAV} * \text{AVDEZVS} * \text{RENDAVDEZ} \leq 0 \dots\dots\dots \quad \text{In.51}
 \end{aligned}$$

II.2. Energia novilha

[ENERGIANJAN] NN * N – ENPOT * POTJANN * RENDPOTJAN – ENSIL *
 SILJANN * SILAG – ENCE * CEJANN * RENDCEJAN – ENSOR * SORJANN *
 RENDSORJAN – ENR * RJANN – ENCANA * CANAJANN * RENDCANA –
 ENAV * AVJANN * RENDAVJAN <=0..... In.52

.

.

.

[ENERGIANDEZ] ENN * N – ENPOT * POTDEZN * RENDPOTDEZ – ENSIL *
 SILDEZN * SILAG – ENCE * CEDEZN * RENDCEDEZ – ENSOR * SORDEZN *
 RENDSORDEZ – ENR * RDEZN – ENCANA * CANADEZN * RENDCANA –
 ENAV * AVDEZN * RENDAVDEZ <=0..... In.63

II.3. Energia Terneira

[ENERGIATFJAN] ENT * TF – ENPOT * POTJANTF * RENDPOTJAN – ENSIL
 * SILJANTF * SILAG – ENCE * CEJANTF * RENDCEJAN – ENSOR *
 SORJANTF * RENDSORJAN – ENR * RJANTF – ENCANA * CANAJANTF *
 RENDCANA – ENAV * AVJANTF * RENDAVJAN <=0..... In.64

.

.

.

[ENERGIATFDEZ] ENTF * TF – ENPOT * POTDEZTF * RENDPOTDEZ –
 ENSIL * SILDEZTF * SILAG – ENCE * CEDEZTF * RENDCEDEZ – ENSOR *
 SORDEZTF * RENDSORDEZ – ENR * RDEZTF – ENCANA * CANADEZTF *
 RENDCANA – ENAV * AVDEZTF * RENDAVDEZ <=0..... In.74

(b) Proteína bruta:**I) Vacas em lactação:**

A soma da necessidade de proteína bruta para a produção do leite (necessidade de proteína bruta para a manutenção das vacas em lactação) deve ser menor ou igual ao rendimento da proteína bruta disponível nas pastagens mais a proteína bruta disponível na ração, para cada mês do ano. Segue-se a restrição relativa ao mês de janeiro.

I.1. Proteína VL

$$\begin{aligned}
 &[\text{PROTEINAVLJAN}] 0.084 * \text{LJAN} + \text{PROTVL} * \text{VL} - \text{ROTPOT} * \text{POTJANVL} * \\
 &\text{RENDPOTJAN} - \text{PROTSIL} * \text{SILJANVL} * \text{SILAG} - \text{PROTCE} * \text{CEJANVL} * \\
 &\text{RENDCEJA} \text{ PROTSOR} * \text{SORJANVL} * \text{RENDSORJAN} - \text{PROTR} * \text{RJANVL} - \\
 &\text{PROTCANA} * \text{CANAJANVL} * \text{RENDCANA} - \text{PROTAV} * \text{AVJANVL} * \\
 &\text{RENDAVJAN} \leq 0 \dots\dots\dots \text{In.75}
 \end{aligned}$$

.

$$\begin{aligned}
 &[\text{PROTEINAVLDEZEM}] 0.084 * \text{LDEZ} + \text{PROTVL} * \text{VL} - \text{PROTPOT} * \\
 &\text{POTDEZVL} * \text{RENDPOTDEZ} - \text{PROTSIL} * \text{SILDEZVL} * \text{SILAG} - \text{PROTCE} * \\
 &\text{CEDEZVL} * \text{RENDCEDEZ} - \text{PROTSOR} * \text{SORDEZVL} * \text{RENDSORDEZ} - \\
 &\text{PROTR} * \text{RDEZVL} - \text{PROTCANA} * \text{CANADEZVL} * \text{RENDCANA} - \text{PROTAV} * \\
 &\text{AVDEZVL} * \text{RENDAVDEZ} \leq 0 \dots\dots\dots \text{In.87}
 \end{aligned}$$

Proteína Bruta L leite⁻¹ = 0,084 Mcal.

II) Animais não produtivos:

A soma da necessidade de proteína bruta para a manutenção das vacas secas, novilhas e terneiras, deve ser menor ou igual ao rendimento da proteína bruta disponível nas pastagens; mais a proteína bruta disponível na ração, para cada mês do ano. As restrições referentes aos doze meses do ano para vaca seca, terneira e novilha são apresentadas a seguir:

II.1. Proteína VS

[PROTEINAVSJAN] PROTVS * VS - PROTPOT * POTJANVS * RENDPOTJAN -
 PROTSIL * SILJANVS * SILAG - PROTCE * CEJANVS * RENDCEJAN -
 PROTSOR * SORJANVS * RENDSORJAN - PROTR * RJANVS - PROTCANA *
 CANAJANVS * RENDCANA - PROTAV * AVJANVS * RENDAVJAN<=0..... In.88

.
 .
 .

[PROTEINAVSDEZEM] PROTVS * VS - PROTPOT * POTDEZVS *
 RENDPOTDEZ - PROTSIL * SILDEZVS * SILAG - PROTCE * CEDEZVS *
 RENDCEDEZ - PROTSOR * SORDEZVS * RENDSORDEZ - PROTR * RDEZVS
 - PROTCANA * CANADEZVS * RENDCANA - PROTAV * AVDEZVS *
 RENDAVDEZ<=0..... In.100

II.2. Proteína Novilha

[PROTEINANJAN] PROTN * N - PROTPOT * POTJANN * RENDPOTJAN -
 PROTSIL * SILJANN * SILAG - PROTCE * CEJANN * RENDCEJAN -
 PROTSOR * SORJANN * RENDSORJAN - PROTR * RJANN - PROTCANA *
 CANAJANN * RENDCANA - PROTAV * AVJANN * RENDAVJAN <=0..... In.101

.
 .
 .

[PROTEINANDEZEM] PROTN * N - PROTPOT * POTDEZN * RENDPOTDEZ -
 PROTSIL * SILDEZN * SILAG - PROTCE * CEDEZN * RENDCEDEZ -
 PROTSOR * SORDEZN * RENDSORDEZ - PROTR * RDEZN - PROTCANA *
 CANADEZN * RENDCANA - PROTAV * AVDEZN * In.113
 RENDAVDEZ<=0.....

II.3. Proteína Terneira

[PROTEINATFJAN] PROTTF * TF – PROTPOT * POTJANTF * RENDPOTJAN –
 PROTSIL * SILJANTF * SILAG – PROTCE * CEJANTF * RENDCEJAN –
 PROTSOR * SORJANTF * RENDSORJAN – PROTR * RJANTF – PROTCANA *
 CANAJANTF * RENDCANA – PROTAV * AVJANTF * RENDAVJAN <=0..... In.114

.

 [PROTEINATFDEZEM] PROTTF * TF – PROTPOT * POTDEZTF *
 RENDPOTDEZ – PROTSIL * SILDEZTF * SILAG – PROTCE * CEDEZTF *
 RENDCEDEZ - PROTSOR * SORDEZTF * RENDSORDEZ - PROTR * RDEZTF -
 PROTCANA * CANADEZTF * RENDCANA - PROTAV * AVDEZTF *
 RENDAVDEZ<=0..... In.126

c) Capacidade de ingestão de matéria seca:

Conjunto que garante a capacidade de ingestão de matéria seca mínima para cada animal a fim de que sejam respeitadas as fases de lactação e não lactação. Segundo SILVA NETO & OLIVEIRA (2007), esta capacidade deve ser de 3 % do peso vivo do animal.

I) Vacas em lactação:

Na soma dos alimentos utilizados para a alimentação das vacas produtivas considerou-se que esta deve ser maior ou igual a 3% do peso da vaca em Segue o conjunto de inequações referente lactação multiplicado por 30 dias, para cada mês do ano. ao período anual.

I.1. Ingestão Vaca Leiteira;

[INGESTAOVLJANEI] 0.03 * 30 * PV * VL – POTJANVL * RENDPOTJAN –
 SILJANVL * SILAG – CEJANVL * RENDCEJAN – SORJANVL *
 RENDSORJAN – RJANVL – CANAJANVL * RENDCANA – AVJANVL *
 RENDAVJAN >=0..... In.127

.

.

.

[INGESTAOVLDEZ] 0.03 * 30 * PV * VL - POTDEZVL * RENDPOTDEZ -
 SILDEZVL * SILAG - CEDEZVL * RENDCEDEZ - SORDEZVL *
 RENDSORDEZ - RDEZVL - CANADEZVL * RENDCANA - AVDEZVL *
 RENDAVDEZ>=0 In.139

II) Animais não produtivos:

Da mesma forma, a soma dos alimentos utilizados para a alimentação dos animais deve ser maior ou igual a 3% do peso da vaca seca, novilhas e terneiras, multiplicado por 30 dias, para cada mês do ano. O conjunto de inequações referente a esta restrição segue abaixo:

II.1. Ingestão Vaca Seca

[INGESTAOVSJAN] 0.03 * 30 * PV * VS – POTJANVS * RENDPOTJAN –
 SILJANVS * SILAG – CEJANVS * RENDCEJAN – SORJANVS * RENDSORJAN
 - RJANVS – CANAJANVS * RENDCANA – AVJANVS * RENDAVJAN >=0..... In.140

.

.

.

[INGESTAOVSDEZ] 0.03 * 30 * PV * VS - POTDEZVS * RENDPOTDEZ -

SILDEZVS * SILAG - CEDEZVS * RENDCEDEZ - SORDEZVS *
 RENDSORDEZ - RDEZVS - CANADEZVS * RENDCANA - AVDEZVS *
 RENDAVDEZ >= 0..... In.152

II.2. Ingestão Novilha

[INGESTAONJAN] 0.03 * 30 * PN * N - POTJANN * RENDPOTJAN - SILJANN
 * SILAG - CEJANN * RENDCEJAN - SORJANN * RENDSORJAN - RJANN -
 CANAJANN * RENDCANA - AVJANN * RENDAVJAN >= 0..... In.153

.

.

.

[INGESTAONDEZ] 0.03 * 30 * PV * N - POTDEZN * RENDPOTDEZ - SILDEZN
 * SILAG - CEDEZN * RENDCEDEZ - SORDEZN * RENDSORDEZ - RDEZN -
 CANADEZN * RENDCANA - AVDEZN * RENDAVDEZ >= 0..... In.165

II.3. Ingestão Terneira

[INGESTAOTFJAN] 0.03 * 30 * PT * TF - POTJANTF * RENDPOTJAN -
 SILJANTF * SILAG - CEJANTF * RENDCEJAN - SORJANTF * RENDSORJAN
 - RJANTF - CANAJANTF * RENDCANA - AVJANTF * RENDAVJAN >= 0..... In.166

.

.

.

[INGESTAOTFDEZ] 0.03 * 30 * PV * TF - POTDEZTF * RENDPOTDEZ -
 SILDEZTF * SILAG - CEDEZTF * RENDCEDEZ - SORDEZTF * RENDSORDEZ
 - RDEZTF - CANADEZTF * RENDCANA - AVDEZTF * RENDAVDEZ >= 0..... In.178

d) Ingestão de volumosos:

Considerou-se que pelo menos a metade da capacidade de ingestão do rebanho bovino deve ser de alimentos volumosos. As inequações que tratam desta restrição são apresentadas abaixo:

I) Vacas em Lactação:

O somatório dos alimentos volumosos – pastagens- utilizados para a alimentação das vacas produtivas, deve ser menor ou igual à metade da capacidade de ingestão da vaca em lactação para cada mês do ano. Como apresentado nas inequações de 179 a 191:

I.1 Volumosos Vaca Leiteira

[VOLUMOSOSVLJAN] MVVL * 0.03 * 30 * PV * VL – POTJANVL *
 RENDPOTJAN – SILJANVL * SILAG – CEJANVL * RENDCEJAN – In.179
 SORJANVL * RENDSORJAN – CANAJANVL * RENDCANA – AVJANVL *
 RENDAVJAN <=0.....

