CARINA SIMIONATO DE BARROS

Uso da Programação Linear como ferramenta pedagógica e gerencial na produção

agropecuária: o caso da Escola-fazenda Canuanã

**Pirassununga
2012**

CARINA SIMIONATO DE BARROS

Uso da Programação Linear como ferramenta pedagógica e gerencial na produção agropecuária: o caso da Escola-fazenda Canuanã

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Nutrição e Produção Animal da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Ciências

Departamento:
Nutrição e Produção Animal

Orientador:
Prof. Dr. Augusto Hauber Gameiro

Pirassununga

2012

Autorizo a reprodução parcial ou total desta obra, para fins acadêmicos, desde que citada a fonte.

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO-NA-PUBLICAÇÃO

(Biblioteca Virginie Buff D'Ápice da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da
Universidade de São Paulo)

T.2648
FMVZ

Barros, Carina Simionato de

Uso da programação linear como ferramenta pedagógica e gerencial na produção agropecuária: o caso da Escola-fazenda Canuanã / Carina Simionato de Barros. -- 2012.
179 f. : il.

Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo. Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia. Departamento de Nutrição e Produção Animal, Pirassununga, 2012.

Programa de Pós-Graduação: Nutrição e Produção Animal.

Área de concentração: Nutrição e Produção Animal.

Orientador: Prof. Dr. Augusto Hauber Gameiro.

1. Ensino. 2. Formação técnica pedagógica. 3. Minimização de custo. 4. Modelo matemático. 5. Programação linear. 6. Otimização, I. Título.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA

Comissão de Ética no uso de animais

CERTIFICADO

Certificamos que o Projeto intitulado "Uso da programação linear como ferramenta pedagógica e gerencial na produção agropecuária: o caso da Escola Fazenda Canuanã", protocolado sob o nº 2683/2012, não utilizando animais, sob a responsabilidade do(a) Prof. Dr. Augusto Hauber Gameiro, está de acordo com os princípios éticos de experimentação animal da "Comissão de Ética no uso de animais" da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo e foi aprovado em reunião de 15/8/2012.

We certify that the Research "Use of linear programming as a tool in teaching and management in agricultural production: the case of Canuanã agricultural school", protocol number 2683/2012, not using animals, under the responsibility Prof. Dr. Augusto Hauber Gameiro, agree with Ethical Principles in Animal Research adopted by "Ethic Committee in the use of animals" of the School of Veterinary Medicine and Animal Science of University of São Paulo and was approved in the meeting of day 8/15/2012.

São Paulo, 16 de agosto de 2012.

Denise Tabacchi Fantoni
Presidente

FOLHA DE AVALIAÇÃO

Nome: BARROS, Carina Simionato de

Título: Uso da programação linear como ferramenta pedagógica e gerencial na produção agropecuária: o caso da Escola-fazenda Canuanã

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Nutrição e Produção Animal da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Ciências

Data: ____/____/____

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____

Assinatura: _____ Julgamento: _____

Prof. Dr. _____

Assinatura: _____ Julgamento: _____

Prof. Dr. _____

Assinatura: _____ Julgamento: _____

Prof. Dr. _____

Assinatura: _____ Julgamento: _____

Prof. Dr. _____

Assinatura: _____ Julgamento: _____

AGRADECIMENTOS

A execução de uma pesquisa como esta exige a participação de diversas pessoas, direta ou indiretamente. Este trabalho é fruto de uma trajetória que começou há muitos anos e neste momento tenho oportunidade de agradecer aos que colaboram para minha formação pessoal e profissional.

Ao Prof. Dr. Augusto Hauber Gameiro, orientador, que desde o primeiro momento acreditou em mim e possibilitou que eu pudesse trabalhar e fazer o doutorado, afirmando que era possível. Sua confiança e orientação foram fundamentais para meu desenvolvimento. De maneira segura foi possível realizar uma pesquisa cujos resultados terão aplicação efetiva e serão úteis a uma comunidade, o que sempre foi nosso intuito. Toda minha admiração ao seu brilhantismo acadêmico que está aliado ao seu lado humanista.

A Profa. Dra. Alda Lúcia Gomes Monteiro, orientadora do meu projeto de mestrado, com quem trabalhei por anos e muito aprendi. Até hoje conto com sua colaboração, pois acompanha minha trajetória desde a graduação.

Ao Prof. Dr. José Vicente Caixeta Filho e Prof. Dr. Samuel Ribeiro Giordano, que prontamente aceitaram nosso convite para participar da banca. Na qualificação apresentaram relevantes considerações que colaboraram para o aprimoramento deste trabalho.

À Profa. Dra. Angélica Simone Cravo Pereira, Profa. Dra. Fabiana Leonelli, ao Prof. Dr. Francisco Palma Rennó, ao Prof. Dr. Luis Felipe Prada e Silva, ao Prof. Dr. Luis Fernando Zuin, ao Prof. Dr. Marcos Veiga dos Santos e ao Prof. Dr. Rubens Nunes por aceitarem participar da banca examinadora.

Aos professores do Programa de Nutrição e Produção Animal, Prof. Dr. Marcos Veiga dos Santos, Prof. Dr. Paulo Henrique Mazza Rodrigues, Prof. Dr. Ricardo de Albuquerque, com quem tive aulas durante o curso.

Ao Programa de Nutrição e Produção Animal da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo por possibilitar a realização do doutorado, ao secretário do Programa, João Paulo Barros, e a todos os funcionários.

À Fundação Bradesco por permitir que eu iniciasse meu trabalho na instituição e continuasse meus estudos, e por possibilitar a realização do projeto na Escola de

Canuanã. Aos gestores Antonio Carlos das Neves, Rosa Maria Pires Bueno, Evelin Vanessa C. dos Santos Marques e toda a equipe da Educação Profissional.

A equipe de Canuanã, que acreditou no projeto, realizou as atividades com dedicação e está motivada para aplicar a modelagem: Ricardo Rehder, Edilson Maranhão, Sandra Nelly, Arlete Figueiredo, Ramiro Nieto Silveira, Jefferlene S. Almeida, Rubian Luiz Carvalho Ribeiro, Domicio Rodrigues Brito, Wilson Zorketti, Luiz Antero Seixas Vargas, Luciano Simão e Campos, e Elenice Cortina.

Às minhas grandes amigas, que mesmo longe, sempre estão perto: Chayane da Rocha, Maria Angela Machado Fernandes e Fabiana Marinelli Pontes da Rocha.

A Camila Raineri, minha parceira de doutorado que está sempre disponível para auxiliar.

Ao Cleber Damião Rocco pelo apoio na modelagem matemática e no uso do GAMS.

A Mariana, a Manoela e o Bruno por compreenderem os momentos de muito trabalho e tornarem os intervalos renovadores com sua alegria e carinho.

À minha família que é maravilhosa e ilumina minha vida, agradeço diariamente por ter a oportunidade de conviver e ser amada por todos. Aos meus pais, Zaclis e Adalberto, que nunca mediram esforços para que eu pudesse estudar e sempre me cercam de amor e apoio. Ao meu marido Anderson, que me incentivou a investir no doutorado e compreendeu todos os momentos em que foi necessária intensa dedicação. Ao meu irmão Rafael, sempre companheiro e amigo. Minhas tias Marli e Glamir que sempre estão por perto. À Ida Regina e a Lídia que torcem por mim. Ao Lupi e Fiapo que me esperam abanando os rabos todos os dias.

RESUMO

BARROS, C. S. Uso da programação linear como ferramenta pedagógica e gerencial na produção agropecuária: o caso da Escola-fazenda Canuanã. 2012. 179 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2012.

O gerenciamento de uma escola-fazenda é atividade complexa, exigindo profissionais qualificados e ferramentas de apoio para tomada de decisão. O desafio é selecionar atividades agropecuárias que otimizem os recursos disponíveis. Nesse contexto, o objetivo deste estudo é desenvolver um modelo matemático para uma escola-fazenda aplicando a técnica de Programação Linear para identificar a combinação ótima de atividades agrícolas, pecuárias e agroindustriais de modo a atender – a um mínimo custo - a demanda de alimentos da população que reside no local e possibilitar a realização de práticas pedagógicas. O modelo tem aplicação na Escola de Canuanã da Fundação Bradesco, localizada em uma área de 2.549,07 hectares, no município de Formoso do Araguaia, Tocantins. Na comunidade residem 1.173 pessoas, sendo 909 alunos que estudam em regime de internato. Os alunos do Ensino Médio fazem o Curso Técnico em Agropecuária de forma concomitante e para isso a escola-fazenda precisa proporcionar um ambiente de aprendizagem com diversidade de culturas vegetais, criação de animais e produção agroindustrial. A estruturação do modelo foi realizada paralelamente a um programa de formação técnica pedagógica para gestores e professores com encontros presenciais e videoconferências. A equipe escolar auxiliou na coleta de dados, acompanhou a modelagem e interpretação de resultados para utilizar a ferramenta com os alunos e validou o modelo em encontro presencial na Escola de Canuanã. O modelo matemático proposto é composto por uma função objetivo e cinco conjuntos de restrições que se referem à produção animal, vegetal e agroindustrial, refeições e disponibilidade de recursos. Destaca-se que foram necessárias restrições pedagógicas para garantir um mínimo de animais, culturas e produtos agroindustriais como recursos para as aulas práticas. Os resultados indicaram uma solução ótima com redução do número de algumas espécies animais e alterações nas áreas de produção vegetal, destacando-se maior investimento na horticultura. Ao comparar o custo médio atual da escola-fazenda com aquele indicado pelo modelo de otimização, nota-se que poderia haver redução de 54,2%, resultado de uma realocação dos recursos produtivos, sem comprometer o abastecimento da comunidade e a realização de práticas pedagógicas. Transformar sistemas reais de produção agropecuária em um conjunto de equações envolve habilidades do domínio cognitivo e afetivo. A elaboração do modelo proporciona mobilização de conhecimentos, troca de informações, estabelecimento de relações entre as atividades, avaliação dos dados para gerar parâmetros e criação de equações matemáticas, estimulando postura reflexiva. Esses processos são inerentes do ensino e aprendizagem, o que valida o emprego desta ferramenta na área pedagógica. Destaca-se ainda, que a modelagem propicia a multidisciplinaridade e identifica áreas que demandam pesquisas. Conclui-se que o modelo proposto é uma ferramenta de apoio à decisão com potencial para contribuir na gestão organizacional, na formação de técnicos e docentes em modelagem matemática e na elaboração de métodos para as práticas pedagógicas contribuindo com o processo de ensino-aprendizagem.

Palavras-chave: Ensino. Formação Técnica pedagógica. Minimização de custo. Modelo Matemático. Programação linear. Otimização.

ABSTRACT

Barros, C. S. **Use of operational research in management and teaching in farming systems: the case of Canuanã farm-school.** [**Uso da programação linear como ferramenta pedagógica e gerencial na produção agropecuária: o caso da Escola-fazenda Canuanã**]. 2012. 179 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2012.

Management of farm-school is a complex activity requiring skilled professionals and support tools for decision making. The challenge lies in selecting agricultural activities to optimize available resources. In this context, the objective of this study is to develop a mathematical model for a farm-school using Linear Programming to identify the optimal combination of agricultural, livestock and food processing activities to provide food for the local population and to allow practical lessons. The model has application at the Canuanã School of Bradesco Foundation in area of 2,549.07 in Formoso do Araguaia, Tocantins state. There are 1173 inhabitants, of which 909 are studying in a boarding. The high school students are studying Agricultural Technician and the farm-school must provide a learning environment with a diversity of crops, livestock and food processing production. The model formulation was performed alongside a technical training program for managers and teachers with meetings and videoconferences. The school staff assisted in data collection followed the modeling and interpretation of results for using the tool with students and validated the model in meeting in Canuanã. The mathematical model consists of an objective function and five sets of constraints that refer to animal production, agricultural and food processing, food supply and resource availability. It is noteworthy that restrictions were necessary to ensure a minimum of animals, crops and agro-industrial products to practical lessons with students. The results indicated an optimal solution by reducing the number of some animal species and some changes in the agricultural, emphasizing greater investment in horticulture. When comparing the current average cost of farm-school with that indicated by the optimization model, we note that there could be a reduction of 54.2%, as a result of productive resources reallocation without compromising the food supply to the community and the realization of pedagogical practices. Transforming real systems of agricultural production in a set of equations involves skills of cognitive and affective domain. The model provides mobilization of knowledge, exchange of information, establishing relationships between activities, evaluating data to generate parameters and creating mathematical equations, encouraging reflective posture. These processes are inherent in teaching and learning, which validates the use of this tool. Note also, that modeling provides a multidisciplinary and identifies areas that require research. It is concluded that the proposed model is a decision support tool with the potential to contribute in organizational management, training of technicians and teachers in mathematical modeling and developing methods for teaching practices contributing to the process of teaching and learning.

Keywords: Education. Training teaching technique. Minimizing cost. Mathematical modeling. Linear programming. Optimization.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	18
2	MODELAGEM MATEMÁTICA COMO PRÁTICA PEDAGÓGICA NA EDUCAÇÃO PROFISSIONAL	19
2.1	MODELAGEM MATEMÁTICA E O PROCESSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM	19
2.2	EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E O ENSINO TÉCNICO EM AGROPECUÁRIA	24
3	PROGRAMAÇÃO LINEAR APLICADA À GESTÃO E AO PLANEJAMENTO AGROPECUÁRIO	33
3.1	ANTECEDENTES	35
3.2	AVANÇOS NAS APLICAÇÕES VOLTADAS À PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA	43
4	MATERIAL E MÉTODO	49
4.1	REPRESENTAÇÃO DIAGRAMÁTICA DO MODELO PROPOSTO	51
4.2	REPRESENTAÇÃO MATEMÁTICA DO MODELO PROPOSTO	52
4.2.1	Índices dos conjuntos do modelo	52
4.2.2	Parâmetros do modelo	53
4.2.3	Variáveis	55
4.2.4	Função objetivo	56
4.2.5	Restrições	56
4.2.5.1	Do Setor Pecuário	57
4.2.5.2	Do Setor Agrícola	59
4.2.5.3	Da Agroindústria	61
4.2.5.4	Do Refeitório	61
4.3	ESTUDO DE CASO: APLICAÇÃO DO MODELO NO PLANEJAMENTO DA ESCOLA DE CANUANÃ	64
4.3.1	A Escola de Canuanã	67
4.3.1.1	Curso Técnico em Agropecuária	69
4.3.2	Área Urbana da Escola de Canuanã	71
4.3.3	Aplicação do Modelo de Programação Linear	72
4.3.3.1	Número de elementos contidos nos conjuntos	72
4.3.3.2	Cenários	72
4.3.4	Formação técnica pedagógica da equipe envolvida no processo e levantamento e sistematização de dados	73
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	77
5.1	RESULTADOS DO LEVANTAMENTO E SISTEMATIZAÇÃO DE DADOS	77
5.1.1	Setor Pecuário	77
5.1.1.1	Bovinocultura de corte	77
5.1.1.2	Bovinocultura de leite	79
5.1.1.3	Ovinocultura	81
5.1.1.4	Avicultura de corte	82
5.1.1.5	Avicultura de postura	83
5.1.1.6	Suinocultura	83
5.1.1.7	Equideocultura	84
5.1.1.8	Apicultura	85

5.1.1.9	Fábrica de ração e beneficiamento de grãos.....	86
5.1.2	Setor Agrícola.....	86
5.1.2.1	Culturas anuais	86
5.1.2.2	Horticultura	87
5.1.2.3	Fruticultura	88
5.1.2.4	Forragicultura	89
5.1.2.5	Jardinagem.....	89
5.1.2.6	Serviços mecanizados.....	90
5.1.3	Setor de Alimentação	90
5.1.4	Mão de obra.....	95
5.1.5	Máquinas agrícolas.....	96
5.2	RESULTADOS DA APLICAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO LINEAR.....	97
5.2.1	Solução ótima obtida.....	97
5.2.1.1	Produção animal	97
5.2.1.2	Produção Agrícola.....	100
5.2.1.3	Produção agroindustrial.....	104
5.2.1.4	Refeições	105
5.2.1.4.1	Café da manhã	106
5.2.1.4.2	Almoço e Jantar.....	110
5.2.1.4.3	Lanches.....	114
5.2.1.5	Produção e aquisição de produtos para compor as refeições da população ...	116
5.2.1.6	Mão de obra.....	118
5.2.1.7	Máquinas agrícolas.....	120
5.2.2	Análise de sensibilidade	121
5.2.2.1	Variações na ocupação da área da escola-fazenda com atividades agropecuárias	121
5.2.2.2	Variações no número de trabalhadores da escola-fazenda.....	125
5.2.2.3	Variações na disponibilidade de máquinas na escola-fazenda.....	127
5.2.2.4	Variações no número de pessoas da escola-fazenda	128
5.3	Resultados do processo de formação pedagógica	131
6	CONCLUSÕES	141
6.1	PERSPECTIVAS DE PESQUISAS FUTURAS	142
	REFERÊNCIAS	143
	APÊNDICE	161
	ANEXO	179

1 INTRODUÇÃO

As escolas-fazenda foram estabelecidas no Brasil na década de 60 com o objetivo de proporcionar um ambiente de aprendizagem para formação de alunos em Cursos Técnicos Agrícolas que propiciassem o aprender a fazer fazendo. Sendo assim, a escola-fazenda precisa dispor de atividades pecuárias, agrícolas e agroindustriais diversificadas para o processo de ensino e aprendizagem. Por outro lado, há também a necessidade de manutenção desse sistema, uma vez que na maioria dos casos os alunos permanecem na escola em regime de internato, e para isso a escola-fazenda precisa se auto-abastecer. Portanto, é necessário conciliar educação e produção.