.
 .
 .

[VOLUMOSOSVLDEZ] MVVL * 0.03 * 30 * PV * VL - POTDEZVL *
 RENDPOTDEZ - SILDEZVL * SILAG - CEDEZVL * RENDCEDEZ - In.191
 SORDEZVL * RENDSORDEZ - CANADEZVL * RENDCANA - AVDEZVL *
 RENDAVDEZ<=0.....

II) Animais não produtivos:

O somatório de alimentos utilizados para alimentação dos animais não produtivos do rebanho de leite deve, em relação aos volumosos, ser maior ou igual à metade da capacidade de ingestão da Vaca Seca, Terneiros e Novilhas em cada mês do ano, inequações de 192 a 230:

II.1. Volumosos Vaca Seca

[VOLUMOSOSVSJAN] MVVS * 0.03 * 30 * PV * VS – POTJANVS *
 RENDPOTJAN – SILJANVS * SILAG – CEJANVS * RENDCEJAN – SORJANVS
 * RENDSORJAN – CANAJANVS * RENDCANA – AVJANVS * RENDAVJAN
 <=0..... In.192

.
 .
 .

[VOLUMOSOSVSDEZ] MVVS * 0.03 * 30 * PV * VS - POTDEZVS *
 RENDPOTDEZ - SILDEZVS * SILAG - CEDEZVS * RENDCEDEZ - SORDEZVS
 * RENDSORDEZ - CANADEZVS * RENDCANA - AVDEZVS *
 RENDAVDEZ<=0..... In.204

II.2. Volumosos Novilha

[VOLUMOSOSNJAN] MVN * 0.03 * 30 * PN * N – POTJANN * RENDPOTJAN –
 SILJANN * SILAG – CEJANN * RENDCEJAN – SORJANN * RENDSORJAN –
 CANAJANN * RENDCANA – AVJANN * RENDAVJAN <=0..... In.205

.
 .
 .

[VOLUMOSOSNDEZ] MVN * 0.03 * 30 * PV * N - POTDEZN * RENDPOTDEZ -
 SILDEZN * SILAG - CEDEZN * RENDCEDEZ - SORDEZN * RENDSORDEZ -
 CANADEZN * RENDCANA - AVDEZN * RENDAVDEZ<=0..... In.217

II.3. Volumosos Terneira

[VOLUMOSOSTFJAN] MVTF * 0.03 * 30 * PT * TF – POTJANTF *
 RENDPOTJAN – SILJANTF * SILAG – CEJANTF * RENDCEJAN – SORJANTF
 * RENDSORJAN – CANAJANTF * RENDCANA – AVJANTF * RENDAVJAN
 <=0..... In.218

.

.

.

[VOLUMOSOSTFDEZ] MVTF * 0.03 * 30 * PV * TF - POTDEZTF *
 RENDPOTDEZ - SILDEZTF * SILAG - CEDEZTF * RENDCEDEZ - SORDEZTF
 * RENDSORDEZ - CANADEZTF * RENDCANA - AVDEZTF * In.230
 RENDAVDEZ<=0.....

5.5.3 Mão-de-Obra

O somatório do número de horas mês necessárias para o desenvolvimento de cada atividade deve ser menor ou igual ao número de Unidades de trabalho (230 horas mês) existente na unidade de produção que corresponde, na UPA, a duas pessoas adultas (460 horas mês). Da mesma forma, pode-se estabelecer as atividades numa ordem mensal de trabalho; em cada mês foi fixado o tempo para cada atividade considerada; por exemplo, em setembro ocorre o plantio do milho silagem e no mês de janeiro é feito o corte e quando a mão-de-obra existente na propriedade não é o suficiente há necessidade da contratação de mais mão-de-obra para auxiliar no desenvolvimento do trabalho, o que não ocorre em todos os meses; também é calculado um tempo para isto e levado em conta o número de pessoas envolvidas no processo, ou seja, o número de horas utilizadas para todas as atividades daquele mês considerado não pode ultrapassar a carga horária já limitada por duas pessoas. As restrição 231 a 243 representam o período anual:

$$\begin{aligned}
 &[\text{WJANEIRO}] \ 16 * \text{VL} + 6 * \text{SIL1} + \text{HA} * (\text{CANAJANVL} + \text{CANAJANVS} + \\
 &\text{CANAJANN} + \text{CANAJANTF}) + \text{HAE} * (\text{CEJANVL} + \text{CEJANVS} + \text{CEJANN} + \\
 &\text{CEJANTF}) + \text{HSOR} * (\text{SORJANVL} + \text{SORJANVS} + \text{SORJANN} + \text{SORJANTF}) + \\
 &\text{HSUINO} * \text{LOTESU} \leq \text{WF} \dots\dots\dots \text{In.231}
 \end{aligned}$$

. . .

$$\begin{aligned}
 &[\text{WDEZEMBRO}] \ 16 * \text{VL} + \text{HC} * (\text{CANADEZVL} + \text{CANADEZVS} + \\
 &\text{CANADEZN} + \text{CANADEZTF}) + \text{HCE} * (\text{CEDEZVL} + \text{CEDEZVS} + \text{CEDEZN} + \\
 &\text{CEDEZTF}) + \text{HSOR} * (\text{SORDEZVL} + \text{SORDEZVS} + \text{SORDEZN} + \text{SORDEZTF}) + \\
 &\text{HSUINO} * \text{LOTESU} \leq \text{WF} \dots\dots\dots \text{In.243}
 \end{aligned}$$

5.5.4 Restrições para validação do modelo

No modelo em questão foram fixadas algumas restrições que envolvem as variáveis independentes e dependentes, as quais refletiram a situação atual do sistema de produção modelado, isto é, fixaram-se 6 vacas leiteiras (VL=6) e 3 lotes de suínos (LOTESU=3).

5.6 Equações e inequações de Ligações

I - Ligação de Leite Mensal e Anual:

Esta equação gera o montante de leite produzido anualmente a partir da quantidade determinada em cada um dos doze meses do ano:

I.1 Leite

$$\begin{aligned}
 &[\text{LEITE}] \ \text{L} = \text{LJAN} + \text{LFEV} + \text{LMAR} + \text{LABR} + \text{LMAI} + \text{LJUN} + \text{LJUL} + \text{LAGO} \\
 &+ \text{LSET} + \text{LOUT} + \text{LNOV} + \text{LDEZ} \dots\dots\dots \text{Eq.52}
 \end{aligned}$$

II - Ligação de Alimentos de Distribuição Livre

São alimentos que podem ser distribuídos aos animais durante todos os meses do ano, de acordo com suas necessidades, ou seja, alimentos que são levados ao animal e que podem ser armazenados durante o ano.

(a) Ligação da ração mensal e anual

Esta ligação faz com que a quantidade de ração consumida em cada mês do ano pelas vacas em lactação e pelo rebanho (vacas secas, novilhas e terneiros), forme a quantidade de ração consumida anualmente.

a.1 Ração

Essas equações geram, anualmente, o total de ração consumida por categoria do rebanho bovino a partir da quantidade determinada em cada um dos doze meses do ano:

$$\begin{aligned} \text{Vaca Leiteira} \quad & [\text{RCVL}] \text{ RJANVL} + \text{RFEVVL} + \text{RMARVL} + \text{RABRVL} + \\ & \text{RMAIVL} + \text{RJUNVL} + \text{RJULVL} + \text{RAGOVL} + \text{RSETVL} + \\ & \text{ROUTVL} + \text{RNOVVL} + \text{RDEZVL} = \text{RVL} \dots\dots\dots \end{aligned} \quad \text{Eq. 53}$$

$$\begin{aligned} \text{Vaca Seca} \quad & [\text{RCVS}] \text{ RJANVS} + \text{RFEVVS} + \text{RMARVS} + \text{RABRVS} + \\ & \text{RMAIVS} + \text{RJUNVS} + \text{RJULVS} + \text{RAGOVVS} + \text{RSETVS} + \\ & \text{ROUTVS} + \text{RNOVVS} + \text{RDEZVS} = \text{RVS} \dots\dots\dots \end{aligned} \quad \text{Eq.54}$$

$$\begin{aligned} \text{Novilha} \quad & [\text{RCN}] \text{ RJANN} + \text{RFEVN} + \text{RMARN} + \text{RABRN} + \text{RMAIN} + \\ & \text{RJUNN} + \text{RJULN} + \text{RAGON} + \text{RSETN} + \text{ROUTN} + \text{RNOVN} + \\ & \text{RDEZN} = \text{RN} \dots\dots\dots \end{aligned} \quad \text{Eq.55}$$

$$\begin{aligned} \text{Terneira} \quad & \text{RJANTF} + \text{RFEVTF} + \text{RMARTF} + \text{RABRTF} + \text{RMAITF} + \text{RJUNTF} + \text{RJ} \\ & \text{ULTF} + \text{RAGOTF} + \text{RSETTF} + \text{ROUTTF} + \text{RNOVTF} + \text{RDEZTF} = \text{RTF} \dots\dots\dots \end{aligned} \quad \text{Eq.56}$$

$$\text{Ração Total} \quad [\text{RACAOT}] \text{ RVL} + \text{RVS} + \text{RN} + \text{RTF} = \text{R} \dots\dots\dots \quad \text{Eq.57}$$

(b) Ligação da silagem mensal e anual:

Esta ligação faz com que a quantidade de silagem consumida em cada mês pelas vacas em lactação e pelo rebanho, constitua a quantidade anual de silagem consumida.

b.1. Silagem

Estas equações geram, anualmente, o total de silagem consumida por categoria rebanho bovino a partir da quantidade determinada em cada um dos doze meses do ano e por categoria:

$$\begin{aligned} \text{Vaca Leiteira} \quad & [\text{SILAGEMVL}] \text{ SILJANVL} + \text{SILFEVVL} + \text{SILMARVL} + \\ & \text{SILABRVL} + \text{SILMAIVL} + \text{SILJUNVL} + \text{SILJULVL} + \\ & \text{SILAGOVL} + \text{SILSETVL} + \text{SILOUTVL} + \text{SILNOVVL} + \\ & \text{SILDEZVL} = \text{SILVL} \dots\dots\dots \end{aligned} \quad \text{Eq. 58}$$

$$\begin{aligned} \text{Vaca Seca} \quad & [\text{SILAGEMVS}] \text{ SILJANVS} + \text{SILFEVVS} + \text{SILMARVS} + \\ & \text{SILABRVS} + \text{SILMAIVS} + \text{SILJUNVS} + \text{SILJULVS} + \\ & \text{SILAGOVVS} + \text{SILSETVS} + \text{SILOUTVS} + \text{SILNOVVS} + \\ & \text{SILDEZVS} = \text{SILVS} \dots\dots\dots \end{aligned} \quad \text{Eq.59}$$

$$\begin{aligned} \text{Novilha} \quad & [\text{SILAGEMN}] \text{ SILJANN} + \text{SILFEVN} + \text{SILMARN} + \text{SILABRN} + \\ & \text{SILMAIN} + \text{SILJUNN} + \text{SILJULN} + \text{SILAGON} + \text{SILSETN} + \\ & \text{SILOUTN} + \text{SILNOVN} + \text{SILDEZN} = \text{SILN} \dots\dots\dots \end{aligned} \quad \text{Eq.60}$$

$$\begin{aligned} \text{Terneira} \quad & [\text{SILAGEMTF}] \text{ SILJANTF} + \text{SILFEVTF} + \text{SILMARTF} + \\ & \text{SILABRTF} + \text{SILMAITF} + \text{SILJUNTF} + \text{SILJULTF} + \\ & \text{SILAGOTF} + \text{SILSETTF} + \text{SILOUTTF} + \text{SILNOVTF} + \\ & \text{SILDEZTF} = \text{SILTF} \dots\dots\dots \end{aligned} \quad \text{Eq.61}$$

$$\text{Silagem Total} \quad [\text{SILGAEMTOTAL}] \text{ SILVL} + \text{SILVS} + \text{SILN} + \text{SILTF} = \text{SIL} \dots\dots\dots \quad \text{Eq.62}$$

(c) Ligação de cana-de-açúcar mensal e anual:

Nesta ligação a quantidade consumida de cana-de-açúcar em cada mês pelas vacas em lactação e o rebanho, determina a quantidade anual desta pastagem.

c.1. Cana-de-açúcar

Estas equações geram, anualmente, o total de cana-de-açúcar consumida por categoria rebanho bovino a partir da quantidade determinada em cada um dos doze meses do ano:

$$\begin{aligned} \text{Vaca Leiteira} \quad & [\text{CANVL}] \text{ CANAJANVL} + \text{CANAFEVVL} + \text{CANAMARVL} + \\ & \text{CANAABRVL} + \text{CANAMAIVL} + \text{CANAJUNVL} + \\ & \text{CANAJULVL} + \text{CANAAGOVL} + \text{CANASETVL} + \\ & \text{CANAOUTVL} + \text{CANANOVVL} + \text{CANADEZVL} = \text{CANAVL} \dots \end{aligned} \quad \text{Eq. 63}$$

$$\begin{aligned} \text{Vaca Seca} \quad & [\text{CANVS}] \text{ CANAJANVS} + \text{CANAFEVVS} + \text{CANAMARVS} + \\ & \text{CANAABRVS} + \text{CANAMAIVS} + \text{CANAJUNVS} + \text{CANAJULVS} \\ & + \text{CANAAGOVVS} + \text{CANASETVS} + \text{CANAOUTVS} + \\ & \text{CANANOVVS} + \text{CANADEZVS} = \text{CANAVS} \dots \end{aligned} \quad \text{Eq.64}$$

$$\begin{aligned} \text{Novilha} \quad & [\text{CANN}] \text{ CANAJANN} + \text{CANAFEVNN} + \text{CANAMARN} + \\ & \text{CANAABRN} + \text{CANAMAIN} + \text{CANAJUNN} + \text{CANAJULN} + \\ & \text{CANAAGON} + \text{CANASETNN} + \text{CANAOUTN} + \text{CANANOVN} + \\ & \text{CANADEZNN} = \text{CANAN} \dots \end{aligned} \quad \text{Eq.65}$$

$$\begin{aligned} \text{Terneira} \quad & [\text{CANTF}] \text{ CANAJANTF} + \text{CANAFEVTF} + \text{CANAMARTF} + \\ & \text{CANAABRTF} + \text{CANAMAITF} + \text{CANAJUNTF} + \text{CANAJULTF} \\ & + \text{CANAAGOTF} + \text{CANASETTF} + \text{CANAOUTTF} + \\ & \text{CANANOVTF} + \text{CANADEZTF} = \text{CANATF} \dots \end{aligned} \quad \text{Eq.66}$$

$$\begin{aligned} \text{Cana Total} \quad & [\text{CANAGAEMTOTAL}] \text{ CANAVL} + \text{CANAVS} + \text{CANAN} + \\ & \text{CANATF} = \text{CANA} \dots \end{aligned} \quad \text{Eq.67}$$

(d) Ligação de aveia feno mensal e anual:

Com esta ligação a quantidade consumida de aveia em cada mês pelas vacas em lactação e pelo rebanho determina a quantidade anual desta pastagem consumida.

d.1. Aveia

Estas equações geram o total de aveia consumida por categoria rebanho bovino anualmente a partir da quantidade determinada em cada um dos doze meses do ano:

$$\begin{aligned} \text{Vaca Leiteira} \quad & [\text{AVEIAVL}] \text{ AVJANVL} + \text{AVFEVVL} + \text{AVMARVL} + \\ & \text{AVABRVL} + \text{AVMAIVL} + \text{AVJUNVL} + \text{AVJULVL} + \\ & \text{AVAGOVL} + \text{AVSETVL} + \text{AVOUTVL} + \text{AVNOVVL} + \\ & \text{AVDEZVL} = \text{AVVL} \dots\dots\dots \end{aligned} \quad \text{Eq. 68}$$

$$\begin{aligned} \text{Vaca Seca} \quad & [\text{AVEIAVS}] \text{ AVJANVS} + \text{AVFEVVS} + \text{AVMARVS} + \\ & \text{AVABRVS} + \text{AVMAIVS} + \text{AVJUNVS} + \text{AVJULVS} + \\ & \text{AVAGOVS} + \text{AVSETVS} + \text{AVOUTVS} + \text{AVNOVVS} + \\ & \text{AVDEZVS} = \text{AVVS} \dots\dots\dots \end{aligned} \quad \text{Eq.69}$$

$$\begin{aligned} \text{Novilha} \quad & [\text{AVEIAN}] \text{ AVJANN} + \text{AVFEVN} + \text{AVMARN} + \text{AVABRN} + \\ & \text{AVMAIN} + \text{AVJUNN} + \text{AVJULN} + \text{AVAGON} + \text{AVSETN} + \\ & \text{AVOUTN} + \text{AVNOVN} + \text{AVDEZN} = \text{AVN} \dots\dots\dots \end{aligned} \quad \text{Eq.70}$$

$$\begin{aligned} \text{Terneira} \quad & [\text{AVEIATF}] \text{ AVJANTF} + \text{AVFEVTF} + \text{AVMARTF} + \text{AVABRTF} \\ & + \text{AVMAITF} + \text{AVJUNTF} + \text{AVJULTF} + \text{AVAGOTF} + \\ & \text{AVSETTF} + \text{AVOUTTF} + \text{AVNOVTF} + \text{AVDEZTF} = \text{AVTF} \dots\dots \end{aligned} \quad \text{Eq.71}$$

$$\text{Aveia Total} \quad [\text{AVGAEMTOTAL}] \text{ AVVL} + \text{AVVS} + \text{AVN} + \text{AVTF} = \text{AV} \dots\dots\dots \quad \text{Eq.72}$$

(e) Ligação entre a área total e a área consumida das pastagens:

Para sorgo, potreiro e tífton 85, tem-se que o somatório dessas pastagens consumidas por todas as categorias nos devidos meses, deve ser menor ou igual ao somatório relativo à pastagem total disponível naquele mês.

e.1. Potreiro

Estas equações geram o total de potreiro consumida por categoria rebanho bovino anualmente a partir da quantidade determinada em cada um dos doze meses do ano:

[POTREIROJAN] POTJANVL + POTJANVS + POTJANN + POTJANTF – POT<=0.....	In.244
.	.
.	.
.	.
[POTREIRODEZ] POTDEZVL+POTDEZVS+POTDEZN+POTDEZTF-POT<=0..	In.256

e.2. Sorgo

Estas equações geram o total de sorgo consumida por categoria rebanho bovino anualmente a partir da quantidade determinada em cada um dos doze meses do ano:

[SORGOJAN] SORJANVL + SORJANVS + SORJANN + SORJANTF- SOR<=0.....	In.257
.	.
.	.
.	.
[SORGODEZ] SORDEZVL+SORDEZVS+SORDEZN+SORDEZTF-SOR<=0.....	In.269

e.3. Tífton 85

[CELJAN] CEJANVL+CEJANVS+CEJANN+CEJANTF-CE<=0.....	In.270
.	.
.	.
.	.
[CELDEZ] CEDEZVL+CEDEZVS+CEDEZN+CEDEZTF-CE<=0.....	In.282

A família de restrições anteriores serve de base para a distribuição da SAU de maneira a se considerar a disponibilidade das pastagens no decorrer do ano.

(f) Rendimento das pastagens

Para sorgo, potreiro e tífton 85 tem-se a seguir, nas equações, o rendimento médio em porcentagem no que diz respeito às suas produções anuais.

f.1. Sorgo

Estas equações geram o rendimento de sorgo a partir da quantidade determinada em cada um dos doze meses do ano:

$$[\text{RSORJAN}] \text{RENDSORJAN} = 0.25 * \text{RENDSOR} \dots \text{Eq.73}$$

.
.
.

$$[\text{RSORDEZ}] \text{RENDSORDEZ} = 0.15 * \text{RENDSOR} \dots \text{Eq.85}$$

Rendimento parcial do sorgo = 0.25, ..., 0.15 (%)

f.2. Potreiro

Estas equações geram o rendimento de potreiro a partir da quantidade determinada em cada um dos doze meses do ano:

$$[\text{RPOTJAN}] \text{RENDPOTJAN} = 0.2 * \text{RENDPOT} \dots \text{Eq.86}$$

.
.
.

$$[\text{RPOTDEZ}] \text{RENDPOTDEZ} = 0.15 * \text{RENDPOT} \dots \text{Eq.98}$$

Rendimento parcial do potreiro = 0.2, ..., 0.15 (%)

f.3. Tifton 85

Estas equações geram o rendimento de tifton 85 a partir da quantidade determinada em cada um dos doze meses do ano:

$$[\text{RCEJAN}] \text{ RENDCEJAN} = 0.15 * \text{RENDCE} \dots \text{Eq.99}$$

·

·

·

·

·

·

$$[\text{RCEDEZ}] \text{ RENDCEDEZ} = 0.1 * \text{RENDCE} \dots \text{Eq.111}$$

Rendimento parcial do Tifton 85 = 0.15, ..., 0.1 (%)

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo se apresentam os principais resultados e discussões acerca do sistema de tratamento da suinocultura, dos dejetos da avicultura e bovinocultura, além dos custos para manutenção da cadeia produtiva de proteína animal e vegetal, elementos que serviram de suporte para o modelo matemático da UPA estudada; apresentar-se-ão, ainda, o Modelo Matemático e suas possibilidades agropecuárias e ambientais.

6.1 Resultados das análises dos resíduos na UPA

6.1.1 Avicultura

Na cadeia produtiva de proteína animal se destaca a criação das aves de forma intensiva em galpões fechados, com o piso coberto com material macio e absorvente, como a maravalha, serragem e/ou casca de arroz, sua composição final depende da alimentação das aves, da idade e da linhagem, da quantidade de penas e excretas, do número de lotes, do tempo de permanência e da forma de armazenamento da cama. Este substrato atua como isolante térmico para o desenvolvimento dos animais; contudo, seu objetivo inicial é absorver os excrementos das aves até o momento do abate (GIROTTO & ÁVILA, 2009).

A escolha do material a ser utilizado como substrato na cama é de relevante importância uma vez que no Brasil há aproximadamente 4,98 bilhões de aves de corte (IBGE,2011). Os criadores de animais para produção de carne, comumente destinam grandes volumes de recursos financeiros com o intuito de melhorar a produção e a produtividade mas muitas vezes se esquecem de investir no controle da emissão de poluentes e na utilização agrônômica dos dejetos. A cama de frangos de corte que recebeu os dejetos animais, pode constituir-se em um fertilizante orgânico de excelente qualidade para a produção de grãos, como milho e soja (AVIZOM, 2006).

Considerando que uma ave excrete de 20 a 30% de matéria seca em relação à sua ingestão de alimento e que ingere de 4,5 a 5,0 kg de alimento durante o período de engorda (42 a 47 dias), a produção de excretas oscilará em torno de 1 a 1,5 kg de matéria seca, porém a geração de resíduos, considerando-se a adição de 0,5-0,6 kg de material de cama/ave e se

levando em conta outros fatores, como desperdício de ração e água, duração do ciclo e queda de penas, podem chegar à produção total de cama, de 2 kg MS/ave (LUCAS JR et al., 1998).