O gerenciamento de uma escola-fazenda é uma atividade complexa exigindo profissionais qualificados que necessitam de ferramentas de apoio para tomada de decisão. O planejamento é fundamental. Para planejar há necessidade de se conhecer o negócio e obter os diversos índices produtivos e econômicos. A partir desses dados é possível realizar avaliação técnica e econômica por meio de diagnóstico da situação atual. As análises dos resultados obtidos devem orientar o planejamento com intuito de utilizar os recursos de forma mais eficiente possível.

Em se tratando de uma propriedade com produções diversificadas, como pecuária, agricultura e agroindústria, torna-se mais complexo planejar e optar pela melhor combinação de atividades de modo a atender a demanda pedagógica e produtiva para manutenção do sistema. Deve-se considerar a limitação de recursos que restringe a produção, tais como a disponibilidade de área para cultivo e criação, mão de obra, hora-máquina e capital. Soma-se ainda, o fato de que algumas criações ou culturas devem ser mantidas, mesmo que não sejam viáveis economicamente, mas para proporcionar um ambiente de aprendizagem para os alunos. Dessa forma, o desafio torna-se ainda maior na definição da combinação mais eficiente capaz de gerar melhor resultado.

Nesse contexto surgem questões como: o que produzir? Quanto produzir? É mais viável produzir ou comprar determinados produtos no mercado? A disponibilidade de recursos está compatível com a produção atual? Qual a melhor forma de alocar os recursos disponíveis? Entre diversas outras que são frequentes.

A busca por essas respostas foi o estímulo para a realização desta pesquisa. Percebe-se que essas questões são relevantes e suas respostas fundamentais para o planejamento e manutenção de uma escola-fazenda. Gestores e docentes da área estão ávidos por ferramentas

que possam auxiliá-los a melhorar sua eficiência técnico-econômica e com isso contribuir para a melhoria da formação de técnicos. Alunos dos cursos anseiam em serem profissionais capazes de atender a demanda de produtores que precisam de auxílio no gerenciamento de suas atividades. Professores almejam corresponder a essa expectativa e necessitam de estratégias de ensino para que as competências gerenciais possam ser construídas pelos alunos e que esses, como futuros profissionais, apliquem-nas contribuindo com a agropecuária.

A Programação Linear pode contribuir nesse processo, sendo uma técnica de solução de problemas, por meio da formulação de modelos matemáticos que reproduzam o sistema real de produção. Busca-se alocar os recursos disponíveis para obter a solução ótima que serve de referência para uma decisão real. Assim, é possível fazer um diagnóstico do sistema produtivo e realizar análise de sensibilidade gerando diversos cenários.

Dessa forma, a Programação Linear, além de ferramenta gerencial em si, pode ter aplicação pedagógica fazendo parte do processo de ensino e aprendizagem, pois permite que se resolvam situações problema vivenciadas cotidianamente, e com isso ocorra aprendizagem significativa.

Com essa motivação, o objetivo central desta pesquisa foi propor um modelo matemático aplicando a técnica de Programação Linear como ferramenta pedagógica e gerencial para uma escola-fazenda.

O modelo matemático teve aplicação na Escola de Canuanã “Doutor Dante Pazzanese” da Fundação Bradesco, localizada no município de Formoso do Araguaia, Sul do estado do Tocantins. A escola-fazenda fica na zona rural em local isolado dos centros urbanos, cerca de 60 km do centro da cidade de Formoso do Araguaia. Os principais locais de compra de insumos e alimentos são Gurupi TO (130 km), Palmas TO (360 km) e Goiânia GO (683 km).

A propriedade ocupa 2.549,07 hectares. Há uma área urbana com 72.343,14 m² construídos onde há escola, hospital, lavanderia, cozinha, refeitório, sede administrativa, áreas de lazer e moradias de alunos e funcionários. A Escola de Canuanã atende crianças e jovens no Ensino Fundamental, Médio e Educação Profissional. Funciona em regime de internato. Além disso, os funcionários também residem na escola com seus familiares, sendo que há oportunidade e incentivo para que todos maiores de idade trabalhem na escola. Em 2011 a população era de 1.173 habitantes, e desses, 909 eram alunos.

O restante da área é ocupada pela agropecuária, Área de Reserva Legal e Área de Preservação Permanente. No Setor Pecuário desenvolve-se bovinocultura de corte com rebanho comercial e elite, bovinocultura de leite em sistema convencional e intensivo, ovinocultura de corte, avicultura de corte e postura, suinocultura, equideocultura (equinos e muares) e apicultura, além da fábrica de ração. No Setor Agrícola há atividades relacionadas a culturas anuais (milho, arroz e sorgo forrageiro), horticultura (30 cultivos), fruticultura (17 cultivos), forragicultura e jardinagem. Além dessas atividades, esse Setor ainda é responsável pelos serviços mecanizados, tais como coleta de lixo da propriedade, manutenção de máquinas e implementos, transporte de materiais para obras na área urbana, alimentos e insumos agropecuários.

A população que reside na escola, alunos e funcionários, utilizam o refeitório diariamente. Dessa forma, há o Setor de Alimentação que é responsável por ofertar três refeições diárias no refeitório: café da manhã, almoço e jantar. Além disso, ofertam-se dois lanches, um pela manhã e outro pela tarde servidos no local onde as pessoas se encontram. Para atender essa demanda por alimentos o Setor dispõe de cozinha, refeitório, padaria, agroindústria de derivados do leite, agroindústria de frutas, açougue e abatedouro.

O Setor Pecuário e o Agrícola fornecem os alimentos para o Setor de Alimentação que os consome *in natura* ou os processa na agroindústria, açougue ou padaria. Diante dessas múltiplas e correlacionadas atividades, a equipe gestora da escola-fazenda enfrenta dificuldades de planejamento. Há conflitos internos entre os setores que produzem (Setor Pecuário e Agrícola) e o que consome (Setor de Alimentação), uma vez que a produção agropecuária nem sempre atende toda a demanda da comunidade.

O desafio da Escola de Canuanã é maximizar sua auto-suficiência: produzir o máximo possível dentro da propriedade e para isso precisa fazer uso eficiente dos recursos disponíveis (terra, mão de obra, máquinas e equipamentos, capital). Ressalta-se que a localização geográfica dificulta a logística de compra de produtos. Um exemplo é o caso de compras de frutas e verduras que são realizadas em Goiânia (683 km), onde se localiza a Central de Abastecimento (Ceasa Goiás) mais próxima. Além de fornecer alimentos para sua população, a escola deve disponibilizar áreas para que as atividades práticas do Curso Técnico em Agropecuária sejam realizadas.

A formulação de um modelo matemático para a Escola de Canuanã, além de contribuir para o gerenciamento organizacional, permite desenvolver estratégias de ensino que possibilitem a construção de competências gerenciais. Para isso, estruturou-se um programa de formação técnica pedagógica para a equipe escolar a fim de que pudessem

compreender a importância da coleta de informações e sua organização; identificar as variáveis principais do sistema de produção; coletar e organizar dados; relacionar as atividades da escola-fazenda; aprender conceitos sobre modelagem; interpretar os resultados do modelo; e utilizar a modelagem matemática como estratégia de ensino. Dessa forma, a equipe escolar poderá utilizar o modelo formulado no gerenciamento da escola e nas aulas do Curso Técnico em Agropecuária.

O modelo matemático objetiva identificar a combinação mais eficiente de atividades agrícolas, pecuárias e agroindustriais para possibilitar as práticas pedagógicas desenvolvidas pela escola-fazenda e atender a demanda de alimentos da população que reside no local a um mínimo custo.

1.1 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

A tese está estruturada em seis capítulos, referências, apêndices e anexo.

O presente capítulo (Introdução) apresenta o problema de pesquisa, objetivo e argumentos que justificam a importância deste trabalho.

O capítulo 2 (Modelagem matemática como prática pedagógica na Educação Profissional) apresenta uma revisão bibliográfica sobre a aplicação da modelagem matemática no processo de ensino e aprendizagem e trata da Educação Profissional e do Curso Técnico em Agropecuária. O capítulo 3 (Programação Linear aplicada à gestão e ao planejamento agropecuário) contempla uma revisão sobre o uso da Programação Linear na agropecuária, apresentando os antecedentes e os avanços.

A metodologia da tese está descrita no capítulo quatro (Material e método) que descreve o modelo matemático proposto, suas restrições e cálculos de parâmetros. Apresenta-se também a Escola Canuanã e o processo de formação técnica e pedagógica da equipe envolvida.

No capítulo 5 (Resultados e discussão) apresentam-se e discutem-se os resultados obtidos com o modelo e com as análises de sensibilidade. Por fim, no capítulo 6 (Conclusões) apresentam-se as conclusões fundamentadas nos resultados e discussão.

2 MODELAGEM MATEMÁTICA COMO PRÁTICA PEDAGÓGICA NA EDUCAÇÃO PROFISSIONAL

2.1 MODELAGEM MATEMÁTICA E O PROCESSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM

Modelagem (modelar + agem) é a operação de modelar (modelo + ar), sendo que este verbo remete a fazer um modelo (MICHAELIS, 2010). Cristofolletti (1999) define um modelo como:

Qualquer representação simplificada da realidade ou de um aspecto do mundo real que surja como de interesse ao pesquisador, que possibilite reconstruir a realidade, prever um comportamento, uma transformação ou uma evolução.

Matemática é uma palavra de origem grega que significa “aquilo que se pode aprender” e pode ser considerada como a ciência que trata de quantidades e formas e uma linguagem que as representa (IMENES; LELIS, 1998). Bronowski (1979) define a matemática como uma língua para discutir as partes do mundo real que podem ser descritas por número ou relações semelhantes de ordem.

A partir dessas concepções é possível compreender a modelagem matemática, que é definida por Bassanezi (2002) como “[...] arte de transformar problemas da realidade em problemas matemáticos e resolvê-los interpretando suas soluções na linguagem do mundo real”.

Iritani (1998) apresenta o conceito de que:

[...] a modelagem matemática consiste na representação matemática do que acontece na natureza a partir de um modelo conceitual, idealizado com base no levantamento e interpretação de dados e observações do sistema real, tendo como objetivo uma melhor compreensão do sistema atual, possibilitando prever situações futuras, algumas vezes passadas, porém sempre buscando direcionar ações de decisão.

Neste contexto, um modelo matemático é obtido quando se consegue extrair o essencial da situação-problema e transformá-lo em linguagem matemática sistematizada (BUENO; REIS, 2007).

Segundo Bassanezi (2002), “quando se procura refletir sobre porção da realidade, na tentativa de entender ou de agir sobre ela, o processo implica em selecionar da realidade argumentos ou parâmetros considerados essenciais e formalizá-los por meio de um modelo”.

Segundo Biembengut (2009), no início do século XX na literatura de engenharia e ciências já se utilizava o termo modelagem matemática para denominar a resolução de problemas por meio do processo de descrever, formular e modelar.

Segundo Ackoff e Sasieni (1977) há três tipos de modelos. Os icônicos que são aqueles em que se representam objetos e a escala utilizada para representar a realidade têm relevância, como os mapas e as maquetes. Os analógicos em que um conjunto de propriedades representa outro conjunto, como é o caso de substituição de sistemas elétricos. E por fim os modelos simbólicos que utilizam letras e símbolos que representam variáveis e relações lógicas ou matemáticas, e esses são os modelos matemáticos.

A modelagem matemática pode ser uma estratégia de ensino bastante eficaz, sendo citada nos Parâmetros Curriculares Nacionais de Matemática (BRASIL, 1998). Para modelar um problema parte-se de um fato real ou semirreal, coletam-se dados, esses são analisados e organizados de modo a gerar uma expressão em linguagem matemática capaz de gerar resultados que permitem compreender e analisar a situação proposta.

Ensinar por meio do emprego da modelagem matemática capacita o aluno para uma visão global da realidade na qual ele age (D'AMBROSIO, 1991). No entanto, usar a modelagem matemática como instrumento metodológico exige planejamento do professor e pode-se esbarrar em obstáculos como falta de tempo, falta de interesse dos alunos e despreparo dos professores, sendo que o essencial para desenvolver um bom trabalho é a flexibilidade, criatividade e entusiasmo, tanto dos professores quanto dos alunos (BUENO; REIS, 2007).

Para Barbosa (2002), o emprego da modelagem como estratégia de ensino favorece a investigação de outras áreas do conhecimento por meio da matemática:

[...] modelagem é um ambiente de aprendizagem no qual os alunos são convidados a indagar e/ou investigar, por meio da matemática, situações oriundas de outras áreas do conhecimento. Se tomarmos modelagem de um ponto de vista sócio-crítico, a indagação ultrapassa a formulação ou compreensão de um problema, integrando os conhecimentos de matemática, de modelagem e reflexivo.

Na dimensão cognitiva, as principais ideias matemáticas estão relacionadas a comparar, classificar, quantificar, medir, explicar, generalizar, inferir e avaliar (D'AMBROSIO, 2005). Portanto, são mobilizadas habilidades mais simples ligadas à memorização alcançando até a mais complexa de avaliação, lembrando que o domínio cognitivo, segundo a Taxonomia de Bloom diz respeito ao conhecimento, pensamento e

resolução de problemas (JEREZ, 2006). A cognição diz respeito aos processos pelos quais a pessoa percebe, elabora e comunica (DEPRESBITERIS, 2011).

Na modelagem, Biembengut (2007a) identifica três fases do processo cognitivo: percepção, compreensão, significação/modelo. A primeira, percepção, está relacionada ao reconhecimento da situação problema (delimitação do problema) e a familiarização com o tema (referencial teórico). Na segunda fase tem-se a compreensão, que é desafiante e exige que se compreenda para elaborar hipóteses, formular o modelo (desenvolvimento) e resolução a partir do modelo (aplicação). Por fim, na fase de significação/modelo se faz a interpretação da solução e validação do modelo (avaliação).

O essencial do processo de modelagem é o reconhecimento de uma problemática, a escolha de uma teoria para tratá-la e a produção de novo conhecimento (SADOVSKY, 2007) (figura 2.1).