Na UPA estudada o ciclo de engorda utilizado foi de aproximadamente 44 dias se constatou, a partir das entrevistas junto ao proprietário e veterinários da cooperativa, que foram acumulados em torno de 40 toneladas de dejetos por lote de 26.000 aves, perfazendo o total de 240 toneladas/ano de resíduos nos seis lotes processados. Esses valores estão de acordo com Lucas Jr et al (1998) que verificaram o acúmulo de 240 toneladas para seis lotes, criados numa mesma cama de aviário.

Palhares (2004) recomenda, em experimentos realizados pela EMBRAPA/SC que para o bom desempenho de frangos em aviários pode-se desenvolver até seis engordas por cama. Nesses experimentos o pesquisador verificou que cada 1000 aves, no ciclo de 44 dias de permanência, produzem 2.000 kg de rejeitos, totalizando 2 kg por ave; esses valores estão acima dos encontrados na UPA estudada, que foi de 1,54 kg por ave; isto pode ter ocorrido devido possivelmente, à baixa densidade do material que compôs a cama.

O principal destino dos resíduos produzidos foi a comercialização como adubo orgânico, no total de 200 toneladas; as 40 toneladas restantes foram utilizadas na UPA analisada.

Os valores médios e dos coeficientes de variação (CVs) referentes aos dados obtidos em laboratório, dos nutrientes N, P, K, Ca e Mg e Cu e Zn micronutrientes e Matéria orgânica (MO), presentes nos resíduos da atividade avícola no período de agosto/2012 a janeiro/2013, foram apresentados na Tabela 17.

Tabela 17. Teores médios de nutrientes N, P, K, Ca, Mg, Cu e Zn e Matéria orgânica (MO) da cama de frango dos seis lotes avaliados na UPA e seus coeficientes de variação (CVs)

Nutriente	Teor (g/kg.MS)	Coefficiente de Variação
N	52,1000	0,12
P	34,7000	0,01
K	10,0000	0,09
Ca	8,2900	0,04
Mg	3,4200	0,04
Cu	0,0036	0,05
Zn	0,0049	0,16
MO	598,00000	0,11

Palhares (2004) encontrou, analisando cama de frango valores inferiores aos deste estudo, para Nitrogênio e Fósforo, N (35 g/L) e P (17,46 g/L) e valor similar para Potássio: K (9,6 g/L). FUKAYAMA (2008) verificou teores similares para os elementos N (64,6 g/kg) e Cu (0,00598 g/kg) enquanto para P (18 g/kg.MS) o valor encontrado foi menor; os demais teores estavam acima das médias levantadas na presente pesquisa, sendo: K (27,6 g/kg.MS), Ca (28,4 g/kg.MS), Mg (6,1 g/kg.MS), Zn (0,00533 g/kg.MS), todos em relação aos da Tabela 17.

Severino et al. (2006) encontraram, ao estudar onze materiais orgânicos, dentre esses a cama de frango, valores para os macronutrientes P e K equivalentes a 38,7 g/kg.MS e 11,0 g/kg.MS, respectivamente que, por sua vez, são similares aos encontrados nos rejeitos de aves da propriedade analisada porém para esses autores os elementos N (29,5 g/kg.MS), Ca (47,1 g/kg.MS) e Mg (63,9 g/kg.MS) diferem dos analisados. A comissão de química e fertilidade do solo RS/SC (2004) verificou, ao analisar excretas de frangos, teores de Cu (0,002 g/kg) e Zn (0,003 g/kg) similares aos encontrados na Tabela 17.

Os teores de nitrogênio, fósforo, potássio e cálcio encontrados nas camas de aviários por Adami (2012) foram de 25; 17,6; 37,2 e 44 g kg⁻¹ respectivamente; os níveis de N e P foram menores que os teores dos nutrientes analisados no experimento, observando-se valores ainda menores para K e Ca (10,0 e 8,29 g/kg). Santos (2011) obteve em suas análises, dados da quantidade de nutrientes que existem na cama de frango, principalmente N, P e K (67,38; 11,18 e 25,75 g/kg, respectivamente). Nos valores de N, P e K encontrados nas amostras analisadas da UPA, percebe-se uma pequena diferença em relação a N e K (52,10 e 10,0 g/kg) e alto teor de nutriente P (34,7 g/kg) das camas de frango. A elevada concentração de nutrientes da cama se deve ao fato de que os frangos consomem de 2,5 a 3 kg de ração (composta por proteína bruta; extrato etéreo; carboidratos; água; aminoácidos; vitamina e minerais) até os 35 dias de idade e aproximadamente 55% do N total, 70% da P e 80% do K consumidos são excretados nas fezes (LEYTEM et al., 2007).

A cama de frangos pode ser importante fonte de nutrientes quando utilizada como fertilizante do solo. Esses nutrientes – contidos nos dejetos de frangos – entretanto, podem transformar-se em contaminantes do meio ambiente se não foram utilizados da forma correta. Os resíduos de aves se caracterizam pelo elevado conteúdo de nitrogênio, que pode estar

presente em diversas formas e é constantemente transformado por ação da atividade microbiana e mudanças na temperatura, pH, umidade e concentração de oxigênio (KELLEHER et al., 2002). Para minimizar os impactos ambientais o modelo representativo da UPA analisada limita as quantidades de excretas ao seu reúso no próprio local em que é gerado e, ainda, considera sua venda como fertilizante orgânico.

O uso da cama como fertilizante orgânico contribui não apenas para superar os problemas de descarte desses resíduos mas também na melhoria da qualidade física, química e biológica dos solos (FRIEND et al., 2006; MCGRATH et al., 2009) e promover incremento na produtividade da soja (ADELI et al., 2005), algodão (MITCHELL & TU, 2005) e pastagens (SISTANI et al., 2004).

6.1.2 Bovinocultura

Na produção leiteira tem-se a geração de grandes volumes de rejeito, especificamente, quanto à quantidade de urina e de fezes eliminadas diariamente e, como citado por Campos et al. (2002) que a quantidade total de efluentes orgânicos produzidos por vacas leiteiras em confinamento varia de 9,0 a 12,0% do peso vivo de animal por dia e depende também do volume de água utilizado na limpeza e na desinfecção das instalações e equipamentos da unidade de produção.

No presente trabalho as vacas em lactação pesavam, em média, 365 kg e eliminavam 40 L de dejetos por dia, perfazendo o total de 240 L/dejetos.dia; já as vacas secas, novilhas e terneiras, excretavam 24 L, 19 L e 9 L por dia, respectivamente, totalizando 377 L de dejetos/dia.

Os resultados dos teores de nutrientes médios e dos coeficientes de variação (CVs) referentes aos dados obtidos em laboratório, dos nutrientes N, P, Ca, Mg e K, Cu, Zn, Matéria orgânica (MO), presentes nos dejetos da bovinocultura de leite, no período de agosto/2012 a janeiro/2013, foram apresentados na Tabela 18.

Tabela 18. Teores médios de nutrientes e coeficientes de variação (CVs): N, P, Cu, Zn, Ca, Mg, K e Matéria orgânica (MO) oriundos da bovinocultura

Nutriente	Média (g/L)	Coefficiente de Variação
N	0,8430	0,03
P	0,4670	0,06
K	0,2210	0,07
Ca	0,0519	0,04
Mg	0,0349	0,05
Cu	0,0035	0,05
Zn	0,0036	0,09
MO	46,542	0,05

O que se verifica na Tabela 18, são coeficientes de variação abaixo de 10% sugerindo a homogeneidade dos dados, o que permite segurança na tomada de decisão acerca do valor a ser considerado para alimentar o modelo em questão, no que tange aos dejetos da bovinocultura, ainda mais significativos e seguros.

Mori et.al (2009) encontraram analisando dejetos de gado leiteiro em confinamento, teores médios de N, P e K de 0,870 g/L, 0,550 g/L e 1,070 g/L verificando, assim, valores próximos as da Tabela 11 para N e P. Silva et. al (2007) encontram valores similares para Zn (0,0033 g/L). A Comissão de química e fertilidade do solo RS/SC (2004) observou, em dejetos de bovinos) valores próximos aos da Tabela 18 para o elemento P (0,34 g/L) e para os metais Cu (0,002g/L) e Zn (0,003 g/L) e teores acima para os nutrientes N (1,4 g/L), K (1,16 g/L), Ca (1,2 g/L) e Mg (0,4 g/L).

Em um estudo realizado por Silva e Roston (2010) na Unidade Educativa de Produção (UEP) da Escola Agrotécnica Federal de Inconfidentes – MG, sobre Bovinocultura de Leite, foram analisados alguns parâmetros como fósforo (0,0141 g/L) nos dejetos gerados pela bovinocultura. Smith et al. (2006) constataram, tratando efluente da produção de bovinos leiteiros em leitões cultivados, que a concentração P do afluente era de 0,0444 g.L⁻¹; a quantidade de Fósforo na análise na unidade agropecuária que se pretendeu neste trabalho, intervir, é bastante superior quando comparada à dos autores citados.

Assenheimer (2007) verificou teores de nitrogênio (0,557 g/l), fósforo (0,144 g/L), potássio (0,385 g/L), cálcio (0,293 g/L), magnésio (0,757 g/L) e matéria orgânica (14,448 g/L) em dejetos de vacas leiteiras na Embrapa em Minas Gerais, menores que os levantados na Tabela 11 para K, Ca e Mg enquanto em N, P e MO apresentaram teores elevados, para esses rejeitos na UPA analisada.

Segundo Mellek (2010) a aplicação de dejetos líquido bovino (DLB) durante dois anos melhorou a qualidade estrutural do solo através da alteração de atributos físicos, como densidade do solo, macroporosidade e diâmetro médio ponderado úmido de agregados; o autor também concluiu que a aplicação de DLB, no mesmo tempo melhorou atributos hidrológicos do solo aumentando a condutividade hidráulica e a taxa de infiltração de água, o que provavelmente tenha consequências positivas em termos de diminuição do potencial de escoamento superficial e transporte de elementos com nitrogênio e fósforo para corpos de água, a longo prazo; da mesma forma, o uso de dejetos líquido de bovino em longo prazo, tende a aumentar o estoque de carbono no solo, quer seja pelo acúmulo direto ou por via indireta, através do incremento de massa seca dos cultivos adubados.

6.1.3 Suinocultura

Além das excretas animais os resíduos provenientes da suinocultura contêm quantidades consideráveis de restos de ração, componentes do piso das baias e água, dependendo do manejo adotado na criação; ao se utilizar grande quantidade de água para lavagem e remoção dos dejetos, obtém-se um resíduo mais líquido e em maior volume originando preocupação com os danos ambientais quando os resíduos são manejados de forma incorreta, uma vez que o poder de dispersão do material líquido é bem mais elevado que o resíduo coletado por meio de raspagem das baias; sendo assim, a produção total de dejetos em pocilgas é muito variável dependendo principalmente do manejo de limpeza adotado em cada unidade produtora; de modo geral, a água estará sempre presente, diluindo e fazendo parte na geração de resíduo final, o que dá, aos dejetos de suínos, na quase totalidade dos sistemas, a característica de efluente líquido.

Os suínos da UPA produziram, em média, 8 litros/dia de resíduo por animal, totalizando 435.600 L de dejetos por lote; na Tabela 19 tem-se o resumo da Análise de

Variância dos nutrientes N, P, K, Ca e MG relativa às análises químicas da suinocultura referentes aos meses de agosto, setembro, dezembro/2012 e janeiro/2013, para os tratamentos saída da pocilga (SP), saída do biodigestor (SBIO) e saída da lagoa facultativa (SLA).