Figura 2.1 - O processo de modelagem

Fonte: adaptado de Sadovsky (2007)

Neste contexto de ensino, aprendizagem e modelagem pode-se citar a mediação. A mediação para Feuerstein, Klein e Tannenbaum (1999) é um ato de interação entre um mediado e um mediador, sendo que este estimula a reconstrução do sistema cognitivo, pelo desenvolvimento de ideias, significados e elevados níveis de compreensão, ajuda o educando a ir além do conceito, prepara a estrutura cognitiva do mediado para que vá além dos estímulos recebidos e transcenda (DEPRESBITERIS, 2011). O processo de modelagem exige que o aluno seja ativo e interativo e que o professor atue como mediador no processo de ensino aprendizagem, pois parte-se de uma situação problema a ser resolvida e para isso ele precisa produzir, encontrar uma solução.

É importante analisar as operações mentais ou atos mentais conforme sua complexidade para identificar e definir estratégias para aprendizagem. Uma operação mental pode ser entendida como um conjunto de ações internalizadas, organizadas, coordenadas em termos de informações que se recebe de fontes internas e externas (DEPRESBITERIS, 2011). A operação mental pode ser dividida em três fases distintas conforme proposta de Feuerstein (1991), sendo a entrada (*input*), elaboração e saída (*output*), e elas são integradas em uma inter-relação dinâmica. Essa organização permite identificar as operações realizadas e atuar de forma que o educando possa aprender, tornando-se mais fácil identificar dificuldades e solucioná-las.

O ato de modelar exige mobilização de diversas habilidades e a construção da competência de pensar na análise de uma situação (quadro 2.1). A modelagem permite que o aluno possa aprender resolvendo problemas relacionados ao seu cotidiano. Além disso, é um caminho para que se tenha experiência na produção de conhecimento, o que possibilita enfocar o aspecto central visado pelo ensino (SADOVSKY, 2007).

Quadro 2.1 - Funções cognitivas relacionadas à modelagem matemática classificadas nas fases do ato mental com base em proposta de Feuerstein (1999)

Fase de entrada (<i>input</i>): mapeamento detalhado dos sistemas e levantamento de dados	Fase de elaboração: modelagem matemática em si	Fase de saída (<i>output</i>): interpretação dos resultados e realização de análises de sensibilidade
Ter percepção clara e precisa. Ter comportamento exploratório e sistemático. Identificar uma situação problema. Recortar o problema de uma realidade. Coleta de dados com precisão e exatidão. Classificação dos dados. Identificar o conjunto de variáveis relativas à problemática Descrição dos processos.	Perceber o problema e defini-lo com clareza. Distinguir dados relevantes e irrelevantes. Comparar. Percepção global da realidade. Usar raciocínio lógico. Pensar de forma hipotética-referencial. Traçar estratégias para verificar hipóteses. Estabelecer relações. Transformar as relações em um sistema teórico-matemático. Formular o modelo. Aplicar o modelo.	Analisar os resultados. Avaliar os processos. Sintetizar resultados. Transcender para situações reais. Produzir conhecimentos novos sobre a problemática

Fonte: Depresbiteris (2011)

Nota-se que na fase de entrada têm-se ações de menor complexidade relacionadas à memorização de conteúdos. Já na elaboração, as operações são complexas e exigem que se tenha compreensão para formular e aplicar. E por fim, na fase de saída, estão a análise, síntese

e avaliação que culminam com a produção de conhecimentos novos. Portanto, o nível de complexidade é crescente conforme a fase.

A modelagem matemática favorece a autonomia do aluno. Ele precisa entender o problema, formular questões, buscar dados, organizá-los, abordá-los matematicamente, avaliar os resultados, traçar novas estratégias, entre outros processos (BARBOSA, 2003). O emprego da modelagem, metodologia flexível que valoriza a investigação e a exploração, possibilita a organização e reorganização do conteúdo de forma mais contundente (BUENO; REIS, 2007). Os alunos podem ser incentivados a problematizar, investigar e aplicar no dia a dia os conhecimentos adquiridos nas aulas (FREITAS, 2001). Ao trabalhar com essas habilidades podem ser desenvolvidas competências que potencializam a intervenção das pessoas nas tomadas de decisões, uma vez que a modelagem desafia a ideologia da certeza e coloca lentes críticas, contribuindo para alargar as possibilidades de construção e consolidação de sociedades democráticas (BARBOSA, 2003, 2004).

Outro aspecto importante, é que o processo de ensino aprendizagem pode ser de forma lúdica. E se isso ocorrer, a aprendizagem torna-se natural desenvolvendo o cognitivo e o afetivo, contribuindo para a construção do sujeito de forma integral (VALÉRIO, 2009).

De modo geral, podem-se apresentar cinco argumentos para justificar o uso da modelagem matemática na sala de aula: i) motivação, ii) facilitação da aprendizagem, iii) preparação para utilizar a matemática em diferentes áreas, iv) desenvolvimento de habilidades gerais de exploração; e v) compreensão do papel sociocultural da matemática (BARBOSA, 2003). Segundo Bicudo e Borba (2004) pode servir para o planejamento e tomada de decisões.

Ressalta-se ainda que a modelagem matemática tem características de uma estratégia de ensino com enfoque transdisciplinar. Quando se tem um resultado único capaz de refletir a multidimensionalidade da realidade com cooperação e coordenação entre disciplinas, mas com objetivo de transcendê-las está se tratando do conceito de transdisciplinaridade (SILVA, 2009). Cabe ressaltar que para facilitar o processo de ensino e aprendizagem o conhecimento é dividido em disciplinas, mas há saberes na interface delas que são de difícil consolidação por pertencerem, em tese, a áreas supostamente diferentes (BRUHN, 1995; HUFF e GARROLA, 1995; AZEVÊDO, 1997; JACOBI, 1997). Com intuito de sistematizar essas imbricações percebidas Felice, Giordon e Souchon (1985) definem três termos e conceituam-nos:

- Multidisciplinaridade ou pluridisciplinaridade que consiste na simples justaposição de disciplinas sem exigência de ligação entre elas;

- Interdisciplinaridade quando há necessidade do conhecimento do conceito de cada disciplina envolvida a fim de promover uma integração;

- Transdisciplinaridade quando se requer uma unidade conceitual entre as disciplinas.

Fazenda (2002) relaciona esses conceitos apresentados afirmando que a multidisciplinaridade integra conhecimentos e dessa forma é uma etapa para a interdisciplinaridade, sendo esta uma etapa para a transdisciplinaridade.

Nesse contexto, percebe-se que a modelagem matemática exige uma unidade conceitual e favorece a identificação de imbricações entre as disciplinas relacionando saberes, adequando-se ao conceito de transdisciplinaridade.

Azevedo (1998) afirma que a transdisciplinaridade é considerada difícil de ser alcançada por faltarem conhecimentos profundos que permitam integração, sendo que a dificuldade também ocorre em virtude da tradição histórica de produzir e transmitir conhecimento em pacotes chamados disciplinas os quais descaracterizam a unidade existente na ciência.

A modelagem matemática é reconhecida como alternativa pedagógica que contribui no processo de ensino e aprendizagem (BIEMBENGUT, 1999; ALMEIDA; MARTINS, 2001; BASSANEZI, 2002; FERRUZZI, 2003). No entanto, destaca-se que o emprego da modelagem matemática como estratégia em diversos níveis de ensino ainda é uma prática relativamente recente (FERRUZZI, 2003).

Se a modelagem matemática é capaz de fazer com que o aluno possa aprender com base em situações problemas reais do seu dia a dia fazendo-o pensar, estabelecer relações e criar, pode ser uma alternativa como estratégia de ensino aplicável na Educação Profissional.

2.2 EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E O ENSINO TÉCNICO EM AGROPECUÁRIA

Educação profissional é um conceito presente na Lei nº 9.394/1996 de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB) que foi complementada pelo Decreto 5.154 de 23 de julho de 2004 “tem por finalidade o pleno desenvolvimento do educando, seu preparo para o exercício da cidadania e sua qualificação para o trabalho” (BRASIL, 1996; 2004). A LDB concebe que “a educação profissional, integrada às diferentes formas de educação, ao trabalho, à ciência e à tecnologia, conduz ao permanente desenvolvimento de aptidões para a vida produtiva”.

No Decreto 5.154 (BRASIL, 2004) define-se que a Educação Profissional, observadas as diretrizes curriculares nacionais definidas pelo Conselho Nacional de Educação, é desenvolvida por meio de cursos e programas de:

I - Formação Inicial e Continuada de Trabalhadores;

II - Educação Profissional Técnica de Nível Médio; e

III - Educação Profissional Tecnológica de Graduação e de Pós-Graduação.

A Educação Profissional tem como princípios o desenvolvimento de competências para a laborabilidade, a flexibilidade, a interdisciplinaridade e a contextualização na organização curricular, a identidade dos perfis profissionais de conclusão, a atualização permanente dos cursos e seus currículos, e a autonomia da escola em seu projeto pedagógico. Para tanto, no Parecer CNE/CEB nº 16/1999 define-se que a educação profissional requer “[...] além do domínio operacional de um determinado fazer, a compreensão global do processo produtivo, com a apreensão do saber tecnológico, a valorização da cultura do trabalho e a mobilização dos valores necessários à tomada de decisões” (BRASIL, 1999a).

As Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação Profissional de Nível Técnico apontam que a Educação Profissional “objetiva garantir ao cidadão o direito ao permanente desenvolvimento de aptidões para a vida produtiva e social” (BRASIL, 1999a). Na Resolução nº 4/1999 do Conselho Nacional de Educação/Presidente da Câmara de Educação (CNE/CEB) são apresentadas 20 áreas profissionais que contemplam cursos técnicos de acordo com a organização dos setores produtivos (BRASIL, 1999b).

Em junho de 2008 foi aprovado o Parecer do CNE/CEB nº 11/2008, que instituiu o Catálogo Nacional de Cursos Técnicos de Nível Médio e organizou a oferta de cursos em eixos tecnológicos ao invés de áreas profissionais. Foram definidos 12 eixos tecnológicos (BRASIL, 2008). Essa alteração baseia-se na lógica do conhecimento e da inovação tecnológica (MACHADO, 2010).

O Curso Técnico em Agropecuária consta no Catálogo Nacional de Cursos Técnicos no Eixo Tecnológico de Recursos Naturais; que compreende tecnologias para produção animal, vegetal, mineral, aquícola e pesqueira (BRASIL, 2008). O documento também define a carga horária mínima para o Curso Técnico em Agropecuária de 1.200 horas para formar um profissional que:

[...] planeja, executa, acompanha e fiscaliza todas as fases dos projetos agropecuários. Administra propriedades rurais. Elabora, aplica e monitora

programas preventivos de sanitização na produção animal, vegetal e agroindustrial. Fiscaliza produtos de origem vegetal, animal e agroindustrial. Realiza medição, demarcação e levantamentos topográficos rurais. Atua em programas de assistência técnica, extensão rural e pesquisa.

A formação técnica, conforme o Parecer CNE/CEB nº 16/1999 (BRASIL, 1999a):

desenvolve autonomia intelectual e pensamento crítico, bem como compreende os fundamentos científicos e tecnológicos dos processos produtivos, dando nova dimensão à Educação Profissional, como direito do cidadão ao permanente desenvolvimento de aptidões para a vida social e produtiva.

Para que o Técnico em Agropecuária possa atender a esse perfil profissional há necessidade de ter uma formação que trate de temas como produção animal, produção vegetal, produção agroindustrial e gestão agropecuária. No quadro 2.2 apresenta-se um modelo de Matriz Curricular que possibilita a noção da multidisciplinaridade do curso.

É importante ressaltar que se deseja que os currículos sejam estruturados sob a ótica da indissociabilidade entre teoria e prática focando em um ensino que privilegia a contextualização e a integração de conhecimentos.

Havendo a necessidade de aliar teoria e prática, para o processo de ensino e aprendizagem do Curso Técnico em Agropecuária o papel da escola-fazenda é relevante. O horizonte utópico é a perspectiva de uma escola que, além de integrar a teoria e a prática, tenha o trabalho como princípio educativo, superando a dicotomia entre trabalho intelectual e manual (SOARES, 2000). Gramsci (1995) cita que essa escola deve ter como objetivo formar intelectuais - homens ativos das massas - capazes de dar à sua classe, de um modo orgânico, homogeneidade e consciência da própria função, não apenas no campo econômico, mas também no social e político.

Quadro 2.2 - Matriz Curricular do Curso Técnico em Agropecuária na Escola de Canuanã com carga horária total de 1.720 horas

Módulo	Unidade de estudo	Carga horária (horas)
Produção Animal	Introdução à Agropecuária	15
	Bovinocultura de corte e leite	150
	Forragicultura	30
	Avicultura	45
	Suinocultura	40
	Apicultura	30
	Piscicultura	30
	Ovinocultura e Caprinocultura	40
	Equinocultura	30
	Metodologia de Projetos	30
	Prática do processo produtivo	150
Produção Vegetal	Uso e Manejo do Solo	60
	Climatologia	20
	Cartografia e Topografia	50
	Paisagismo e Jardinagem	20
	Mecanização Agrícola	80
	Olericultura	60
	Culturas Anuais	60
	Fruticultura	40
	Silvicultura	40
	Irrigação e Drenagem	50
	Prática do processo produtivo	150
Produção Agroindustrial	Boas Práticas de Fabricação	10
	Tecnologias da Carne	30
	Tecnologias do Leite	30
	Tecnologias de Frutas e Hortaliças	30
	Prática do processo produtivo	60
Gestão de Agronegócios	Gestão Rural e Agroindustrial	100
	Gestão Ambiental e Sustentabilidade	40
	Empreendedorismo e Mercado de Trabalho	40
	Prática do processo produtivo	60

As escolas-fazenda ou escolas agrotécnicas surgiram no Brasil na década de 60, época em que houve reformulação da filosofia do ensino agrícola a fim de implantar a metodologia dessas escolas baseada no princípio do "aprender a fazer fazendo" (FRANCO, 1994). Os primeiros indícios desse sistema de escola-fazenda têm sua origem na década de 70 com implantação na rede estadual paulista pelo Engenheiro Agrônomo Shigeo Migogouchi.

Mont'alvão, com base na legislação, afirma que a escola-fazenda deve

[...] constituir o laboratório específico para o desenvolvimento das práticas agrícolas, onde serão vivenciados os conhecimentos teórico-práticos, através de projetos de caráter produtivo, didático, demonstrativo, de melhoramento e experimental, nas

áreas agrícola, zootécnica e agroindustrial, buscando-se permanentemente o equilíbrio entre a teoria e a prática.

O Manual da Escola-fazenda (BRASIL, 1973) prega que deverá funcionar de maneira que possibilite fazer do trabalho um aspecto integrante do processo ensino-aprendizagem, conciliando assim educação, trabalho e produção, e relaciona alguns objetivos a serem atingidos, sendo eles:

- Despertar o interesse da comunidade, em um modo geral, pela agropecuária;
- Oferecer aos estudantes a oportunidade de iniciarem e se estabelecerem, visando o progresso, em um negócio agrícola;
- Convencer os estudantes, através de resultados práticos, que a agropecuária é uma indústria de produção;
- Despertar no educando o espírito de cooperação e auxílio mútuo;
- Com os problemas reais dos trabalhos agropecuários, proporcionar melhor formação profissional aos educandos;
- Aumentar o raio de ação educativa do estabelecimento, proporcionando aos agricultores da redondeza e aos jovens rurícolas conhecimentos das técnicas agropecuárias recomendáveis.

A escola-fazenda deve ter as salas de aula que os alunos aprendam a teoria e as Unidades Educativas de Produção (UEP) nas quais são realizadas as práticas de campo, de acordo com cada currículo. As UEPs foram planejadas para que o aluno possa assimilar o conteúdo teórico prático das disciplinas no ambiente onde acontece a produção, ou seja, onde se desenvolvem os projetos orientados e específicos de agricultura, pecuária, agroindústria e outros (BRASIL, 1984). Dessa forma, compõem a UEP os setores existentes nas escolas-fazenda, sendo eles: agricultura, zootecnia, horticultura, indústrias rurais, oficina rural e outros constantes do currículo (SOUZA, 2005). Cada escola-fazenda deve propor uma estrutura que atenda ao mercado local visando à inserção do técnico no mercado de trabalho por ter uma formação que atende a demanda da região.

Partindo do princípio que há uma estrutura de escola-fazenda para formação do aluno, ainda há necessidade de criar estratégias para formar profissionais para uma aprendizagem contínua e autônoma, capazes de desenvolver competências para atuar no mercado de trabalho. Essa aprendizagem pode ser observada quando o aluno consegue fazer relações com o cotidiano e resolver problemas a partir do aprendizado na escola (RAMOS et al., 2009).

Nesse contexto, a modelagem matemática pode ser utilizada como ambiente de aprendizagem para a formação dos alunos do Curso Técnico em Agropecuária. Ambiente de

aprendizagem é entendido como as condições em que os alunos são estimulados a desenvolverem determinadas atividades (SKOVSMOSE, 2000).

Segundo Biembengut (2009):

[...] os modelos são ferramentas que ajudam a pessoa a processar informações e estimular novas ideias e compreensões, prover de uma visão estruturada e global que inclui relações abstratas. Capacitam a observar e refletir sobre fenômenos complexos, e ainda a comunicar as ideias a outras. Trata-se de um importante meio não apenas para facilitar a ação diária das pessoas, considerando que na base de toda tecnologia ou produções encontra-se um modelo, uma representação do fenômeno e das ideias, mas também para estimular o processo mental, ajudando a pensar produtivamente.

É possível fazer relações entre a formação técnica, o perfil profissional do Técnico em Agropecuária e a modelagem, destacando-se como pontos chave comuns: autonomia, visão global e resolução de problemas.

Deseja-se que o aluno do curso técnico desenvolva a autonomia nos alunos e para isso o professor precisa ensiná-lo a pensar. Na agropecuária a visão global dos processos produtivos é essencial, uma vez que ocorrem inter-relações entre os segmentos do sistema agroindustrial. E, ainda, há a necessidade do aluno construir a competência de resolução de problemas que, por sua vez, está relacionada a aprender a resolver tais problemas, pensar estrategicamente, mobilizar e aplicar conhecimentos e tomar decisões. Em todos esses casos pode-se contar com o auxílio da modelagem matemática.

Nas Orientações Curriculares para o Ensino Médio em BRASIL (2006, p. 85) há citação de que o desenvolvimento de uma tarefa de modelagem matemática exige do aluno capacidade de:

[...] selecionar variáveis que serão relevantes para o modelo a construir; problematizar, ou seja, formular o problema teórico na linguagem do campo matemático envolvido; formular hipóteses explicativas do fenômeno em causa; recorrer ao conhecimento matemático acumulado para a resolução do problema formulado, o que, muitas vezes, requer um trabalho de simplificação quando o modelo originalmente pensado é matematicamente muito complexo; validar, isto é, confrontar as conclusões teóricas com os dados empíricos existentes; e eventualmente ainda, quando surge a necessidade, modificar o modelo para que esse melhor corresponda a situação real.

Diante de todas as possibilidades de desenvolvimento de habilidades e competências por meio da modelagem, torna-se importante sua aplicação e análise para definição de formas de uso para facilitar a aprendizagem e a formação profissional.

Scheller (2009) aplicou a modelagem matemática como ambiente de aprendizagem para alunos do Curso Técnico em Agropecuária da Escola Agrotécnica Federal de Rio do Sul (EAFRS) e relatou a experiência em dois estudos de caso. No primeiro, estudou-se a curva de lactação de bovinos e no segundo, dois sistemas de criação de frangos de corte (automático e semiautomático) para identificar o melhor resultado e a data ideal de abate, sendo ambos os casos projetos de iniciação científica. O desenvolvimento dos trabalhos permitiu a aplicação da matemática na zootecnia com aprendizagem de novos conteúdos e conceitos, privilegiou indagações, investigações e discussões relacionadas ao tema, além de sua relação com a sociedade por meio da socialização dos resultados com a comunidade. A pesquisadora destacou que a modelagem reorganizou as relações de conhecimento entre professor e aluno com nova divisão de responsabilidades nas etapas do trabalho.

Projeto de Mattos et al. (2011) estava aplicando a modelagem matemática como ferramenta no processo de ensino e aprendizagem com intuito de identificar como pode contribuir na melhoria do aprendizado dos alunos do Curso Técnico em Agropecuária Orgânica no Colégio Técnico da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (CTUR). Os resultados obtidos mostram que os alunos apresentam dificuldade no estabelecimento de relações entre saberes técnico e de formação geral. Destaca-se a percepção dos pesquisadores sobre a reflexão que os alunos fazem a respeito do seu papel como futuro técnico e como ser humano, e buscam analisar situações que priorizem a sustentabilidade social e econômica, bem como a preservação dos recursos.

Destaca-se que como a modelagem matemática permite resolver problemas que contemplem variáveis ambientais, sociais e econômicas, é possível utilizá-la como estratégia para abordar a temática de sustentabilidade.

Pesquisas que relatam o uso da modelagem matemática no Curso Técnico em Agropecuária são escassas, o que pode ser explicado por diversos fatores. Cita-se a dificuldade dos docentes devido ao desconhecimento do processo, à barreira do currículo que deve ser cumprido, à formação acadêmica do professor e ao estabelecimento de critérios para avaliar os alunos (FRANCHI, 1993; BIEMBENGUT; HEIN, 2000; BARBOSA, 2001; BASSANEZI, 2002; D'AMBRÓSIO, 2002). Os alunos também apresentam dificuldade em compreender o contexto do problema, identificar dados relevantes, traduzir em linguagem matemática, dominar os conceitos matemáticos e mudar sua forma de pensamento (TAVARES, 2000; FERRUZZI, 2003).

Diante desse cenário apresentado constata-se a necessidade de realizar estudos sobre as aplicações da modelagem matemática na agropecuária e suas contribuições, a fim de

propor formas de uso no processo de ensino aprendizagem. Cabe destacar que a construção de modelos matemáticos acaba não sendo a finalidade principal, mas sim um método de ensino aprendizagem por meio de sua elaboração, desde a escolha do problema a ser formulado, passando pela seleção de variáveis, tradução para linguagem matemática, resolução de equações, análise de resultados, entre outras atividades necessárias, pois essas é que desenvolvem as competências nos estudantes. Outro aspecto relevante é que a modelagem auxilia o aluno a relacionar o saber técnico com a formação integral.

3 PROGRAMAÇÃO LINEAR APLICADA À GESTÃO E AO PLANEJAMENTO AGROPECUÁRIO

As atividades agropecuárias compõem um sistema complexo com diversas variáveis que se relacionam direta ou indiretamente num determinado período de tempo. Diante da complexidade do sistema, para tomada de decisão há necessidade de ferramentas gerenciais e visão sistêmica do negócio. Na gestão de propriedades rurais um dos problemas típicos é a alocação de recursos. Uma fazenda apresenta limitações de recursos que podem ser físicos (terra, água, ente outros), financeiros, humanos (mão de obra), ou a combinação desses. Para gerenciar esse sistema devem ser feitas escolhas em busca de uma atividade ou um conjunto de atividades que permita maior retorno com os recursos disponíveis, ou seja, busca-se otimização.

Nesse contexto, a Programação Linear é uma ferramenta que pode contribuir com a gestão de atividades agropecuárias por permitir a solução de problemas complexos e apontar uma solução ótima. É uma das abordagens mais utilizadas da Pesquisa Operacional para solucionar problemas em gestão.

A Pesquisa Operacional é definida pela Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional (SOBRAPO, 2010) como

[...] uma ciência aplicada voltada para a resolução de problemas reais. Tendo como foco a tomada de decisões, aplica conceitos e métodos de várias áreas científicas na concepção, planejamento ou operação de sistemas. A Pesquisa Operacional é usada para avaliar linhas de ação alternativas e encontrar as soluções que melhor servem aos objetivos dos indivíduos ou organizações. Através de desenvolvimentos de base quantitativa, a Pesquisa Operacional visa também introduzir elementos de objetividade e racionalidade nos processos de tomada de decisão, sem descuidar, no entanto, dos elementos subjetivos e de enquadramento organizacional que caracterizam os problemas.

Segundo Ackoff e Sasieni (1977), pode-se considerar a Pesquisa Operacional como

[...] aplicação do método científico por equipes interdisciplinares a problemas que dizem respeito ao controle de sistemas organizados (homem-máquina) com a finalidade de obter as soluções que melhor satisfaçam aos objetivos da organização como um todo.

Ehrlich (1991) relata:

[...] Pesquisa Operacional é uma metodologia de estruturar processos aparentemente não estruturados por meio da construção de modelos. Utiliza um conjunto de

técnicas quantitativas com o intuito de resolver os aspectos matemáticos dos modelos.

Daft (2005) considera a Pesquisa Operacional como “um conjunto de modelos de decisão com bases quantitativas utilizadas para auxiliar quem toma decisões”.

Por meio dessas definições pode-se perceber que essa ciência possibilita a construção de um modelo que represente um sistema e permite realizar análises para que se possa atingir o resultado esperado. Sistema, modelo, resolução de problemas e equipes interdisciplinares são palavras-chave para tratar de Pesquisa Operacional. Na abordagem da Programação Linear, mais especificamente, resolvem-se problemas de alocação de recursos limitados com foco na otimização de resultados por meio da maximização ou minimização de uma função objetivo linear. Destacam-se algumas definições.

Para Caixeta-Filho (2010):

[...] Programação Linear é um aprimoramento de uma técnica de resolução de sistema de equações lineares via inversões sucessivas de matrizes, com a vantagem de incorporar uma equação linear adicional representativa de um dado comportamento que deva ser otimizado.

Silva Neto e Oliveira (2009) descrevem em sua obra que:

[...] a Programação Linear (PL) consiste em um método para a solução de problemas estáticos e lineares de otimização sob restrições. Em outras palavras, sempre que for possível formular um problema como um conjunto de variáveis cujos valores se deseje maximizar ou minimizar relacionadas a um outro conjunto de recursos disponíveis, por meio de expressões matemáticas lineares, pode-se obter a sua solução pela PL.

Ybarra (2011) destaca que o estudo da Programação Linear possibilita o reconhecimento dos problemas passíveis de análise pelo modelo, o auxílio na análise no estágio inicial da investigação, a avaliação e interpretação de resultados e a aplicação dos resultados com confiança, que é adquirida a partir da compreensão dos problemas e dos resultados envolvidos.

A análise dos conceitos apresentados aponta que a Programação Linear tem aplicação nos casos em que se busca a solução mais adequada dentre diversas soluções alternativas, o que implica em um problema de otimização.

3.1 ANTECEDENTES

O italiano Girolamo Cardano é citado como um pioneiro no emprego da modelagem para solução de problemas. O registro consta no livro (*Líber de Ludo Aleae*) publicado em 1564 que abordava teorias de jogos de azar (GASS, 2004).

O problema de otimizar uma função linear sujeita a restrições originou-se em 1826 com estudos do matemático Fourier sobre desigualdades lineares para a Mecânica e para a Teoria das Probabilidades com intuito de encontrar um ponto mínimo em um poliedro (LOPES, 2010). Nessa época estudaram-se sistemas lineares de inequações das funções lineares sujeitas à restrições lineares (SOUZA, 2005).

Wassily Leontieff (1936) formulou diversas equações lineares gerando um modelo matemático, e esse seria o primeiro passo para o desenvolvimento das técnicas de Programação Linear. Entretanto, somente em 1939 o economista e matemático soviético Leonid Kantorovick, motivado pelo plano econômico soviético, percebeu e valorizou a importância prática desses problemas e criou um algoritmo para gerar uma solução; formulou um modelo de Programação Linear para planejamento e organização da produção (KANTOROVICH, 1960). Esse trabalho possivelmente é o primeiro de Programação Linear, mas ficou desconhecido até 1960, quando passou a ser conhecido no Ocidente (SOUZA, 2005).

Apesar de serem descritas algumas aplicações anteriores, o termo Pesquisa Operacional foi utilizado pela primeira vez durante a Segunda Guerra Mundial e foi a partir dessa época que a técnica começou a se desenvolver com foco no planejamento e programação militar. Um grupo de especialistas em diversas áreas, dentre elas, matemática, física e engenharia, foi convocado para analisar o posicionamento de radares de defesa área da Grã-Bretanha e reposicioná-los antes da Guerra (FERREIRA, 2011). Outras atribuições dessa mesma equipe eram planejar operações de comboios, bombardeios, guerra anti-submarina, organização de manutenção e inspeção de vôo, comparação do tipo de aeronaves e melhorar a probabilidade de ataque e destruição. A fim de resolver esses problemas a equipe desenvolveu modelos matemáticos para orientar a tomada de decisão. A contribuição desse trabalho ficou tão evidente que em 1941 foi designada uma seção denominada *Operational Research Section* dentro da RAF (*Air Chief Marshal Sir Hugh Dowding*) do Ministério Aeronáutico Britânico (BEASLEY, 2012).

Motivados pelas ações realizadas durante a Guerra, após seu fim, os pesquisadores deram continuidade aos seus estudos de modelagem matemática com foco em atividades não

militares. As técnicas aplicadas durante a guerra foram adaptadas para atividades econômicas. Na Grã-Bretanha o desenvolvimento da Pesquisa Operacional ocorreu em indústrias isoladas como ferro, aço e carvão. Já nos Estados Unidos, a ciência disseminou-se nas universidades rapidamente.

O auge da otimização ocorreu em 1947, quando o matemático americano George Dantzig, que atuou com a equipe da Segunda Guerra Mundial, formulou um problema de Programação Linear para preparar dietas com a combinação de ingredientes. Além disso, desenvolveu o método Simplex para resolver problemas de Programação Linear. A técnica foi desenvolvida quando Dantzig trabalhava na *Rand Corporation* no projeto SCOOP (*Scientific Computation of Optimum Programs*) para a Força Aérea Americana. Nos primeiros anos de uso, o algoritmo Simplex era resolvido manualmente, o que implicava em enorme quantidade de cálculos, mas com o desenvolvimento da computação houve maior difusão do seu emprego devido à facilidade de uso. O desenvolvimento desse método é considerado por alguns pesquisadores como uma das mais importantes descobertas do século (SHIRLEY, 2000). Desde então, o Simplex tem sido o método mais citado na literatura e utilizado nos *softwares* de Programação Linear (CAIXETA FILHO, 2010).

Ainda em 1947, o pesquisador Charles Koopmans mostrou que a programação linear era um modelo apropriado para a análise da teoria econômica clássica.

Os primeiros textos de Pesquisa Operacional começaram a surgir na década de 50 quando foi considerada digna para constar no currículo das universidades. A ciência foi sendo cada vez mais reconhecida por pesquisadores e estudantes de diversos ramos. Nessa década, diversos livros foram publicados com foco em empresários, para demonstrar como estudantes e cientistas poderiam ser auxiliados (ACKOFF; SASIENI, 1977). Podem ser citadas algumas instituições fundadas nesse período, tais como *Operations Research Society of America* (ORSA) em 1952 e o *Institute of Management Sciences* (TIMS) em 1953.

Na década de 60 os computadores apresentaram melhorias e com isso foi possível resolver problemas maiores e mais complexos. Dessa forma, a Pesquisa Operacional conquistou mais espaço nas universidades como disciplina e nos cursos de pós-graduação.

Com os avanços e formulações de modelos, as análises e interpretações foram aprimoradas e identificou-se a necessidade de avaliar outras soluções, e não somente aquela ótima indicada. Nesse contexto, surgiram as análises de sensibilidade para determinar se com mudanças nos coeficientes do modelo original a solução ótima ainda seria mantida ou se haveria outra. Um dos primeiros trabalhos nessa perspectiva foi de programação em uma companhia integrada de óleo (CHARNES et al., 1954). Hadley (1963) apresentou o primeiro

relato formal destacando a análise de sensibilidade. Posteriormente, outros trabalhos surgiram, tais como Gal (1979) e Greenber (1983).