Tabela 19. Resumo da análise de variância de N, P, K, Ca e Mg em efluentes de pocilgas para três tratamentos (SSP, SBIO, SLA)

Fonte	Gl	Quadrado Médio				
		N	P	K	Ca	Mg
Tratamento	2	4906*	12715 ^{ns}	284,08*	311,9*	109,18*
Resíduo	33	48764	24938	2790,9	742,0	72,81

*a nível de 5% de significância

Analisando a Tabela 19 observa-se diferença entre os tratamentos em relação aos elementos N, K, Ca e Mg, enquanto para o elemento P pode-se considerar que esses são estatisticamente idênticos, tanto por fatores externos quanto internos - temperatura ambiente e dos sistemas, atividade microbiana no biodigestor e fora dele; o modelo matemático apresenta um mecanismo de escolha a respeito de qual efluente será aplicada no sistema de produção de proteína vegetal.

Na Tabela 20 se apresenta o resumo da Análise de Variância dos metais Cu, Zn e da Matéria orgânica (MO) relativa às análises químicas da suinocultura referentes aos meses de agosto, setembro, dezembro/2012 e janeiro/2013, para os tratamentos SP, SBIO, SLA.

Tabela 20. Resumo da análise de variância de Zn, Cu e MO em efluentes de pocilgas para três tratamentos (SSP, SBIO, SLA)

Fonte	Gl	Quadrado Médio		
		Zn	Cu	MO
Tratamento	2	0,013058*	0,044119*	2915953244*
Resíduo	33	0,028683	0,030683	114538568

*a nível de 5% de significância

Analisando a Tabela 20 verifica-se que ocorrem diferenças significativas entre os tratamentos em relação aos metais Cu e Zn e também para a MO.

Na Tabela 21 pode-se analisar as variações e similaridades existentes nos três tratamentos (SP, SBIO e SLA) para excretas da suinocultura.

Tabela 21. Teores médios dos nutrientes N, P, K, Ca e MG, dos metais Cu, Zn e da Matéria orgânica relativa às análises químicas da suinocultura.

Nutrientes	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	MO
SP	0,667 A	0,344A	0,111A	0,0561A	0,0154A	0,213A	0,2583 A	35982A
SBIO	0,637AB	0,289A	0,107A	0,0538A	0,0128B	0,191A	0,22917A	17768B
SLA	0,627B	0,287A	0,101B	0,0466B	0,0935C	0,098B	0,1925B	4962C

(1) **SP** = saída da pocilga, (2) **SBIO** = Saída do biodigestor, (3) **SLA** = Saída da lagoa

Em análise da Tabela 21, verificam-se diferenças em relação aos tratamentos para os valores médios de N, Ca, Mg, Cu, Zn e MO enquanto para o elemento P pode-se considerar que os tratamentos não diferem entre si dificultando, deste modo, a escolha pelo tratamento mais adequado.

Sánchez et al. (2001) analisaram os dejetos de suínos e observaram concentrações de MO (Matéria Orgânica) de 19.900 mg/L e teores de nitrogênio e fósforo nas seguintes quantidades: 0,740 e 0,380 g/L, respectivamente, resultados próximos aos encontrados neste estudo. Junior et. al (2009) verificaram, ao calcular valores médios para efluentes de pocilga da saída da granja, 0,20 mg/L de Cu e para o biodigestor 388 mg/L e 12,12 mg/L para P e Mg, respectivamente, que são teores semelhantes aos verificados na UPA estudada. Barnabé (2001) determinou Mg de 0,15 mg/L para a saída da pocilga o que remete à similaridade em relação ao mesmo nutriente verificado na unidade agrícola deste trabalho.

Cassol et. al. (2012) encontrou em efluentes de suínos os valores médios para N, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn são 3,560 g/L, 1,460 g/L, 1,610 g/L, 1,910 g/L, 0,80 g/L, 2,81 mg/L, 4,08 mg/L, respectivamente, que são muito superiores aos encontrados nesta pesquisa, e por Junior et.al (2009) e Barnabé (2001), enquanto Agnes (2012) encontrou teores similares para P (0,349 g/L) em rejeito de suínos. Cabral et al.(2011) encontraram, em um de seus experimentos no UEM campus da Cidade Gaúcha/PR, para os elementos N (0,856 g/L) e Mg (0,0766 g/L) teores médios superiores aos apresentados na Tabela 21, enquanto para P (0,135

g/L) e K (0,324 g/L) os valores foram inferiores para elementos oriundos do dejetos in natura de suínos (equivalente ao dejetos proveniente de SP do presente trabalho).

Bosco et al.(2008) obtiveram, em suas análises físico-químicas relativas às amostras de efluente da saída da lagoa de tratamento de rejeitos da suinocultura, em Cascavel oeste do Paraná, 0,027 g/L para o Magnésio, 0,143 g/L para o Fósforo, 0,0055 g/L de Cálcio e 0,517 g/L o Potássio. Nas análises realizadas na saída da lagoa da UPA referente ao presente trabalho, o Fosforo apresentou valor superior com 0,287 g/L; enquanto o Cálcio teve valor inferior (0,047 mg/l), ao obtido pelo referido autor. Nesta mesma perspectiva os valores dos nutrientes do Potássio e Magnésio obtiveram resultados menores nesta UPA, com 0,101 g/L e 0,0094 g/L.

Segundo Lo Monaco et al.(2009), em pesquisas realizadas no Centro Federal de Educação Tecnológica de Januária (MG), os teores avaliados em excretas de suínos foram: nitrogênio total 2021 g/L, fósforo 0,338 g/L e potássio 0,275 g/L. Deste modo, o valor de fósforo e do potássio nos dejetos suínos analisados na UPA em qualquer sistema de tratamento possui valores aproximados aos do autor .

Na Tabela 21 se encontram os valores relativos às médias (1) de nitrogênio próximas às encontradas por Vivan (2010), em trabalho realizado na Unidade Experimental da Embrapa Suínos e Aves, em Concórdia, SC, de 0,859 g/L, enquanto para Dartora (1998), os valores para este mesmo nutriente são superiores 3,10 g/L sem tratamento e 2,604 g/L para tratamento anaeróbico, 1,465 g/L em lagoas facultativas porém com maior eficiência em relação à minimização da carga de N. Medri (1997) relata, em estudos sobre sistemas de manejo para rejeito de suínos, quantidades de N e P presentes em tratamentos do tipo SP, SBIO e SLA: Nitrogênio: 2009,2 g/litro, 0,001314mg/litro e 1024,92 g/litro; Fósforo: 2370 g/litro, 1920 g/litro e 710,29 g/litro, respectivamente podendo-se, então, verificar que na abordagem deste trabalho as quantidades dos nutrientes se encontravam em concentrações menores diminuindo, portanto seus acúmulos exorbitantes.

Agnes (2012) afirma que os dejetos suínos apresentam grande diluição na maioria dos casos com teores de água próximos ou superiores a 95%, apresentando uma concentração de nutrientes variando entre 1,7% a 8%. Desta forma, pode-se considerar que o manejo hídrico da granja é o principal responsável pelas variações analíticas acentuadas dos dejetos já que

grande parte da água nas esterqueiras provém de vazamento de bebedouros e limpeza das baias, além da água das chuvas (OLIVEIRA et al., 2006).

Ao se considerar características quantitativas e qualitativas evidencia-se a necessidade de tratamento dos resíduos produzidos por suínos, para posterior aplicação no solo. Tendo na biodigestão anaeróbia um tratamento que, além de reduzir o poder poluente e os riscos sanitários dos dejetos também pode gerar, como subprodutos, o biogás e o biofertilizante (ALVAREZ e GUNNAR, 2008). O processo de biodigestão anaeróbia consiste na otimização da degradação da matéria orgânica contida nos dejetos permitindo, também, a redução das demandas química e bioquímica de oxigênio e de sólidos voláteis, tornando os nutrientes mais disponíveis para as plantas (CÔTÉ et al., 2006; ORRICO et al., 2007).

O avanço tecnológico apresentado pela suinocultura brasileira nos últimos anos trouxe benefícios sociais e econômicos incontestáveis à sociedade, mas os problemas ambientais gerados pela atividade nos principais centros produtores do País são igualmente importantes; para tanto apresentou-se, no modelo matemático gestor de UPAs de pequeno e médio porte, a redistribuição das culturas podendo, assim, tornar essas unidades sustentáveis quanto à reutilização de seus principais subprodutos.

Visando ao cumprimento da legislação ambiental tem-se, na instalação de biodigestores e lagoas facultativas, a possibilidade de boas práticas que favorecem a diminuição da carga orgânica e de certos nutrientes que, em demasia, podem ser prejudiciais ao meio ambiente.

Dortzbach (2009) avaliou a concentração de nutrientes em solo adubado com dejetos suínos durante cinco anos, através de avaliações na camada de 0-5 cm para os atributos físicos e quatro camadas de 0-15, 15-30, 30-45 e 45-60 cm em seis datas, durante o ciclo do milho para os atributos químicos. Os resultados encontrados indicaram que as adubações orgânicas promoveram alterações na maioria dos atributos analisados com pequenas diferenças entre si quanto aos atributos físicos, após cinco anos de aplicação no solo. As maiores diferenças foram observadas nos atributos químicos. O P e o K apresentaram valores muito altos no solo, inclusive em profundidade, cujos resultados indicaram ocorrência de lixiviação de NO_3 e concentração de Zn, Cu e Mn no solo, porém ainda não em níveis críticos.

Os dejetos dos suínos analisados foram inseridos no modelo desenvolvido para a UPA, o que levou à escolha do tratamento utilizado na adubação das culturas com o objetivo

de suprir suas necessidades, através da adubação orgânica. Deste modo, o modelo simula uma unidade de produção agropecuária em um sistema cíclico, ou seja, o que é consumido pelos animais é produzido na propriedade e os resíduos por eles gerados são utilizados para adubação tentando, assim, minimizar os custos tornando uma propriedade autossustentável minimizando a agressão da natureza e aumentando a produção agrícola elevando, sem dúvida, a lucratividade.

6.2 Coerência do Modelo com a Situação Atual

A partir dos dados coletados nas entrevistas com o agricultor referente aos condicionantes econômicos e financeiros calculou-se o rendimento líquido da situação atual da propriedade que resultou em um valor anual de R\$ 142.681,00 correspondendo a um rendimento mensal de médio de R\$ 11.890,08.

Com uso do Modelo desenvolvido alcançou-se o resultado econômico anual de R\$ 174.275,00. Comparando-se este valor com o obtido pela situação atual verifica-se uma diferença de 18%. Este valor está de acordo com os achados de SANDMANN e BARROS (2009) que desenvolveu modelo de uma unidade de produção agropecuária de pequeno porte.

A diferença entre os resultados obtidos no modelo e a situação atual, provavelmente, se deve a precisão das quantidades a serem ingeridas pelos animais, quando de fato há perdas no processo de alimentação; outro fato que pode ter ocorrido foi a superestimativa da produção de grãos e pastagens.

6.3 Apresentação das Simulações

O modelo de programação, elaborado conforme o procedimento já descrito foi utilizado para analisar as possibilidades de melhoria da renda do produtor em conformidade com questões ambientais – ressaltando a sustentabilidade do sistema - Para tanto, foram analisadas as consequências das soluções propostas pelo modelo sobre o sistema de produção; cujos resultados são apresentados e discutidos a seguir.