Em 1975, a Academia Real de Ciência atribuiu o prêmio Nobel da Ciência em Economia a Kantorovich e Koopmans por suas contribuições para a teoria da alocação de recursos. A contribuição de Dantzig foi considerada mais no âmbito matemático, e como não havia prêmio para o ramo científico da matemática, não foi premiado. No entanto, Dantzig faz parte da história da construção da Programação Linear.

A Programação Linear aplicada à agropecuária pode ser identificada a partir de 1970, quando são publicados artigos sobre a temática. Apresentam-se algumas pesquisas realizadas que formularam modelos e obtiveram resultados capazes de auxiliar as práticas agropecuárias.

Destaca-se o livro de Beneke e Winterboer (1973), citado por diversos pesquisadores como referência por abordar problemas de agricultura explicitando que esses apresentam inúmeras alternativas de produção com alocação de trabalho, bens de capital e terra. Na obra abordam-se todas as fases para formulação e análise de modelos e apresentam-se aplicações para problemas de maximização e minimização. Na área da agricultura, outros trabalhos citados são Casey (1977), Balm (1980), Sargent (1980), Butterworth (1985).

Além das culturas agrícolas, outro ponto que passou a ser estudado na época foi a formulação de modelos que contemplassem ao mesmo tempo atividades pecuárias e agrícolas visando um objetivo comum, em geral maximização de lucro.

Nesse contexto, pode-se verificar aplicação em Bogahawatte (1984) que realizou uma pesquisa no Sri Lanka e desenvolveu um modelo de Programação Linear para representar três vilarejos que desenvolviam atividades agrícolas e pecuárias com intuito de maximizar o lucro. O autor considerou como possibilidade de produção: cereais, arroz, milho, soja, frutas, vegetais, forragem, bovinos de corte e leite, búfalos e frangos de corte. Os resultados do modelo indicaram cenários diferentes daqueles realizados na prática, tais como investimento em irrigação para otimizar o uso de área e utilizar mão de obra familiar ao invés de contratada. Uma limitação deste modelo foi o fato de não conseguir aumentar o número de animais na área por restrição de alimentação, pois não foi possível variar esse número conforme a produção de pasto. Dessa forma, definiu-se o número de animais em função dos períodos de menor produtividade da pastagem, havendo excedentes de matéria seca sem aproveitamento em alguns períodos. Neste modelo nota-se preocupação com a exigência nutricional da população local, que apresentava crianças com elevado grau de desnutrição. Tendo em vista que para melhorar a nutrição há necessidade da proteína indicou-se a expansão da produção de animais.

Ainda na década de 80, foi realizada uma pesquisa com intuito de investigar o desenvolvimento em uma região de Israel com vocação para a criação de ovinos e agricultura de sequeiro (DE WIT et al., 1980). Empregou-se a técnica de Programação Linear multiobjetivo para buscar a melhor opção considerando diversos cenários técnicos (confinamento, uso de pastagem, suplementação, desmame, entre outros) e socioeconômicos (mão de obra familiar, contratação de pessoal). Objetivou-se que os resultados pudessem servir de base para que os produtores locais argumentassem com políticos em busca de tomada de decisão que pudesse favorecer o desenvolvimento local. Evidencia-se nesse modelo a inclusão da análise do impacto do emprego de tecnologias no sistema produtivo, cujos resultados subsidiam a justificativa para investimentos tecnológicos.

No planejamento da agricultura encontrou-se mais um campo de aplicação da Programação Linear, a rotação de culturas, situação complexa que envolve muitas variáveis. El-Nazer e McCarl (1986) relataram que diversos modelos foram produzidos para a temática, no entanto, consideravam como possibilidades rotações pré determinadas. A diferença do modelo que geraram para os anteriores está no fato de permitir que seja definida livremente a rotação em longo prazo a ser realizada com base em dados históricos das culturas possíveis. A função objetivo do modelo que formularam maximizou o lucro em função das rotações com testes em uma propriedade em Oregon nos Estados Unidos com cultivo de batata, milho, trigo e alfafa. O modelo foi eficaz e mostrou um domínio do cultivo da batata para maximizar lucro, mas apontou como soluções ótimas culturas de risco para o produtor. Os autores destacaram a importância da avaliação técnica dos resultados, pois em alguns cenários, apesar de haver lucro ótimo, pode ocorrer depleção de nutrientes do solo por não variar a rotação, utilizando somente duas culturas.

Na década de 90, percebe-se que já começam a aparecer trabalhos de modelagem considerando algumas questões ambientais e políticas públicas, e maior número de variáveis e restrições. Além dos computadores evoluírem, as linguagens de programação ficaram mais práticas e com compiladores mais flexíveis possibilitando a formulação de modelos de relativa complexidade com códigos fonte mais compactos e eficientes (FERREIRA; NUNES, 2003).

Qingzhen et al. (1991) descreveram a aplicação de um modelo de Programação Linear em um projeto de planejamento da produção agropecuária na China. O modelo visou o aumento da renda líquida sem gerar efeitos adversos sobre o meio ambiente. Nos resultados explorou-se a análise de sensibilidade variando os preços dos produtos no mercado.

Além da agropecuária, políticas econômicas e ambientais também foram alvo de pesquisas utilizando a modelo de Programação Linear como ferramenta na busca de otimização. Wossink et al. (1992), na Irlanda, consideraram no modelo interações entre os aspectos da intensidade de produção, aspectos ambientais e de produtividade. Os autores apresentaram o efeito do uso de tecnologias na produção e de diferentes níveis de emprego de produtos químicos. Os resultados indicaram especificações técnicas para minimizar os efeitos no ambiente. Outro ponto importante é que o trabalho incentiva a estruturação de debates para avaliar as políticas públicas de proteção ambiental verificando se são eficientes por meio da comparação de custos envolvidos e o efeito de redução da poluição alcançado. Os pesquisadores ressaltam que outras questões podem ser testadas com o modelo, além das que constam na pesquisa.

Nevo et al. (1994) utilizaram a Programação Linear para maximizar o lucro líquido selecionando culturas vegetais específicas para determinadas áreas. O modelo faz parte do CROPLAN, um protótipo de sistema para resolver problemas de planejamento em sistemas de produção agrícola, que integra os principais componentes do sistema produtivo. Os autores afirmam que, apesar da complexidade, o planejamento pode e deve ser realizado em uma análise abrangente, pois dessa forma considera a alocação de diferentes culturas na área sob diferentes condições de produção.

Pandey e Hardaker (1995) revelaram a preocupação com sustentabilidade e a possibilidade do emprego da modelagem como ferramenta para avaliar as práticas de manejo das fazendas. Para isso os pesquisadores desenvolveram um modelo bioeconômico aplicável a realidade dos países em desenvolvimento.

Okoruwa, Jabbar e Akinwumi (1996) desenvolveram um modelo de Programação Linear inteira mista para propriedades que praticam agricultura e pecuária na Nigéria. Os autores hipotetizaram que as escolhas ditariam o ritmo da evolução da região, uma vez que estava ocorrendo uma substituição entre culturas vegetais e criação animal. Utilizou-se a técnica de Programação Linear inteira para maximizar a margem bruta com restrições de fatores como disponibilidade de terra, trabalho e capital. Consideraram-se como culturas candidatas, a soja, o milho, o sorgo, o inhame, a mandioca, a pimenta, o tomate; e para a pecuária, a criação de bovinos, caprinos e ovinos. Quatro sistemas de produção foram propostos, sendo três de produção animal e vegetal e um somente com produção vegetal. Os resultados indicaram que com o aumento da população, há restrição de terras, as propriedades e os rebanhos tendem a diminuir, a produção vegetal a intensificar e com isso haver maior grau de integração entre lavoura e pecuária.

Ainda na Nigéria, a partir da observação de que houve queda na produção de alimentos, foi desenvolvido um programa denominado *National Directorate of Employment* (NDE) com objetivo de aumentar a produção e empregar pessoas no campo. Abdulkadri e Ajibefunb (1998) desenvolveram um modelo com intuito de gerar planos ótimos de produção para as fazendas em três regiões diferentes considerando o risco e a incerteza. As análises sugeriram monocultivo como prática, mas com pequena redução da margem bruta há indicação de diversificar a produção, sendo que a adoção de uma ou outra opção vai depender da atitude do produtor em aceitar os riscos.

Destacam-se alguns trabalhos na pecuária para a bovinocultura leiteira. Segundo Yates e Rehman (1998), a avaliação de métodos de reposição de animais na bovinocultura de leite é realizada por meio da programação dinâmica, que não considera o desempenho de todo o rebanho ou todas as substituições necessárias para decisão. Os autores estudaram como superar essas dificuldades formulando o problema como um processo de decisão de Markov e posteriormente resolvê-lo como um modelo de Programação Linear. Essa foi a primeira vez que se aplicou tal técnica. Um ano mais tarde, Mourits et al. (1999) também utilizaram o processo de decisão de Markov e desenvolveram um modelo de programação dinâmica para otimizar as decisões relacionadas ao planejamento nutricional e ao momento da inseminação de novilhas leiteiras. O emprego dessa técnica permitiu modelar utilizando uma gama de animais diferindo em idade, peso corporal, status reprodutivo e nível de crescimento pré-puberdade utilizando dados da Holanda. Os autores reforçaram que há escassez de informações precisas sobre as inter-relações das estratégias de criação adotadas, e que dessa forma, a contribuição do modelo estaria na análise de sensibilidade que fornece valores capazes de gerar informações sobre os componentes mais críticos no processo produtivo.

Ruben et al. (1998) utilizaram modelos bioeconômicos para avaliar simultaneamente questões agroecológicas e socioeconômicas em função da escolha da tecnologia, do uso do trabalho, do mercado e dos preços. O trabalho permitiu realizar uma análise ampla envolvendo o mercado de terras, os incentivos para inovações tecnológicas e o investimento público na intensificação da agricultura.

No Brasil, segundo Azevedo Filho e Neves (1988), o interesse pela Pesquisa Operacional surgiu em 1955, com o Professor Rui A. S. Leme, da Faculdade de Economia da Universidade de São Paulo, que promoveu um seminário para discussão de aplicações da Programação Linear a problemas de Economia. Com a criação do primeiro Curso de Engenharia de Produção, nos moldes de cursos de Engenharia Industrial dos Estados Unidos, na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo em 1957, a Pesquisa Operacional

começou a ter mais expressão. Em 1959 iniciou, no Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), o Curso de Engenharia de Produção e foram criadas disciplinas para abordar a Programação Linear. Iniciou-se uma interação entre universidade e empresas resultando em aplicações práticas para resolução de problemas táticos e estratégicos. Em 1965 foi criado o primeiro grupo formal de Pesquisa Operacional em uma empresa, na Petrobrás (LÓSS, 1981).

Especificamente com aplicação na agricultura os primeiros relatos são de que o Professor Leme em 1960 desenvolveu um trabalho de formulação de rações a custo mínimo para duas empresas do setor (AZEVEDO FILHO; NEVES, 1988).

No Brasil também houve a disseminação de pesquisas e publicações envolvendo Programação Linear. Azevedo Filho e Neves (1982) formularam um modelo para definir a melhor estratégia o confinamento de bovinos de corte no estado de São Paulo e possibilidades de aplicação do capital em outras atividades. A motivação estava na percepção de que áreas com culturas de exportação e energéticas estavam inviabilizando a prática da pecuária extensiva. Esse modelo considerou quatro níveis de ganho de peso com exigência nutricional distinta em proteína bruta, proteína digestível, energia metabolizável, cálcio, fósforo, vitamina A, entre outras, a ser atendida pela combinação de alimentos que otimizasse o modelo. Quanto à época de compra e venda dos animais, foram considerados três períodos para cada uma. Os autores consideraram o custo de oportunidade do capital e também a receita adicional advinda da comercialização do esterco dos animais confinados na análise. A partir desse trabalho que ficou conhecido na época, outros pesquisadores começaram a formular modelos, incluindo mais variáveis.

Na década de 80 no Brasil há o relato do desenvolvimento do PlanFlor, Sistema de Planejamento Florestal de Longo Prazo da UniSoma, um modelo de Programação Linear que determinava para um conjunto de lotes florestais, a sequência de estados em um horizonte de planejamento de longo prazo que garantisse o suprimento de madeira da empresa, segundo um critério de otimização econômico (MILANEZ, 2010).

Gutierrez-Aleman et al. (1986) formularam um modelo de Programação Linear aplicável em propriedades produtoras de ovinos e caprinos da região Nordeste o Brasil. Os pesquisadores concluíram que a variação de renda dos produtores tinha maior relação com as variações climáticas do que com o emprego de tecnologias de produção, e afirmaram que a Programação Linear possibilitou a avaliação de tecnologias *ex ante*.

Azevedo Filho e Neves (1988) publicaram uma revisão sobre o emprego da Pesquisa Operacional na agricultura brasileira. Os autores afirmam a Programação Linear pode ser aplicada à solução de diversos problemas, tais como: otimização de rações e dietas,

planejamento de fazendas e empresas agroindustriais, otimização de transporte e localização espacial, análise e planejamento de experimentos, planejamento regional, inter-regional e política agrícolas, e planejamento florestal. Levantamento encontrou 81 trabalhos na área elaborados por autores brasileiros, sendo cinco na década de 1960, 47 trabalhos na década de 1970 e 29 na década de 1980 com aplicação da programação no planejamento de fazendas e empresas agroindustriais. Para os autores, Pesquisa Operacional contribui na agricultura por sua natureza multidisciplinar que envolve métodos e técnicas quantitativas visando determinar decisões ótimas sob vários aspectos, assim como estabelecer padrões e critérios para alocação de recursos. Os autores reforçam que não é apenas um ramo da Matemática Aplicada, mas o inter-relacionamento dos conhecimentos de diversas disciplinas.

Na década de 1990, Toniello e Caixeta Filho (1992) desenvolveram um modelo de Programação Linear para o planejamento de uma propriedade agrícola na região Centro-Oeste do Brasil que tinha como culturas candidatas, a soja, o algodão, o milho, a avicultura de corte e a pecuária de corte. A partir dos custos de produção por hectare, das receitas esperadas e do limite de crédito rural disponível para cada cultura foram calculadas as áreas ótimas para cada atividade.

Caixeta Filho (1993) dedicou-se à modelagem para otimização e planejamento da colheita de laranjas para fins industriais relacionando no modelo questões químicas, biológicas e logísticas.

Dossa (1994) constatou que os produtores precisavam melhorar sua eficiência técnico-econômica na gestão das propriedades rurais e desenvolveu um modelo de Programação Linear para servir como ferramenta auxiliar no planejamento de uma propriedade rural produtora de leite, grãos de inverno e verão no Paraná. Nesse trabalho há uma discussão sobre a visão tradicional de emprego de Programação Linear, na qual se acredita que os resultados sugeridos na solução ótima deveriam ser adotados. O pesquisador diverge desse foco empregando o modelo como ferramenta de análise e compreensão de decisões do produtor. O diferencial está em aceitar opções de sistemas que não apresentam, necessariamente, a solução ótima. Também se ressaltam as dificuldades para emprego da Programação Linear destacando a estrutura matemática, necessidade de competência técnica e equipe multidisciplinar, escassez de computadores na área rural e o perigo das extrapolações de resultados para outras propriedades que podem gerar inconsistências.

Araújo e Caixeta Filho (1998) estimaram uma fronteira de eficiência econômica utilizando Programação Linear e incluindo o risco, em 33 empresas agrícolas na região Sul do estado de Santa Catarina.

Caixeta Filho et al. (2002) desenvolveram um modelo de otimização para o planejamento da produção de lírios. Este trabalho, antes de ser publicado, recebeu no ano de 2001 o “*Franz Edelman Award - Honorable Mention*”, do *Institute for Operations Research and the Management Sciences (INFORMS)*, principal entidade norte-americana promotora da Pesquisa Operacional.