6.3.1 Sistema de Produção Proposto nas Soluções do Modelo

As simulações são apresentadas na Tabela 22 no qual verificam-se as principais diferenças entre as simulações e a situação atual. O resultado econômico em MAX = REA foi de (R\$ 259.186,30) em MAX = REM foi (R\$ 234.650,30) e na situação atual (R\$ 142.681,00). Na primeira simulação em que se maximizou o resultado econômico anual (REA), obteve-se melhor resultado financeiro tanto em relação ao obtido pelo REM como pelo observado na UPA. Isto aconteceu, possivelmente, pela melhor distribuição das condições de contorno que envolveu a produção agropecuária, isto é pela otimização no uso da superfície da área útil e pelo aumento e estabilização no rebanho bovino. Portanto, ao se compilar a função objetivo 1 percebe-se que a UPA tem condição de produzir pastagens para a demanda de um rebanho bovino com até 24 vacas em lactação, valor 4 vezes maior do que o presente no sistema atual e, além disso disponibilizar uma área de 8,7 ha, isto é 96,66% da SAU para a produção de soja destinada a venda. Este maior rendimento possibilita ao agricultor realizar melhorias estruturais na propriedade, adquirir equipamentos que possam aumentar a eficiência no uso da mão de obra, entre outros.

O resultado econômico mensal mínimo simulado (REM) possibilitou ao agricultor, garantir, ao longo do ano, uma renda mensal compatível com as necessidades da propriedade; Isto aconteceu, possivelmente, pela otimização no aumento e estabilização do rebanho leiteiro em comparação a REA e a situação atual. Desta forma, o aumento do rebanho leiteiro foi à solução indicada pelo modelo para maximizar a renda do mês de menor lucratividade da UPA. Esta solução demandou, praticamente, toda mão de obra familiar.

A principal variável afetada pela falta de mão de obra, constatada na Tabela 22, foi o aproveitamento máximo da área destinada a plantio, o que pode ser constatado pelo balanço dos nutrientes na UPA, pois na simulação da função objetivo 2 (MAX = REM) verifica-se que o índice ótimo de utilização dos nutrientes nitrogênio e fósforo foi alcançado sem o cultivo de toda a SAU. Isto é, houve aproveitamento de 75,67% da área útil no verão e apenas 44% no inverno. Desta forma, verifica-se que falta de nitrogênio nos sistemas Anual e Atual. Este fato é justificável para o REA haja vista que nas situações descritas se atinge a capacidade máxima de absorção do nutriente P, pelas culturas. Portanto, qualquer aumento na produção de dejetos

visando aumentar a oferta de nitrogênio implicaria na produção de Fósforo demandando uma destinação deste nutriente não considerada no modelo.

Outra variável comprometida pela pouca de mão de obra disponível foi à atividade de suinocultura como se constata na Tabela 22, na simulação sobre o resultado econômico mensal (MAX=REM), no qual não se verifica a prática da suinocultura pois como visto anteriormente a bovinocultura de leite absorveu praticamente a mão de obra familiar.

Tabela 22. Resultados da otimização do modelo (REM e REA) e da situação atual (observada)

Variável	Descrição	Unidade	Modelo (REA)	Modelo (REM)	Situação observada
REA	Resultado econômico anual	Reais	259.186,30	234.650,30	142.681,00
REND/DIA/VL	Rendimento de leite p/dia p/vaca	Reais	15,70	15,46	9,00
VENDALOTESU	Rendimento lote suíno	Reais	18.000,00	0	27.000,00
VENDAVES	Rendimento lote aves	Reais	66.000,00	66.000,00	66.000,00
VESTRAV	Valor tonelada dejetos aves	Reais	12.000,00	12.000,00	10.000,00
VL	Vacas em lactação	Cabeças	24	28	6
VS	Vacas secas	Cabeças	10	12	3
VD	Vacas descarte	Cabeças	12	14	0
TF	Terneiros	Cabeças	12	14	3
N	Novilhas	Cabeças	12	14	2
MILHO1	Milho verão	Hectare	0	0	6,5
MILHO2	Milho inverno	Hectare	6,21	0,10	7
SIL1	Silagem verão	Hectare	0	0	0,7
Sil2	Silagem inverno	Hectare	2,49	2,52	0
S	SOJA	Hectare	8,70	5,48	0
POT	Potreiro	Hectare	0	1,05	1
R	Ração	kg	49.735,83	65.984,50	2.000,00
AV	Aveia e Azevém	Hectare	0	0,02	0,5
CE	Tifton 85	Hectare	0	0,02	0,2
SOR	Sorgo forrageiro	Hectare	0,3	0,26	0,2
LOTESU	LOTES SUÍNOS	unidade	2	0	3
LOTEAV	LOTES AVES	unidade	6	6	6
CANA	Cana	Hectare	0	0	0,1
DEJAVV	Dejeto aves venda	Tonelada	240	240	200
DEJAVUSO	Dejeto aves uso	Tonelada	0	0	40
DEJS	Dejeto suíno	Mil litros	871,20	0	1320
DEJSST	Dejeto suíno sem tratamento uso	Mil litros	0	0	0
DEJSBIO	Dejeto suíno biodigestor uso	Mil litros	871,20	0	0
DEJSLA	Dejeto suíno lagoa uso	Mil litros	0	0	1320
DEJSVT	Dejeto rebanho leiteiro	Mil litros	580,69	673,99	135,72
NTOTAL	Nitrogênio três categorias produzidos	kg	1.070,60	565,05	1142,20
NITRO	Nitrogênio Absorvido	kg	1.370,25	565,05	2.813,80
PTOTAL	Fósforo três categorias uso	kg	566,81	312,35	577,06
FOSFORO	Fosforo Absorvido	kg	568,50	312,35	570,70
SAUV	área disponível verão	Hectare	9	6,81	9
SAUI	Área disponível inverno	Hectare	9	3,96	9

Na busca de uma compreensão melhor dos resultados obtidos nas simulações, a Figura 6 ilustra uma comparação entre as simulações dos resultados econômicos mínimo mensal REM e resultado econômico anual REA.

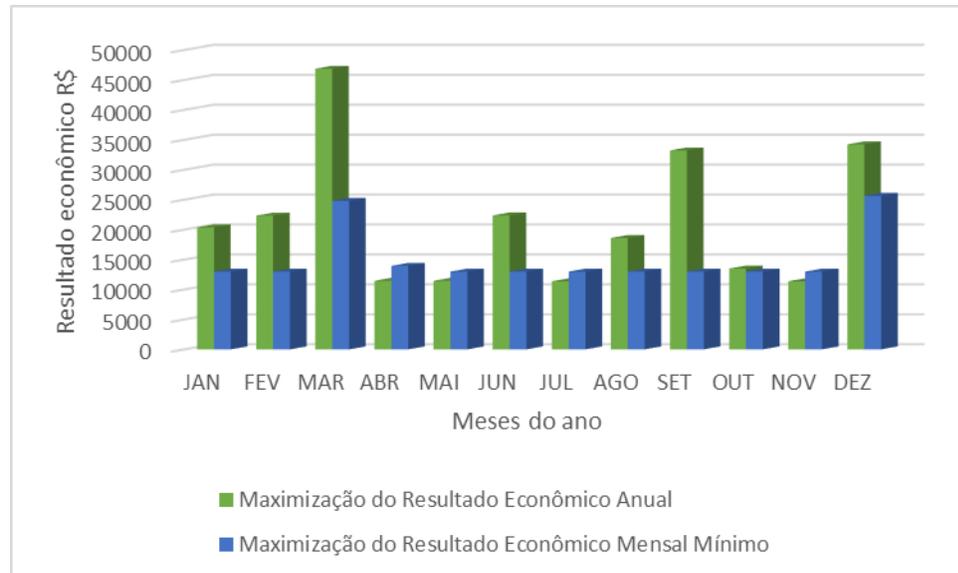


Figura 6. Simulações sobre os resultados econômicos mensais

Ao se analisar a Figura 6, pode-se observar uma tendência de estabilização nos resultados econômicos mensais na simulação que maximiza o resultado econômico mensal mínimo (REM), o que não se verifica nos resultados do REA. Observa-se ainda que os resultados econômicos da simulação (REA) são, na maioria dos meses, superiores aos obtidos com a REM. Entretanto, no REA, o resultado econômico mensal mais baixo é de R\$11.366,27 e ocorre no mês de novembro, devido a maiores gastos com manutenção de pastagens perenes. No REM o menor valor observado ocorreu no mês de abril e foi de R\$ 12.964,00, superior ao mínimo do REA. Isto ocorre devido ao fato de que o período representa a fase de plantio de novas culturas.

Na Tabela 23, apresenta-se a área da UPA ocupada pelas culturas de soja e milho destinadas a venda, o número de lotes de suínos e aves e a quantidade de leite produzida, simulados pelo modelo, para as funções objetivo 1 e 2.

Pode-se observar que, de maneira geral, os sistemas de produção indicados pelas simulações diferem entre si e, caso se realizasse as mudanças indicadas por qualquer uma das

simulações, o agricultor obteria diferentes tipos de sistema de produção em relação ao que pratica atualmente. As principais diferenças em relação ao sistema atual é que nas simulações otimiza-se a área de produção de soja para venda e o rebanho leiteiro, pelo aumento da área de pastagem.

Tabela 23. Área da Upa ocupada pelas culturas destinadas a venda; número de lotes de suínos e aves e Produção de leite simulados pelo modelo para as funções objetivo 1 e 2

MÊS	Área ocupada pelas culturas (ha)				Distribuição dos lotes de Suínos		Distribuição dos lotes de Aves		Produção de Leite (L)	
	Soja1	Soja2	Milho1	Milho2	Lote1	Lote2	Lote1	Lote2	Leite1	Leite2
JAN	-	-	-	-	1	-	1	1	13.190	12.549
FEV	-	-	-	-	-	-	-	-	13.190	12.644
MAR	8,86	6,07	-	-	-	-	1	1	13.190	12.602
ABR	-	-	-	-	-	-	-	-	13.106	12.602
MAI	-	-	-	-	1	-	1	1	13.178	12.813
JUN	-	-	-	-	-	-	-	-	12.500	12.247
JUL	-	-	-	-	-	-	1	1	12.500	12.602
AGO	-	-	-	-	-	-	-	-	12.500	12.602
SET	-	-	7,28	0,14	-	-	1	1	13.184	12.612
OUT	-	-	-	-	-	-	-	-	13.190	12.247
NOV	-	-	-	-	-	-	1	1	13.190	12.825
DEZ	-	-	-	-	-	-	-	-	13.190	12.247

Culturas acompanhadas com o número 1, são geradas pelo modelo MAX = REA; Culturas acompanhadas com o número 2, são geradas pelo modelo MAX = REM;

Verificam-se na Tabela 23, além da estabilidade na produção leiteira, quantidades de produtos destinados à venda na simulação 1 (MAX=REA) maiores do que em 2 (MAX=REM), além da presença de soja apenas na maximização do sistema anual.

A Figura 7 apresenta os resultados das simulações em relação às quantidades de terra destinadas às principais culturas da UPA. Pode-se observar que a solução do modelo 1 (a que considera a maximização do resultado econômico anual) e a situação atual utiliza toda a SAU levando à necessidade maior de nutrientes do que no modelo 2 (que considera a maximização do resultado econômico mensal), que utiliza a SAU parcialmente.