Silva Neto e Retzlaff (2004) citaram que há dificuldade de uma avaliação em termos probabilísticos quando se trabalha com a modelagem de sistemas agropecuários com a possibilidade de combinar livremente as pastagens para a composição do sistema de alimentação. Para superar essa questão os autores propuseram um modelo de otimização com uso de uma abordagem não probabilista da incerteza. Conclui-se que a abordagem utilizada neste trabalho pode se constituir em um procedimento útil no planejamento de sistemas de produção sob incerteza pelo fato de dispensar pressupostos estatísticos e basear-se em cenários que representam condições técnicas e econômicas que puderam ser facilmente discutidas com o agricultor

A aplicação de técnicas de otimização, em especial a Programação Linear, tem sido particularmente mais recorrente para o planejamento e corte de áreas de produção florestal. São exemplos de referências nesse sentido: Garcia (1990), Bueno et al. (1992), Fidelis e Reis (2001), Ohman e Lamas (2003), Ducheyne et al. (2004) e Kangas e Kangas (2005).

3.2 AVANÇOS NAS APLICAÇÕES VOLTADAS À PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA

Os principais avanços relacionados à aplicação da Programação Linear em sistemas de produção agropecuária referem-se à inserção de variáveis ambientais e sociais nos modelos. Dessa forma, busca-se otimização considerando os aspectos da sustentabilidade.

O artigo de Janssen e Ittersum (2007) é referência como revisão sobre os modelos bioeconômicos aplicados na agropecuária. É de grande contribuição e apresenta análise crítica de artigos dividindo-os em três grupos: i) avaliação do impacto de tecnologias na esfera econômica e ambiental; ii) previsão do impacto de políticas públicas na agricultura; iii) esforços para destacar os aspectos metodológicos. Após analisar os trabalhos, os autores deixam como sugestão uma agenda de pesquisa para: focar no desenvolvimento de métodos para avaliar os modelos produzidos de forma consistente e completa, analisar efeitos sociais,

incluir questões econômicas e ambientais e elaborar modelos genéricos, modulares e facilmente transferíveis.

No contexto de contribuições ambientais, cita-se Annetts e Audley (2002) que realizaram uma pesquisa com evidente preocupação com os aspectos ambientais, que começam a aparecer nos modelos com mais intensidade. Aplicaram um modelo de otimização multiobjetivo de planejamento da produção agropecuária para otimizar o lucro, o resultado ambiental ou ambos. Procuraram-se as melhores opções dependendo dos preços de mercado, das culturas potenciais e das características de solo e clima. O modelo flexibilizou a escolha do maquinário agrícola, do calendário de operações, a rotação de culturas e a quantidade de insumos. A aplicação realizou-se no Reino Unido e mostrou que podem ser obtidas reduções nos impactos ambientais com a redução da lucratividade, e que há significativa variação anual devido a produtividade e preços.

Os trabalhos de Dogliotti também podem ser citados como exemplo, pois a primeira publicação focava somente em definir as sequências de culturas, ou seja, realizar um planejamento da produção considerando esquemas ótimos de rotação de culturas. O método desenvolvido foi operacionalizado em um *software* denominado ROTAT e aplicado a um estudo de caso na Holanda (DOGLIOTTI et. al., 2003). Na sequência, Dogliotti et al. (2004) propuseram um modelo de uso da terra para reorientar os sistemas de produção vegetal no Sul do Uruguai. O método integrou quantitativamente aspectos agrícolas, ambientais e socioeconômicos considerando as atividades agrícolas e a produção animal. O projeto teve continuidade e os dados obtidos anteriormente foram utilizados para formular um modelo de Programação Linear inteira mista (DOGLIOTTI et al., 2005). A função objetivo buscou a maximização da margem bruta, da receita, da taxa de variação da matéria orgânica do solo, e a minimização do capital necessário, da erosão do solo, da necessidade de nitrogênio e do uso de agroquímicos.

Acs (2007) por meio da Programação Linear fez uma análise do efeito e fatores limitantes na conversão da agricultura para o sistema orgânico na Holanda. O modelo maximizou o valor presente líquido num horizonte de planejamento de dez anos.

Rossing et al. (2007) elaboraram importante revisão sobre a integração de sistemas agropecuários e seu impacto na França, Alemanha e Irlanda.

Em Portugal, Varela e Carvalho (2009) formularam um modelo de programação linear que denominaram “o MALTe” para avaliar o impacto socioeconômico e ambiental com a introdução da política de preço da água. Os resultados permitiram analisar que tal medida pode gerar impacto importante com redução das áreas de cultivo.

Zingore et al. (2009) realizou uma avaliação de estratégias integradas para aumentar a produtividade e a rentabilidade de propriedade com recursos limitados no Zimbábue por meio de um modelo de Programação Linear para maximização da margem líquida.

Importante revisão foi publicada por Ahumada e Villalobos (2009) na qual mostram a aplicação de modelos de programação linear na agropecuária e agroindústria. O trabalho surge da constatação de que num futuro próximo o sistema agroindustrial estará sujeito a regulamentações mais rigorosas com monitoramento dos processos, em especial para os produtos destinados ao consumo humano. Isso acarretará em revisão nas práticas adotadas atualmente. Os autores apontam as principais contribuições do planejamento da produção.

Destacam-se também publicações recentes que envolvem a formulação de modelos para orientar o uso da água nos sistemas agropecuários. Senthilkumar et al. (2011) dedicaram-se ao estudo de práticas eficientes para o cultivo do arroz na Índia que racionalizam o uso da água. Os pesquisadores desenvolveram um modelo de programação linear multiobjetivo para avaliar o impacto de: i) cultivar um arroz modificado de maior produtividade e incluir poupança de água de irrigação como lucro; ii) cultivar arroz com tarifação sobre o uso da água e adoção de cotas por produtores, iii) combinação dos dois cenários anteriores, iv) estudar *trade-off* entre a água, renda e uso do nitrogênio. Os resultados obtidos com o modelo apontam possibilidades de melhoria do lucro dos agricultores e ajudam a identificar o preço ideal e a cota de água para a exploração agrícola. Observou-se que é possível otimizar o uso da água e ainda assim obter lucros aceitáveis. Outra aplicação refere-se a formulação de um modelo de Programação Linear no Afeganistão para otimização da seleção de cultivos e uso da água para irrigação (REELING et al., 2012). A recente publicação traz contribuições pelo fato dos resultados demonstrarem a utilidade do modelo desenvolvido, que pode ser aplicado na avaliação de políticas voltadas à irrigação. Tal questão ganha mais importância quando se relaciona com o fato de que 80% da população do país vive em ambiente rural e pratica a agricultura, tendo a irrigação importância econômica.

Tendo em vista que os futuros sistemas produtivos deverão reduzir a emissão de gases de efeito estufa, pesquisadores estão avaliando essa questão na agropecuária. Bonesmo et al. (2012) estudaram 95 fazendas da Noruega para calcular as emissões de gás carbônico por unidade de área e relacionar com a eficiência econômica representada pela margem bruta.

Groot et al. (2012) desenvolveram um modelo que denominaram de FarmDESIGN para avaliar propriedades rurais por meio de um acoplamento de um modelo bioeconômico a um algoritmo de otimização multiobjetivo que gera um conjunto ótimo de Pareto com configurações alternativas de exploração. A aplicação se deu para criação de bovinos de leite,

cultivo de pastagens e rotação de culturas agrícolas em sistemas orgânicos com intuito de maximizar o lucro operacional, a matéria orgânica e minimizar a exigência de mão de obra e as perdas de nitrogênio nos sistemas. Os resultados indicam que com pequenas alterações nos sistemas produtivos é possível conseguir melhoras no desempenho. O destaque do trabalho está no fato de discutir também aspectos de aprendizagem relacionados ao processo de tomada de decisão pelos produtores. Isso se explica pelo fato de serem feitas palestras com produtores locais a fim de se determinar um modelo de fazenda representativo da região para aplicação do modelo.

No Brasil também há avanços importantes. Biagio et al. (2007) desenvolveram um modelo matemático para o planejamento da produção de grãos em uma propriedade rural no estado de Minas Gerais. A pesquisa incluiu aspectos técnicos e econômicos em um modelo de Programação Linear inteiro-misto que expressa o problema de planejamento de produção agrícola. Os autores preocuparam-se em incluir variáveis financeiras visando auxiliar na tomada de decisão de como o agricultor deveria obter recursos para financiamento da produção, diante de linhas alternativas de crédito rural.

Milan (2008) propôs um modelo de Programação Linear multiobjetivo para o planejamento da produção - especialmente o sequenciamento de colheita -, de cafés finos em uma fazenda localizada no estado de São Paulo ressaltando a importância da sustentabilidade da cafeicultura.

A modelagem também tem aplicação para calcular a composição de rebanhos, sendo que essas informações são importantes para produtores e também servem como base para desenvolver modelos de planejamento de propriedades (GAMEIRO et al., 2011a).

No Brasil, a tese de Santos (2009) abordou a programação de rotação de culturas, focando na produção de base sustentável de hortaliças. Enfocou-se que a rotação de cultura permite uso contínuo do solo de forma economicamente viável sem redução da fertilidade. Segundo a autora, a produção de hortaliças é particularmente complexa por envolver um elevado número de culturas com limitações específicas no que se refere a aspectos técnicos, como época de plantio e colheita; e a aspectos ecológicos, como adubação verde, pousio, dentre outros. Os estudos de rotação de culturas apresentam contribuição em termos de sustentabilidade por contribuir para manutenção de recursos produtivos, minimizar o uso de recursos não renováveis e realizar um controle biológico.

Cabral (2010) formulou um modelo de programação linear para comparar a agricultura familiar, agricultura orgânica e convencional em relação aos benefícios econômicos (lucro), sociais (geração de empregos) e ambientais (uso de recursos naturais, insumos e práticas

danosas ao meio ambiente). A função objetivo maximizou a receita líquida e o uso de mão de obra e minimizou os impactos ambientais, tendo como restrições critérios agrônômicos e de mercado, capacidade física do reservatório de água, disponibilidade de solo, limitações do sistema de bombeamento de irrigação. A aplicação se deu na Paraíba e os resultados obtidos foram capazes de orientar a tomada de decisão das práticas operacionais na busca dos melhores benefícios possíveis, sob os aspectos econômico, social e ambiental.

Gameiro et al. (2011b, 2011c) desenvolveram um modelo matemático para otimização de uma propriedade produtora de leite caracterizada pela integração lavoura pecuária localizada em Minas Gerais. O modelo buscou identificar o número ótimo de animais em cada categoria, as áreas cultivadas e a quantidade de produtos produzidos para venda. Também apontou estratégias de fertilização quanto à escolha de produtos - comprados no mercado ou esterco - e sua aplicação, de alimentação dos animais com diferentes ingredientes e de irrigação, e foram considerados o consumo de água da fazenda e a emissão de gases de efeito estufa. Diversas simulações foram realizadas a partir da aplicação do modelo para avaliar o impacto sobre a realocação dos recursos da propriedade considerada e sobre as externalidades geradas pela mesma. Além de orientar o sistema produtivo da propriedade em que o modelo foi aplicado, os resultados trazem contribuição para a sociedade por alertar que a cobrança pelo uso de recursos naturais pode não ser suficiente para estimular a economia de tais recursos ou a realocação da produção no sentido de evitar a geração das externalidades negativas. Neste trabalho foram abordadas as três temáticas que apresentam avanços recentes com aplicações na modelagem: sistemas integrados (lavoura-pecuária), uso da água e emissão de gases de efeito estufa.

Destaca-se que modelos matemáticos com foco na sustentabilidade de sistemas agropecuários ainda são pouco expressivos no Brasil, o que é evidenciado pela escassez de publicações na área. Isso pode ser explicado em parte pela carência de informações e falta de organização de dados de produção brasileiros, o que dificulta o desenvolvimento e avaliação dos modelos, fato já relatado por diversos pesquisadores (CEZAR, 1982; TATIZANA, 1995; MEDEIROS, 2003). Acrescentam-se também restrições de aplicações devidas à natureza e complexidade das interações entre os componentes do sistema como elemento dificultador.

No entanto, a percepção de que estão ocorrendo rápidas mudanças no ambiente social e econômico, juntamente com a deterioração dos recursos naturais, força reflexões sobre a sustentabilidade dos sistemas produtivos. Surge a preocupação em otimizar os resultados, mas também considerar os aspectos de sustentabilidade. Nesse contexto, a Programação Linear tem papel importante por trazer contribuições para auxiliar na alocação de recursos

considerando as restrições impostas em busca de uma solução para os setores produtivos. Dessa forma, por auxiliar a tomada de decisão na adoção de melhores práticas pode contribuir na busca por sistemas sustentáveis.

4 MATERIAL E MÉTODO

O objetivo do modelo proposto é minimizar o custo de produção e manutenção da escola-fazenda atendendo a demanda pedagógica, de alimentos e de serviços da população. A principal resposta a ser obtida do seu processamento é a indicação da quantidade de animais e o tamanho das áreas de cultivo que devem ser realizadas, e com isso a identificação dos produtos que podem ser comprados no mercado ao invés de serem produzidos para atender a demanda da população.

Definiu-se como horizonte de planejamento o período de 36 meses, uma vez que a escola-fazenda se planeja de forma semelhante e é possível obter resultados com mais de um ciclo de produção, visto que alguns são anuais.

As variáveis do modelo são contínuas, representadas por números reais e podem assumir qualquer valor não negativo.

A estrutura metodológica desta pesquisa está representada na figura 4.1. A estruturação do modelo foi realizada paralelamente a um programa de formação técnica pedagógica para que os profissionais pudessem colaborar na coleta de dados e na identificação das principais variáveis dos sistemas agropecuários, bem como para que posteriormente utilizem a modelagem como ferramenta pedagógica no Curso Técnico em Agropecuária explorando a transdisciplinaridade.

Participaram dessa formação os profissionais relacionados ao Curso Técnico em Agropecuária e gestores da escola-fazenda. Iniciou-se com a revisão bibliográfica de aplicações de Programação Linear na agropecuária para identificar se havia trabalhos correlacionados ao que se propunha.

Na sequência iniciou-se o programa de formação por meio de encontros presenciais na Escola de Canuanã e videoconferências. Participaram a orientadora do Curso Técnico, os cinco professores, o médico veterinário coordenador do Setor Pecuário, o engenheiro agrônomo coordenador do Setor Agrícola e a nutricionista coordenadora do Setor de Alimentação, totalizando nove profissionais.

Os participantes foram divididos em grupos para iniciar o levantamento de dados. Fez-se uma lista com as informações necessárias e geraram-se planilhas eletrônicas a serem preenchidas. A coleta de dados ocorreu no período de dez meses, compreendido entre setembro de 2011 e julho de 2012, tendo como base o ano de 2011.

O modelo foi formulado e criaram-se restrições que forçaram a produção da quantidade de animais e áreas das culturas para representar o cenário real da escola-fazenda. Posteriormente essas restrições foram relaxadas e criaram-se os cenários para análise. Realizou-se a validação do modelo com a equipe escolar na Escola de Canuanã em encontro presencial na semana de 27 a 30 de agosto de 2012.

Figura 4.1 – Estrutura metodológica do trabalho realizado na Escola de Canuanã

Pela complexidade do sistema da escola-fazenda e da quantidade de dados levantados, foram estabelecidas algumas premissas simplificadoras que precisam ser consideradas.

Considerou-se que em cada safra foram mantidas constantes as variedades cultivadas, o tipo de solo e o manejo histórico adotado.

A produtividade das culturas vegetais foi estabelecida com base nos registros da escola-fazenda considerando os tratos culturais empregados, dessa forma a necessidade nutricional das culturas foi definida com base no manejo adotado.

Em função da escassez de dados históricos de preços dos produtos no mercado, esses foram determinados conforme registros de compra da escola-fazenda ou junto a mercados fornecedores, na ausência de tais registros.

4.1 REPRESENTAÇÃO DIAGRAMÁTICA DO MODELO PROPOSTO

A figura 4.2 refere-se à representação diagramática do modelo proposto. O Setor Agropecuário fornece produtos para açougue (carne), padaria (leite e ovos), agroindústria (leite), refeitório (ovos e mel), Setor Agrícola (esterco) e mercado (bovinos e equinos).

Figura 4.2 - Representação diagramática do modelo proposto

O Setor Agrícola oferta produtos para agroindústria (frutas), refeitório (frutas, hortaliças, arroz), Setor Pecuário (milho, silagem, pastagem) e serviços para o Setor Pecuário e de Alimentação (logística de distribuição).

O refeitório recebe produtos processados na agroindústria, padaria e açougue para fornecer alimentação à comunidade.

Os funcionários fornecem mão de obra ao sistema.

Os Setores Pecuário, Agrícola e Agroindustrial disponibilizam ambiente de aprendizagem para os alunos.

Os três Setores são abastecidos pelo mercado para alguns insumos.

4.2 REPRESENTAÇÃO MATEMÁTICA DO MODELO PROPOSTO

A estrutura do modelo matemático de Programação Linear compreende a função objetivo, restrições técnicas, restrições pedagógicas, restrições contábeis e variáveis endógenas.

A estrutura matemática foi codificada e processada pelo *software General Algebraic Modeling System* – GAMS versão 22.5, utilizando como *solver* o CPLEX 10.1 para sua resolução. A linguagem do *software* GAMS está registrada no CD Anexo, em seu formato original e em PDF, para que também possa ser visualizada por não usuários do GAMS.

4.2.1 Índices dos conjuntos do modelo

t :	meses;
a :	animais;
c :	vegetais;
j :	atividades de jardinagem;
g :	alimentos para animais;
r :	nutrientes para animais;
m :	máquinas agrícolas;

h : alimentos para pessoas.

Subíndices de alimentos para pessoas:

$p(h)$: proteínas;

$i(h)$: carboidratos;

$l(h)$: lácteos;

$f(h)$: frutas;

$o(h)$: hortaliças;

$s(h)$: sobremesas;

$d(h)$: panificados;

4.2.2 Parâmetros do modelo

cva_a : custo variável de produção do animal a (R\$/cabeça);

cvc_c : custo variável de produção do cultivo vegetal c (R\$/hectare);

cvj_j : custo variável da atividade de jardinagem j (R\$/m²);

cfm : custo fixo mensal referente folha de pagamento de trabalhadores (R\$);

cfo : demais custos fixos mensais (R\$);

prc_{at} : preço de mercado para compra do animal a no período t (R\$/cabeça);

prv_{at} : preço de mercado para venda do animal a no período t (R\$/cabeça);

prg_{gt} : preço de mercado para compra do alimento para animal g no período t (R\$/unidade de peso);

prh_{ht} : preço de mercado para compra do alimento para pessoa h no período t (R\$/unidade de peso);

pro_t : preço de mercado para compra de óleo diesel no período t (R\$/litro);

pua_a : produtividade do animal a (unidade de peso/cabeça);

puc_c : produtividade do vegetal c (unidade de peso/unidade de área);

txa_{at} : proporção do número de animais a em relação ao número de matrizes da respectiva categoria animal no período t (%);

epu_{ct} : binária 0/1 indicando possibilidade (1) de cultivo do vegetal c no período t ;

epc_{ct} : binária 0/1 indicando possibilidade (1) de custeio do vegetal c no período t ;

epo_{ct} : binária 0/1 indicando possibilidade (1) de colheita do vegetal c no período t ;

- epd_{jt} : binária 0/1 indicando possibilidade (1) de realização da atividade de jardinagem j no período t ;
- pta_{at} : número de animais a por aluno necessário para práticas pedagógicas no período t (cabeça/aluno);
- ptc_{ct} : área do cultivo vegetal c por aluno necessário para práticas pedagógicas no período t (unidade de área/aluno);
- pth_{ht} : quantidade de alimento h por aluno necessário para práticas pedagógicas no período t (kg/aluno);
- nex_{ar} : exigência nutricional do animal a em relação ao nutriente r (unidade de medida/cabeça);
- nms_g : percentual de matéria seca no alimento animal g (%);
- nfr_{grt} : fornecimento pelo ingrediente g do nutriente r no período t (unidade de medida/kg de matéria seca);
- nvc_a : proporção entre alimento volumoso e concentrado necessária para o animal a (% de matéria seca);
- nnn_a : percentual da matéria seca total equivalente à quantidade de núcleo mineral para fornecimento ao animal a (%);
- nua_a : número de unidades animal (UA) equivalentes para o animal a (UA/cabeça);
- lts : lotação animal suportada pelas pastagens (UA/hectare);
- esh_h : capacidade estática de estoque do alimento para pessoas h (unidade de peso);
- esg_g : capacidade estática de estoque do alimento para animais g (unidade de peso);
- eih_h : estoque inicial do alimento para pessoas h (unidade de peso);
- eig_g : estoque inicial do alimento para animais g (unidade de peso);
- are_j : área necessária para a atividade de jardinagem j (m²);
- tra_a : número de horas mensais de trabalho necessárias para o animal a (hora/cabeça);
- trc_c : número de horas mensais de trabalho necessárias para o vegetal c (hora/unidade de área);
- trj_j : número de horas mensais de trabalho necessárias para a atividade de jardinagem j (hora/m²);
- trh_h : número de horas mensais de trabalho necessárias para o processamento do alimento h (hora/unidade de peso);
- trr : número de horas mensais de trabalho necessárias para a fábrica de ração (hora);
- tru : número de horas mensais de trabalho necessárias para serviços urbanos (hora);
- trm : número de horas mensais de trabalho necessárias para serviços mecânicos (hora);

- trp : número de horas mensais de trabalho necessárias para aulas práticas (hora);
- hrq_{mct} : número de horas da máquina m necessárias para o cultivo vegetal c no período t (hora/unidade de área.mês);
- hpq_m : potência da máquina m (cavalo vapor);
- htq : coeficiente para consumo de diesel em função da potência de máquina (litro/cavalo vapor);
- qtd_{hh} : quantidade do alimento h necessária para processamento de outro alimento h (unidade de peso/unidade de peso);
- lmi_h : limite mínimo de percentual de dias com oferta do alimento l nas refeições (%);
- lma_h : limite máximo de percentual de dias com oferta do alimento l nas refeições (%);
- pdh_h : porção diária individual do alimento h nas refeições (kg/dia);
- dar : área arável disponível para cultivos vegetais (hectare);
- dap_t : área de pastagem nativa disponível no período t (hectare);
- dhm_m : número de horas mensais da máquina m disponíveis (hora);
- dta : número de trabalhadores em dedicação integral para o Setor Pecuário e Agrícola;
- dtb : número de trabalhadores em dedicação parcial para o Setor Pecuário e Agrícola;
- dtc : número de trabalhadores em dedicação integral para Setor Agroindustrial;
- dtd : número de trabalhadores em dedicação parcial para Setor Agroindustrial;
- dti : número de horas mensais trabalhadas por funcionário em dedicação integral (hora);
- dtp : número de horas mensais trabalhadas por funcionário em dedicação parcial (hora);
- npt : número de pessoas da comunidade;
- npe : número de estudantes da escola-fazenda.

4.2.3 Variáveis

- C : custo total (R\$);
- XAP_{at} : número de animais a em produção no período t (cabeça);
- XAM_{at} : número de animais a comprados no período t (cabeça);
- XAV_{at} : número de animais a vendidos no período t (cabeça);
- XCP_{ct} : área do cultivo vegetal c em produção no período t (unidade de área);
- $XJP_{j,t}$: área do jardim j trabalhada no período t (m²);

XHM_{ht} :	quantidade de alimento para pessoas h comprada no período t (unidade de peso);
XHP_{ht} :	quantidade de alimento para pessoas h produzida no período t (unidade de peso);
XHC_{ht} :	quantidade de alimento para pessoas h consumida no período t (unidade de peso);
XHE_{ht} :	quantidade de alimento para pessoas h estocada no período t (unidade de peso);
XHR_{ht} :	quantidade de alimento para pessoas h para processamento no período t (unidade de peso);
XHD_{ht} :	quantidade de alimento para pessoas h para práticas pedagógicas no período t (unidade de peso);
XGP_{gt} :	quantidade de alimentos para animais g produzida no período t (unidade de peso);
XGM_{gt} :	quantidade de alimentos para animais g compradas no período t (unidade de peso);
XGE_{gt} :	quantidade de alimentos para animais g estocada no período t (unidade de peso);
XGC_{gat} :	quantidade de alimentos g consumida pelo animal a no período t (unidade de peso);
XOM_t :	quantidade de óleo diesel comprado no período t (litro).

4.2.4 Função objetivo

$$\begin{aligned}
 MinC = & \sum_{a,t} cva_a XAP_{at} + \sum_{a,t} prc_{at} XAM_{at} - \sum_{a,t} prv_{at} XAV_{at} + \sum_{g,t} prg_{gt} XGM_{gt} \\
 & + \sum_{c,t} cvc_c XCP_{ct} + \sum_{j,t} cvj_j XJP_{jt} + \sum_{h,t} prh_{ht} XHM_{ht} \\
 & + \sum_t pro_t XOM_t + cfm + cfo
 \end{aligned}$$

4.2.5 Restrições

Para a representação das restrições do modelo, convenções simbólicas foram adotadas:

- $\forall$: Símbolo de quantificação universal que significa “para todos os elementos do conjunto”;
- $\wedge$: Símbolo de conjugação lógica que significa “e”;
- $\in$: Símbolo que significa “pertence ao conjunto”;
- $\dot{a}$: Sinal de ênfase com um ponto (.) representa um elemento específico do respectivo conjunto, portanto, pertencente ao conjunto: $\dot{a} \in a$;
- $\ddot{a}$: Sinal de ênfase com dois pontos (..) representa um subconjunto do respectivo conjunto, portanto, pertencente ao conjunto: $\ddot{a} \in a$;
- $\ddot{\ddot{a}}$: Sinal de ênfase com três pontos (...) também representa um subconjunto do respectivo conjunto, porém distinto do subconjunto $\ddot{a}$, de modo que $\ddot{\ddot{a}} \in a$, mas $\ddot{\ddot{a}} \neq \ddot{a}$.

4.2.5.1 Do Setor Pecuário

Composição de rebanhos:

$$XAP_{at} = txa_{at}XAP_{\dot{a}t} \quad \forall t \wedge \dot{a} \in a \quad (1)$$

O número de animais a no período t é definido por uma proporção em relação número de matrizes da respectiva espécie, representado por $\dot{a}$.

Manutenção da estabilidade de rebanhos:

$$XAP_{\ddot{a}\ddot{t}} = XAP_{\ddot{a}\ddot{t}+1} \quad \forall \ddot{a} \in a \wedge \ddot{t} \in t \quad (2)$$

O número de animais a em períodos t é mantido constante para algumas categorias ($\ddot{a}$), em determinados períodos ($\ddot{t}$).

Não possibilidade de criação de animais em determinados períodos:

$$XAP_{\ddot{\ddot{a}}\ddot{\ddot{t}}} = 0 \quad \forall \ddot{\ddot{a}} \in a \wedge \ddot{\ddot{t}} \in t \quad (3)$$

Esta restrição complementa a anterior. O número de animais a é nulo para algumas categorias, representadas pelo subconjunto $\ddot{\ddot{a}}$, que não podem ser criadas em alguns períodos, representados pelo subconjunto $\ddot{\ddot{t}}$.

Manutenção de rebanho para práticas pedagógicas:

$$XAP_{at} \geq pta_{at} npe \quad \forall a, t \quad (4)$$

O número mínimo de animais a , em função da necessidade por aluno e do número de alunos, que deve ser necessariamente criado para realização de práticas pedagógicas.

Ocupação de área pelos animais:

$$\sum_a nua_a XAP_{at} \leq lts \sum_{\check{c}} XCP_{\check{c}t} \quad \forall t \wedge \check{c} \in c \quad (5)$$

O número de unidades animais (UA) a ser mantido deve ocupar uma área máxima definida pela soma das áreas de pastagem nativa e cultivada, representadas pelo subconjunto $\check{c}$ pertencente a c .

Balanço de estoque de alimentos para animais:

$$XGE_{gt} = XGE_{gt-1} + XGP_{gt} + XGM_{gt} - \sum_a XGC_{gat} \quad \forall g \wedge t \neq 0 \quad (6)$$

A quantidade de alimento para animais g estocada no período t é definida pelo estoque de passagem do período anterior adicionado da quantidade produzida no período e da quantidade comprada no mercado, diminuída da quantidade consumida por todas as categorias de animais a .

Limite de capacidade de estoque de alimentos para animais:

$$XGE_{gt} \leq esg_g \quad \forall g, t \quad (7)$$

A quantidade de alimento para animais g estocada deve ser limitada pela capacidade estática de armazenamento disponível.

Estoque inicial de alimentos para animais:

$$XGE_{gt} = eig_g \quad \forall g \wedge t = 0 \quad (8)$$

A quantidade de alimento para animais g estocada no período prévio ao planejamento ($t = 0$) deve ser previamente definida.

Suprimento das necessidades nutricionais de animais:

$$\sum_g nms_g nfr_{grt} XGC_{gat} \geq 30 nex_{ar} XAP_{at} \quad \forall a, t \quad (9)$$

A quantidade de todos os alimentos para animais g , multiplicada pela sua respectiva composição nutricional e de matéria seca, deve ser suficiente para atender às exigências de cada uma das categorias animais a , em cada período t .

Suprimento de núcleo mineral para animais:

$$XGC_{\dot{g}at} = nnn_a \sum_g nms_g XGC_{gat} \quad \forall a, t \wedge \dot{g} \in g \quad (10)$$

A quantidade de núcleo mineral, sendo esse representado pelo alimento animal $\dot{g}$, é definida como uma proporção da quantidade total de matéria seca fornecida por todos os alimentos g , para cada categoria animal, em cada período t .

Balço entre alimentos volumosos e concentrados para animais herbívoros:

$$\sum_{\check{g}} nms_{\check{g}} XGC_{\check{g}\check{a}t} \geq nvc_a \sum_{\check{g}} nms_{\check{g}} XGC_{\check{g}\check{a}t} \quad \forall t \wedge \check{a} \in a \wedge \check{g} \in g \wedge \check{g} \in g \quad (11)$$

A quantidade de matéria seca de todos os alimentos volumosos, representados pelo subconjunto $\check{g}$ deve ser superior à proporção recomendada sobre a quantidade de matéria seca de todos os alimentos concentrados, representados pelo subconjunto $\check{g}$; sendo esta restrição válida apenas para animais herbívoros, representados pelo subconjunto $\check{a}$.

Produção de alimentos para pessoas à base de animais (carnes, ovos e mel):

$$XHP_{p(h)t} = \sum_{\check{a}} pua_{\check{a}} XAP_{\check{a}t} \quad \forall p(h), t \wedge \check{a} \in a \quad (12)$$

A quantidade de alimentos animais (carnes, ovos e mel) $p(h)$ produzida no período t é dada pelo total produzido por animais das categorias respectivas, representadas pelo subconjunto $\check{a}$.

Produção de leite cru:

$$XHP_{l(h)t} = \sum_{\check{a}} pua_{\check{a}} XAP_{\check{a}t} \quad \forall t \wedge l(h) \in l(h) \wedge \check{a} \in a \quad (13)$$

O volume de leite cru $l(h)$ produzido no período t é dado pelo total produzido por animais das categorias leiteiras, representadas pelo subconjunto $\check{a}$ pertencente a a .

4.2.5.2 Do Setor Agrícola

Dinâmica de uso de área pelos cultivos vegetais:

$$XCP_{\check{c}\check{t}} = XCP_{\check{c}\check{t}+1} \quad \forall \check{c} \in c \wedge \check{t} \in t \quad (14)$$

A área utilizada para alguns cultivos vegetais $\check{c}$ em determinados períodos $\check{t}$ é mantida constante, visando completar o ciclo biológico dos mesmos.