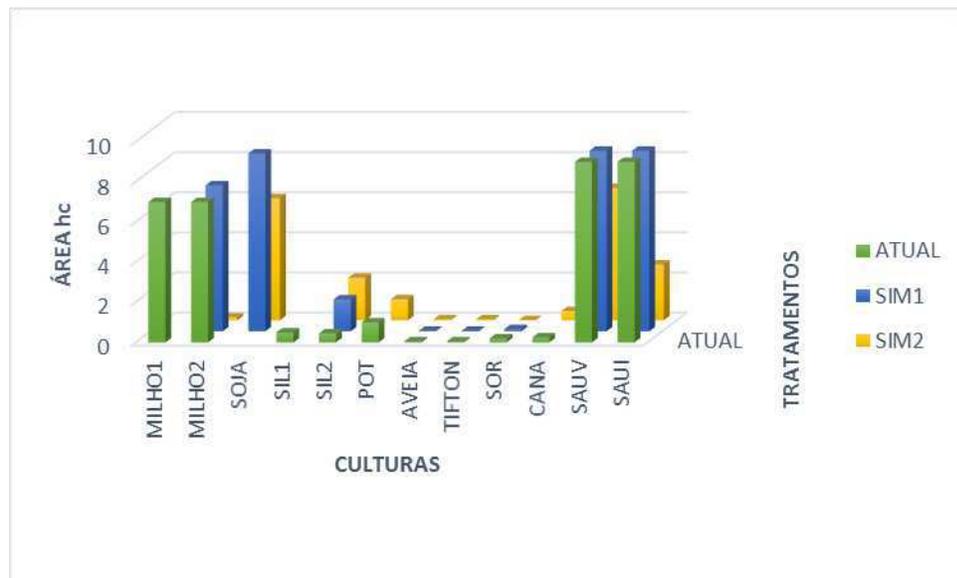


Figura 7. Distribuição da SAU nas simulações

Analisando-se ainda a Figura 7 verificam-se quantidades diferentes de áreas destinadas às várias culturas nas três situações; na situação atual tem-se $S = 0$ ha, Milho1 = 7 ha, milho2 = 7 ha, Sil1 = 0,5 ha, Sil2 = 0,45 ha, Pot = 1 ha, Av = 0,05, Tifton 85 (CE) = 0,05 ha, Sor = 0,2 ha e Cana = 0,25 ha, totalizando uma superfície cultivada de 9 ha utilizando toda a SAU disponível no verão e no inverno; na simulação do resultado econômico anual tem-se $S = 8,87$ ha, Milho1 = 0 ha, Milho2 = 7,28 ha, Sil1 = 0 ha, Sil2 = 1,29 ha, Pot = 0 ha, Av = 0,024, Tifton 85 (CE) = 0,024 ha, Sor = 0,11 ha e Cana = 0 ha, totalizando uma superfície cultivada de 9 ha (tanto para SAUV quanto para a SAUI); na simulação do resultado econômico mensal tem-se $S = 6,08$ ha, Milho1 = 0 ha, Milho2 = 0,14 ha, Sil1 = 0 ha, Sil2 = 2,12 ha, Pot = 1,05 ha, Av = 0,05, Tifton 85 (CE) = 0,05 ha, Sor = 0,01 ha e Cana = 0,46 ha, totalizando uma superfície cultivada de 6,6 ha na estação quente e 2,78 ha na estação fria. A sobra de superfície

de área útil em na maximização REM se justifica pela redistribuição das culturas visando à otimização do pior resultado mensal.

Na Tabela 24 são apresentadas as quantidades dos nutrientes N e P requeridos pelas culturas e obtidos nos dejetos gerados na UPA para as 2 simulações e situação atual.

Ao se abordar questões relativas aos nutrientes pode-se verificar, na Tabela 24, um equilíbrio em relação as quantidades de Nitrogênio e Fósforo necessárias para às diferentes distribuições da SAU em cada tipo de simulação bem como para o sistema atual.

Tabela 24. Quantidades de N e P requeridos pelas culturas e produzidos na UPA para as 2 simulações e situação atual

CULTURA	DEMANDA NITROGÊNIO (kg)			DEMANDA FÓSFORO (kg)		
	REA	REM	ATUAL	REA	REM	ATUAL
MILHO1	0	0	1.215,5	0	0	217,75
MILHO2	931,5	15	1050	167,67	2,7	256,5
SIL1	0	0	126	0	0	14,7
SIL2	373,5	378	30	44,82	45,36	3,6
SOJA	0	0	0	348	219,2	0
POT	0	105	100	0	36,75	35
AV	0	1,5	37,5	0	0,6	15
CE	0	8	200	0	0,7	17,5
SOR	64,2	55,54	42,8	7,8	6,76	5,2
CANA	0	0	12	0	0	5,45
NECESSIDADE						
TOTAL	1370,25	565,05	2.813,8	568,50	312,35	570,70
PRODUÇÃO						
TOTAL	1.070,25	565,05	1.142,20	566,81	312,35	577,06

Observam-se, na Tabela 24, desigualdades consideráveis entre os três tipos de sistemas produtivos, no que tange às necessidades de adubo – REM; REA; SISTEMA ATUAL; o que se percebe é a disparidade que se tem entre as quantidades necessárias para um máximo desempenho das culturas e as quantidades de nitrogênio e de fósforo geradas no processo de produção de proteína animal no sistema atual. Nas simulações se verifica o equilíbrio de nutrientes na distribuição das culturas na UPA, demonstrando a viabilidade dos

sistemas indicados visando, além do máximo retorno financeiro, ao balanço de nutrientes que resultou no uso de todo efluente gerado na UPA e desta forma adequação da UPA as normas ambientais em relação a disposição de efluentes.

O efeito benéfico principal da aplicação de resíduos é o suprimento de nutrientes essenciais para as culturas, sobretudo macronutrientes (N e P). Em geral, a aplicação de resíduos melhora as propriedades físicas do solo aumentando a agregação, reduzindo a densidade de solo e aumentando a capacidade de retenção de água pelo solo. Adicionalmente, algumas aplicações (particularmente de material orgânico) podem aumentar a matéria orgânica do solo; o equilíbrio de nutrientes verificado nas simulações é de suma importância para a tomada de decisão acerca de desenvolver ou não o que esses indicam para a UPA.

7. CONCLUSÕES

Analisando o manejo indicado nos modelos (MAX = REA e MAX = REM) pode-se concluir que o objetivo principal da tese foi alcançado, pois em ambos se tem a maximização dos resultados econômicos e alcançou-se a adequação da UPA no que tange à destinação de dejetos da suinocultura, avicultura e bovinocultura, nas condições do entorno do lago de Itaipu- PR.

Obteve-se o reúso total dos efluentes da suinocultura que são os mais impactantes, bem como a utilização dos dejetos da bovinocultura na própria UPA; já em referência às camas de frango, devido à facilidade de manejo, o alto valor econômico agregado e a logística de fácil aplicação, os modelos sugeriram a comercialização como adubo orgânico.

As análises químicas atestaram, que os nutrientes N, P, K, Mg, Ca, metais Cu e Zn e MO, presentes nas excretas de suínos, bovinos e frangos se encontram em conformidade com os achados da literatura e com órgãos de pesquisa como EMBRAPA e Comissão de Química e Fertilidade do Solo, RS/SC.

Em relação aos tratamentos dos efluentes da suinocultura não se verificaram diferenças significativas em SSP, SBIO e SLA no que se refere ao elemento fósforo.

A mão de obra, a superfície de área útil e o balanço de nutrientes foram às condições de contorno que mais afetaram os resultados das simulações.

Os modelos propiciaram a utilização de todo resíduo gerado nas atividades de suinocultura e bovinocultura da UPA adequando a unidade as normas ambientais de destinação de efluentes.

A função objetivo 1 indica que para maximizar a renda anual o proprietário deve aumentar o rebanho bovino para até atingir o número de 24 vacas em lactação e, além disso disponibilizar área para a produção de soja para venda.

A solução indicada pela função objetivo 2 para maximizar a renda do mês de menor lucratividade da UPA foi o aumento do rebanho leiteiro.

O índice ótimo de utilização dos nutrientes nitrogênio e fósforo foi alcançado na simulação da função objetivo 2 sem o cultivo de toda a SAU.

Para a função objetivo1 o índice ótimo de utilização de fósforo foi alcançado para o cultivo em toda área da UPA, nas duas estações. O nitrogênio presente no resíduo não foi suficiente para atender a demanda das culturas.

No sistema atual há uma sobra do elemento fósforo e uma carência de 59,40% da demanda da propriedade.

Para finalizar conseguiu-se, com o presente trabalho, definir um sistema de produção, conforme o modelo acima mencionado que, através das simulações e dos resultados acerca do sistema de produção apresentado pelo modelo que maximiza o resultado econômico anual e mensal mínimo, ambos se adaptam bem a UPAs de médio porte. Pela possibilidade de armazenagem de volumosos – silagem de estações quente e fria e feno de aveia com Azevém – pode-se desenvolver culturas para venda como soja e milho, levando a rendas alternativas e melhores absorções de nutrientes. Deste modo, pode-se construir outros modelos com outros objetivos para introdução de novas atividades na agricultura. Pode-se, também, elaborar procedimentos que permitam a avaliação e a análise de outros resultados.

Uma das limitações da pesquisa refere-se à não consideração das diferenças, entre as culturas, relativas a vida útil e nível de investimentos, que se refletiriam nos custos fixos de cada atividade. Ao se empregar o conceito de custo operacional, a combinação ótima de atividades, isto é, aquela que propicia a maior margem bruta, não significa, necessariamente, a combinação que propicia maior lucro, que seria a mais desejável. Porém, quanto maior a margem bruta, maior é a capacidade dos agricultores de saldar seus compromissos financeiros assumidos na obtenção de recursos de custeio. Além disso, maiores margens brutas representam maior possibilidade de maximização do lucro, visto que margens brutas positivas e elevadas representam o saldo remanescente, depois de pagos todos os custos operacionais, que será usado para remunerar os demais custos de produção não incluídos na análise.

Para trabalhos futuros sugere-se a implementação, no modelo, dos custos de oportunidade sobre o capital circulante, o que apresenta melhores aplicações a agricultores de pequeno porte e com restrições financeiras.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMI, P. F. 2012 INTENSIDADES DE PASTEJO E NÍVEIS DE CAMA DE AVIÁRIO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA. Tese de doutorado: Universidade Federal do Paraná, 2012.

AGE – ASSESSORIA DE GESTÃO ESTRATÉGICA. Projeções do Agronegócio - Brasil - 2008/09 a 2018/19.

AGNES, G. Emissões de gases no processo de compostagem de dejetos suínos. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós- Graduação em Agroecossistemas, 2012.

ALVAREZ, R.; GUNNAR, L. Semi-continuous co-digestion of solid slaughterhouse waste, manure, and fruit and vegetable waste. *Renewable Energy*, Great Britain, v.33, n.2, p.726-734, 2008.

ASSENHEIMER, A. Tratamento de dejetos de bovinos em sistema intensivo de produção de leite com aeração mecânica. Dissertação de Mestrado, UNIOESTE, 2007.

AVIZOM. Associação dos Avicultores da Zona da Mata. Cama de frango. Visconde do Rio Branco – MG, 65p., 2006.

BAASCH, Sandra Sulamita Nahas. In apostila - Avaliação de impactos Ambientais. Programa de Pós-graduação em Engenharia da Produção – UFSC: Florianópolis - Sc. 1999.

BARNABÉ, M.C. Produção e composição bromatológica da *Brachiaria brizanta* cv. Marandu adubada com dejetos de suínos. 2001. 23 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Goiás. 2001

BELUSSO, Diane; SERRA, Elpídio. CARACTERIZAÇÃO SÓCIO-ESPACIAL DA AGRICULTURA NO OESTE PARANAENSE: UM ESTUDO DE CASO EM PALOTINA-PR. *Revista Agrária*, São Paulo, Nº 4, p. 20-39, 2006.

BIEMBEGUT, M. S. e HEIN, N. Modelagem matemática no ensino. São Paulo: Contexto, 2003.

BOSCO, B. C. Dal et al. UTILIZAÇÃO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA EM PROPRIEDADE AGRÍCOLA – ESTUDO DE CASO. Irriga, Botucatu, v. 13, n. 1, p. 139-144, janeiro-março, 2008.

BRAILE, P.M.; CAVALCANTI, J.E.W.A. Manual de tratamento de águas residuárias. São Paulo: CETESB, 1993

BRANCO, S. M.; HESS, M.L. Tratamento de resíduos. In: AQUARONE, E.;BORZANI, W.; LIMA, V. de A. Biotecnologia: tópicos de microbiologia industrial. São Paulo: C. Blucher, 1975. V.2, Cap.3, p. 47-73.

CABRAL, J.R. et al. Impacto da água residuária de suinocultura no solo e na produção de capim-elefante .Rev. bras. eng. agríc. ambient. vol.15 no.8 Campina Grande Ag. 2011.

CASSOL, P.C. Disponibilidade de macronutrientes e rendimento de milho em latossolo fertilizado com dejetos suíno. Rev. Bras. Ciênc. Solo vol.36 no.6 Viçosa Nov./Dec. 2012

<http://www.scielo.br/img/revistas/rbcs/v36n6/25q02.jpg>

CHEVERRY, C.; MENETRIER, Y. e BORLOY, J. et al. Distribuição do chorume de suínos e fertilização. 1978. Tradução: Osvaldo E. Aranha. Curitiba: ACARPA, 1986, 43p.

COELHO, Antonio Marcos et al. Embrapa Milho e Sorgo - Sistemas de Produção. Versão Eletrônica - 2ª Edição, 2006.

COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E. Seja o doutor do seu milho: nutrição e adubação. 2.ed. Piracicaba: Potafos, 1995. 9p

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 4ª ed. Porto Alegre: SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2004.

CAMPOS, A.T.de; FERREIRA, W.A.; PACCOLA, A.A.; LUCAS JÚNIOR, J.; ULBANERE, R.C.; CARDOSO, R.M.; CAMPOS, A.T. Tratamento biológico aeróbio e reciclagem de dejetos de bovinos em sistema intensivo de produção de leite. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v.26, n.2, p.426-438, 2002.

CONRAD, J. H., MAYROSE, V. B. Animal waste handling and disposal in confinement production of swine. J. Anim. Sci., Champaign, v. 32, n. 4, p. 811-815, 1971

CÔTÉ, C.; MASSÉ, I.D.; QUESSY, S. Reduction of indicator and pathogenic microorganisms by psychrophilic anaerobic digestion in swine slurries. *Bioresource Technology*, Oxford, v.97, n.3, p.686-691, 2006.

Dartora, V. MANEJO DE DEJETOS DE SUÍNOS. Boletim Informativo de Pesquisa- Embrapa Suínos e Aves e Extensão—EMATER/RS. 1998

DERISIO, J. C. Introdução ao Controle da Poluição Ambiental. 1º ed., São Paulo, CETESB, 1992, p.130

DORTZBACH, D. Dinâmica de atributos físicos e químicos em solo sob plantio direto adubado com dejetos suínos e ureia. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Florianópolis, 2009.

ESTRECK, E.V et al. Solos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: EMATER RS, 2008. 222p

EMBRAPA. Recomendações técnicas para a cultura da soja na região Central do Brasil 1998/99. Londrina: Centro Nacional de Pesquisa de Soja (Londrina, PR), 1998, p. 182.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa. Manual de análises Químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2.ed.rev.ampl. Brasília, EMBRAPA Informações Tecnológicas, 2009, 627p.

Pecuária e Abastecimento, 2006. Campina Grande. Comunicado Técnico, 278.

ENSMINGER M. E., OLDFIELD, J.E. , W.W. HEINEMANN. Feeds & Nutrition. 2 ed. Clovis, California, The Ensminger Publishing Company, 1990. 1544 p.

FAEP - Federação da Agricultura do Estado do Paraná. Disponível em: <<http://www.sistemafaep.org.br/Faep/>>. Acesso em: 30/01/2011.

FELLENBERG, Günter. Introdução aos problemas da poluição ambiental. Tradução Dejurgen Heinrich Maar. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária; Springer; Editora da Universidade de São Paulo, 1980.

Fukayama, E. H. CARACTERÍSTICAS QUANTITATIVAS E QUALITATIVAS DA CAMA DE FRANGO SOB DIFERENTES REUTILIZAÇÕES: EFEITOS NA PRODUÇÃO DE BIOGÁS E BIOFERTILIZANTE. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2008.

GIROTTI, A. F.; ÁVILA, G. S. Sistemas de Produção de Frangos de Corte. Centro Nacional de Pesquisas em Suínos e Aves – Concórdia – SC. 182p. 2009

HORNGREN, C. T.; FOSTER, G.; DATAR, S. M. Contabilidade de custos. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000, p. 286.

IAP – Instituto Ambiental do Paraná. Disponível em: <<http://www.iap.pr.gov.br/>> Acesso em: 03/06/2012.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Atlas de Saneamento. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas_saneamento/>. Acesso em: 20/03/2011.

JUNIOR, M. A. P. O. et al. Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos com e sem separação da fração sólida em diferentes tempos de retenção hidráulica Eng. Agríc. vol.29 no.3 Jaboticabal July/Sept. 2009

JUNIOR, C. et al. Agroenergia da biomassa residual: perspectivas energéticas, socioeconômicas e Ambientais. 2ª ed. rev. - Foz do Iguaçu/Brasília: Itaipu Binacional, Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação, 2009.

JUNIOR, M. A. P. O. et al Compostagem dos resíduos da produção avícola: cama de frangos e carcaças de aves *ARTIGOS CIENTÍFICOS SANEAMENTO E CONTROLE AMBIENTAL Eng. Agríc. vol.30 no.3 Jaboticabal June 2010.*

KAMINSKI, J.; PERUZZO, G. Eficácia de fosfatos naturais reativos em sistemas de cultivo. Santa Maria, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997, p. 31. (Boletim Técnico 3).

KELLEHER, B P., LEAHY, J. J., HENIHAN, A. M, O'DWYER, T. F., SUTTON, D., LEAHY, M. J. Advances in poultry litter disposal technology – a review. *Bioresource Technology*, v. 83, p. 27-36, 2002.

KONZEN, E.A. Manejo e utilização dos dejetos de suínos. Concórdia, SC, EMBRAPA - CNPSA, 32p. (Circular Técnica, 6), 1983.

LAPOIX, F. Cidades verdes e abertas. In: FERRI, M. G. Enciclopédia de Ecologia. São Paulo: EDUSP, 1979. p.324-336.

LIMA FILHO, D. et al. Viabilidade Econômica - Financeiro da Infraestrutura de Armazenamento de Soja em Uberlândia-MG. In: V CONGRESSO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO RURAL (ABAR). Campinas, 2005.

Lo MONACO, P. A. V. et al. DESEMPENHO DE FILTROS CONSTITUÍDOS POR FIBRA DE COCO NO TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS DE SUINOCULTURA Engenharia na Agricultura, Viçosa - MG, V.17 N.6, 473-480p. NOV / DEZ. 2009

LOVATTO, P. A. Suinocultura Geral. Capítulo 09 Dejetos. Disponível em: http://w3.ufsm.br/suinos/CAP9_dej.pdf Acesso em: 06/07/2012.

LUCAS JÚNIOR, J. Aproveitamento energético de resíduos da suinocultura. In: ENERGIA, Automação e Instrumentação. Lavras: UFLA/SBEA, 1998. p. 81-7.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. ASSESSORIA DE GESTÃO ESTRATÉGICA. Projeções do Agronegócio Brasil - 2008/09 a 2018/19. Brasília, fevereiro de 2009.

MAMEDE, R. A. Consumo de água e relação água/ração para suínos em crescimento e terminação. 1980. 32 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1980.

MEDRI, Valdir. Modelagem e otimização de sistemas de lagoas de estabilização para tratamento de dejetos suínos. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1997.

MELLEK, J.E. et al. Dairy liquid manure and no-tillage: Physical and hydraulic properties and carbon stocks in a Cambisol of Southern Brazil. Soil & Tillage Research v.110, p. 69–76, 2010.

MENDONÇA, Cláudio. Agronegócio: Atividade alavanca exportações do Brasil geografia, Geografia do Brasil, Agropecuária no Brasil, 2005. Disponível em: <http://educacao.uol.com.br/geografia/agronegocio-atividade-alavanca-exportacoes-do-brasil.jhtm> Acesso em: 04/04/2012.

MORI. H. F. et al. PERDA DE ÁGUA, SOLO E FÓSFORO COM APLICAÇÃO DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO EM LATOSSOLO SOB PLANTIO DIRETO E COM CHUVA SIMULADA R. Bras. Ci. Solo, 33:189-198, 2009.

ORRICO, A.C.A.; LUCAS JÚNIOR, J.; ORRICO JÚNIOR, M.A.P. Caracterização e biodigestão anaeróbia dos dejetos de caprinos. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.27, n.3, p.639-647, 2007.

PALHARES, J.C.P. Uso de cama de frango na produção de biogás. EMBRAPA, Concórdia/SC, 2004. http://www.cnpsa.embrapa.br/sgc/sgc_publicacoes/cit41.pdf

PRADO, Darci. Programação Linear. Belo Horizonte: DG, 1999, p. 9-15.

PUCCINI, Abelardo de L.; PIZZOLATO, Nelio D. Programação Linear. Rio de Janeiro, São Paulo; São Paulo: LTC, 1987.

LACHTERMACHER, G. Pesquisa operacional 4ª edição, ed. Person, 2009

SÁNCHEZ, E; BORJA, R.; WEILAND, P.; TRAVIESO, L.; MARTÍN, A. Effect of substrate concentration and temperature on the anaerobic digestion of piggery waste in a tropical climate. *Process Biochemistry*, v. 37, p. 483- 489, 2001.

SANDMANN, A; BARROS, M. Modelagem matemática dos condicionantes técnicos, econômicos e financeiros de uma unidade de produção agropecuária com bovinocultura de leite. Medianeira: Edição do autor, 2010.

SEVERINO, L. S.; ET AL. Composição química de onze materiais orgânicos utilizados em substratos para produção de mudas. EMBRAPA, Campina Grande, PB, 2006.

SILVA NETO, B.; OLIVEIRA, A. de. A Programação Matemática na Análise de Sistemas de Produção Agropecuária. Parte I. Ed. UNIJUÍ – Ijuí, 2007.

SILVA NETO, Benedito; Oliveira, Angélica de. Modelagem e planejamento de sistemas de produção agropecuária. Ijuí; unijuí, 2009.

SILVA, E. M. e ROSTON, D.M. TRATAMENTO DE EFLUENTES DE SALA DE ORDENHA DE BOVINOCULTURA: LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO SEGUIDAS DE LEITO CULTIVADO. *Eng. Agríc.*, Jaboticabal, v.30, n.1, p.67-73, jan./fev. 2010

SMITH, E.; GORDON, R.; MADANI, A.; STRATTON, G. Year-round treatment of dairy wastewater by constructed wetlands in Atlantic Canada. *Wetlands*, v.26, n.2, p.349-357, 2006.

STEINFELD, H. et al. Livestock's long Shadow. Environment Issues and Options. Rome: LEAD and FAO, 2006, p. 408. Disponível em: <http://www.virtual-centre.org/en/library/key_pub/longshad/A0701E00.htm> Acesso em: 05/04/2012.

TELOEKEN, Amadeu. MODELAGEM MATEMÁTICA DO TRATAMENTO DE DEJETOS SUÍNOS EM UNIDADES DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIAS. Dissertação de Mestrado, UNIJUÍ – UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, 2009.

USDA – UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Disponível: <http://www.usdabrazil.org.br/portugues/about-usda-brazil.asp> Acesso em: 17 jul. 2009.

<http://www.mundi.com.br/Fotos-Sao-Miguel-do-Iguacu-2714440.html>, visitada em 05/11/2012.

VALADARES FILHO, S.C., MACHADO, P.A.S., CHIZZOTTI, M.L. et al. BR-CORTE 1.0. Cálculo de Exigências Nutricionais e Formulação de Dietas. 2012. Disponível em www.brcorte.ufv.br. Acesso em 02/08/2013.

VIVAN, M. et.al. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.14, n.3, p.320–325, 2010 Campina Grande, PB, UAEEA/UFCEG
<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v14n3/v14n03a13.pdf>