Não possibilidade de cultivo de vegetais em determinados períodos:

$$XCP_{\check{c}\check{t}} = 0 \quad \forall \check{c} \in c \quad \wedge \quad \check{t} \in t \quad (15)$$

Esta restrição complementa a anterior. A área utilizada para cultivo é nula para os vegetais do subconjunto $\check{c}$ em períodos do subconjunto $\check{t}$.

Manutenção de cultivos vegetais para práticas pedagógicas:

$$XCP_{ct} \geq ptc_{ct} \quad npe \quad \forall c, t \quad (16)$$

A área mínima para o cultivo do vegetal c , em função da necessidade por aluno e do número de alunos, deve ser necessariamente cultivada para realização de práticas pedagógicas.

Produção de alimentos vegetais para animais:

$$XGP_{gt} = puc_{\check{c}} XCP_{\check{c}t} \quad \forall g, t \quad (17)$$

A quantidade de alimentos para os animais g , produzida no período t , é dada pelo total produzido pelos cultivos vegetais respectivos, representados pelo subconjunto $\check{c}$.

Produção de alimentos energéticos para pessoas:

$$XHP_{i(h)t} = \sum_{\check{c}} puc_{\check{c}} XCP_{\check{c}t} \quad \forall i(h), t \quad \wedge \quad \check{c} \in c \quad (18)$$

A quantidade de alimentos energéticos (carboidratos) $i(h)$ produzida no período t é dada pelo total produzido por cultivos vegetais das categorias de produção de alimentos energéticos, representados pelo subconjunto $\check{c}$ pertencente a c .

Produção de frutas:

$$XHP_{f(h)t} = \sum_{\check{c}} puc_{\check{c}} XCP_{\check{c}t} \quad \forall f(h), t \quad \wedge \quad \check{c} \in c \quad (19)$$

A quantidade de frutas $f(h)$ produzida no período t é dada pelo total produzido por cultivos vegetais das categorias frutícolas, representadas pelo subconjunto $\check{c}$ pertencente a c .

Produção de hortaliças:

$$XHP_{o(h)t} = \sum_{\check{c}} puc_{\check{c}} XCP_{\check{c}t} \quad \forall o(h), t \quad \wedge \quad \check{c} \in c \quad (20)$$

A quantidade de hortaliças $o(h)$ produzida no período t é dada pelo total produzido por cultivos vegetais das categorias hortícolas, representadas pelo subconjunto $\check{c}$ pertencente a c .

4.2.5.3 Da Agroindústria

Processamento de lácteos:

$$XHR_{l(h)t} = \sum_{\check{l}(h)} qtd_{l(h)\check{l}(h)} XHP_{\check{l}(h)t} \quad \forall t \wedge \check{l}(h) \in l(h) \wedge \check{l}(h) \in l(h) \quad (21)$$

O volume de leite cru $\check{l}(h)$ a ser processado no período t é definido pela quantidade de produtos lácteos $\check{l}(h)$ produzidos no período.

Processamento de frutas:

$$XHR_{f(h)t} = \sum_{\check{f}(h)} qtd_{f(h)\check{f}(h)} XHP_{\check{f}(h)t} \quad \forall t \wedge \check{f}(h) \in f(h) \quad (22)$$

A quantidade de fruta $f(h)$ a ser processada no período t é definida pela quantidade de frutas processadas (doces à base de frutas) $\check{f}(h)$ produzidas no período.

4.2.5.4 Do Refeitório

Balanço de estoque de alimentos para pessoas:

$$XHE_{ht} = XHE_{ht-1} + XHP_{ht} + XHM_{ht} - XHC_{ht} - XHR_{ht} - XHD_{ht} \quad (23)$$

$$\forall p \wedge t \neq 0$$

A quantidade de alimento h estocada no período t é definida pelo estoque de passagem do período anterior adicionado da quantidade produzida no período e da quantidade comprada no mercado, diminuída da quantidade consumida, da quantidade utilizada para processamento e da quantidade elaborada em práticas pedagógicas.

Manutenção de produção de alimentos para práticas pedagógicas:

$$XHD_{ht} \geq pth_{ht} npe \quad \forall h, t \quad (24)$$

A quantidade mínima do alimento h , em função da necessidade por aluno e do número de alunos, deve ser necessariamente processada para as práticas pedagógicas.

Limite de capacidade de estoque de alimentos:

$$XHE_{ht} \leq esh_h \quad \forall h, t \quad (25)$$

A quantidade de alimento h estocada deve ser limitada pela capacidade estática de armazenamento.

Estoque inicial de alimentos para pessoas:

$$XHE_{ht} = eih_h \quad \forall h \wedge t = 0 \quad (26)$$

A quantidade de alimento h estocada no período prévio ao planejamento ($t = 0$) deve ser previamente definida.

Definição da porção diária de subgrupos de alimentos nas refeições:

$$\sum_{\check{h}} XHC_{\check{h}t} = 30 \quad pdh_{\check{h}} \quad npt \quad \forall \check{h}, t \wedge \check{h} \in h \quad (27)$$

A quantidade total de alimentos do subgrupo $\check{h}$ (proteínas, carboidratos, lácteos, frutas, hortaliças, sobremesas ou panificados) consumidos no período t é definida pela porção diária individual estipulada para esse grupo de alimento, multiplicada pelo número de dias no período e pelo número de pessoas a serem atendidas.

Definição de limites para diversificação de alimentos dentro de subgrupo nas refeições:

$$lmi_h \sum_{\check{h}} XHC_{\check{h}t} \leq XHC_{ht} \leq lma_h \sum_{\check{h}} XHC_{\check{h}t} \quad \forall h, t \wedge \check{h} \in h \quad (28)$$

A quantidade a ser consumida do alimento h no período t deve ficar compreendida entre o limite percentual mínimo e máximo do total consumido dos alimentos do seu respectivo subgrupo $\check{h}$ (proteínas, carboidratos, lácteos, frutas, hortaliças, sobremesas ou panificados).

4.2.5.5 Da disponibilidade de recursos

Disponibilidade de trabalho nos Setores Pecuário e Agrícola:

$$\begin{aligned} \sum_a tra_a XAP_{at} + \sum_c trc_c XCP_{ct} + \sum_j trj_j XJP_{jt} + trr + tru + trm + trp \\ \leq (dta \times dti) + (dtb \times dtp) \quad \forall t \end{aligned} \quad (29)$$

A soma da demanda por trabalho em todas as atividades pecuárias, agrícolas, de jardinagem, na fábrica de ração, nos serviços urbanos, nos serviços mecânicos e em aulas práticas deve ser

atendida pela quantidade total de horas de trabalho disponível no Setor Pecuário e Agrícola, no período t .

Disponibilidade de trabalho no Setor Agroindustrial:

$$\sum_h trh_h XHR_{ht} \leq (dte \times dti) + (dtd \times dtp) \quad \forall t \quad (30)$$

A demanda por trabalho nas atividades de processamento agroindustrial deve ser atendida pela quantidade total de horas de trabalho disponível no Setor Agroindustrial, no período t .

Disponibilidade de horas de máquina para o Setor Pecuário e Agrícola:

$$\sum_c hrq_{mct} XCP_{ct} \leq dhm_m \quad \forall t, m \quad (31)$$

A necessidade de horas de máquinas de cada categoria de maquinário m , para operações em todos os cultivos vegetais c deve ser atendida pela quantidade total de horas de máquinas disponível para o Setor Pecuário e Agrícola, no período t .

Consumo de óleo diesel no Setor Pecuário e Agrícola:

$$XOM_t = htq \sum_m \sum_c hpq_m hrq_{mct} XCP_{ct} \quad \forall t \quad (32)$$

A quantidade total de óleo diesel a ser comprada no mercado é dada pelo total de combustível consumido por todas as máquinas m , que realizaram operações em todos os cultivos vegetais c no período t .

Disponibilidade de área arável para cultivos vegetais:

$$\sum_{\check{c}} XCP_{\check{c}t} \leq dar \quad \forall t \wedge \check{c} \in c \quad (33)$$

A área total para cultivos vegetais, exceto pastagem nativa, deve ficar restrita à disponibilidade de área arável em cada período t .

Disponibilidade de área de pastagem nativa:

$$\sum_{\check{c}} XCP_{\check{c}t} \leq dap_t \quad \forall t \wedge \check{c} \in c \quad (34)$$

A área total para uso da pastagem nativa, tanto no período das águas quanto nas secas, deve ficar restrita à disponibilidade de área de pastagem nativa em cada período t .

4.3 ESTUDO DE CASO: APLICAÇÃO DO MODELO NO PLANEJAMENTO DA ESCOLA DE CANUANÃ

O levantamento de dados foi realizado na Escola de Canuanã, que ocupa 2.549,07 hectares. Está localizada na região Sul do Tocantins, na microrregião do Rio Formoso, município de Formoso do Araguaia, às margens do rio Javaés em frente à Ilha do Bananal com coordenadas 11°59'18"S 49°53'8"W (figuras 4.3; 4.4).

Figura 4.3 - Mapa com representação das microrregiões do estado do Tocantins: 01. Araguaína; 02. Bico do Papagaio; 03. Dianópolis; 04. Gurupi; 05. Jalapão; 06. Miracema do Tocantins; 07. Porto Nacional; 08. Rio Formoso

Fonte: CityBrazil (2011)

Figura 4.4 - Mapa com representação da microrregião Rio Formoso e localização do município de Formoso do Araguaia

Fonte: CityBrazil (2011)

O clima da região é tropical semiúmido com temperatura média anual de 28°C e precipitação entre 1.500 a 1.600 mm anuais. Há duas estações bem definidas, a estação seca de abril a setembro e a estação das águas de outubro a maio. O bioma local consiste de vegetação de cerrado (87%), várzeas e matas de transição amazônica (12%). A formação pedológica é predominantemente de plintossolos caracterizados por alto teor de ferro, baixa fertilidade natural, elevada acidez e toxicidade por alumínio (SEPLAN, 2011).

A água disponível é do Rio Javaés, bombeada por eletrobomba e utilizada pela comunidade que vive na escola (figura 4.5). A vegetação caracteriza-se por cerrado, mata fechada, varjões e várzeas inundadas.

Figura 4.5 - Vista aérea da Escola de Canuanã

Fonte: Fundação Bradesco (2012)

Figura 4.6 - Vista aérea da Escola de Canuanã

Fonte: Fundação Bradesco (2012)

Na escola-fazenda tem-se a área urbana, na qual ocorrem as aulas e a população reside, e a área rural onde há o desenvolvimento de atividades agropecuárias pelo Setor Pecuário e Agrícola (figura 4.6; 4.7, anexo A).

Figura 4.7 - Áreas da Escola de Canuanã

Fonte: Fundação Bradesco (2012)

4.3.1 A Escola de Canuanã¹

A Fundação Bradesco atua há 55 anos em prol da educação e inclusão social. É uma entidade sem fins lucrativos que tem contribuído para o desenvolvimento cultural, social e econômico das regiões onde atua. Foi criada em 1956 pelo fundador do Banco Bradesco, Sr. Amador Aguiar, com objetivo de proporcionar educação e profissionalização a crianças, jovens e adultos, pois tinha preocupação com a situação do ensino no país.

As escolas constituem uma referência sociocultural nas regiões em que se encontram. Essas comunidades vêem na Fundação Bradesco possibilidades de ampliar horizontes de trabalho e de realizações. Ao instalar e manter as suas unidades escolares prioritariamente em regiões carentes do ponto de vista socioeconômico, a instituição procura contribuir para a reversão desse quadro, orientando-se por dois princípios: o respeito às particularidades locais e a valorização dos saberes adquiridos na convivência familiar.

A atuação das escolas se dá nos segmentos educacionais de Educação Infantil, Ensino Fundamental, Ensino Médio, Educação Profissional e Educação de Jovens e Adultos. Na área de Educação Profissional os alunos têm oportunidade de qualificação e habilitação profissional por meio de Cursos Técnicos de Nível Médio e Cursos de Formação Inicial e Continuada. São ofertados cursos técnicos em quatro Eixos Tecnológicos definidos pelo Ministério da Educação em cumprimento à Lei 11.741, de 16 de julho de 2008: Recursos Naturais (Técnico em Agropecuária), Controle e Processos Industriais (Técnico em Eletrônica), Informação e Comunicação (Técnico em Informática) e Gestão e Negócios (Técnico em Administração).

Com o intuito de chegar a regiões de fronteira agrícola com uso de incentivos fiscais para levar a pecuária e as novas tecnologias aos locais com menos recursos no interior do Brasil, iniciaram-se os projetos das escolas-fazenda.

Em 5 de julho de 1973 foi inaugurada a Escola de Ensino Fundamental, Médio, Educação Profissional de Jovens e Adultos Dr. Dante Pazzanese (Escola de Canuanã). Naquela época, a região ainda pertencia ao Estado de Goiás. Somente em 05 de outubro de 1988 é que Tocantins foi criado pela Assembléia Nacional Constituinte. Foi um projeto inovador em uma região afastada de um centro urbano, de difícil acesso devido às estradas precárias e restrições impostas pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos

¹ As informações foram obtidas em registros históricos da Fundação Bradesco e no site institucional (FUNDAÇÃO BRADESCO, 2012).

Naturais Renováveis (IBAMA) e pela Fundação Nacional do Índio (FUNAI), fundar uma escola em um local carente por educação. Optou-se por fazer um regime de internato para facilitar o acesso dos alunos e incrementar o currículo com atividades práticas. Havia diariamente quatro horas em sala de aula e duas horas de atividades de campo.

A Escola de Canuanã começou com 86 alunos, sendo o primeiro internato da Fundação Bradesco. Decorridos dez anos, a escola chegou a sua capacidade máxima projetada, atendendo 1.000 alunos. O local tornou-se referência na região como um centro educacional com mais de 33.000 m² de área construída e 24 salas de aula. Destacavam-se ensinamentos sobre biofertilizantes, aproveitamento de energia solar, filosofia de desenvolvimento regional e preservação ambiental. Nesse ambiente escolar promoveu-se interação com indígenas das tribos Javaés e Ava-canoerios que habitavam a região, possibilitando que esses tivessem oportunidades de educação e profissionalização.

Até hoje a Escola funciona em regime de internato e atende crianças e jovens no Ensino Fundamental, Médio e Educação Profissional. Os alunos permanecem na escola em horário integral, com algumas saídas nos finais de semana.

Além dos recursos educacionais, a Escola fornece alimentação, assistência médica e odontológica, material escolar e uniforme. Os alunos permanecem em alojamentos distribuídos conforme sua faixa etária; nas séries iniciais ficam alojados em pequenas moradias com acompanhamento de um monitor, e posteriormente passam para alojamentos coletivos.

A infraestrutura é composta pelo Colégio I onde há dez salas de aula, sala de vídeo, brinquedoteca, casa de bonecas, sala de arte, clube do estudante, sala de estudos, sala dos professores, sala dos orientadores, banheiros, lavatórios, copa, pátio e estrutura para fotocópias e impressão de material didático. No Colégio II tem-se 11 salas de aula, Laboratório de Ciências, Laboratório de Informática, Sala de Expressão Corporal, Sala de Vídeo, duas Salas de Estudo, Sala de Arte, banheiros, copa, pátio e estrutura para fotocópias e impressão de material didático. Os alunos dispõem de mais um Laboratório de Informática, onze áreas para oficinas pedagógicas e Biblioteca. Há ainda quadra de esportes e piscina para realização das aulas de Educação Física.

No ano de 2011, havia 909 alunos na Escola e o atendimento foi de 2.504 alunos nas diversas modalidades de ensino (tabela 4.1).

Tabela 4.1 - Demonstrativo do número de alunos atendidos em 2011 na Fundação Bradesco - Escola de Canuanã

Segmento educacional	Atendimento
Educação Básica - Educação Infantil	14
Educação Básica - Ensino Fundamental	643
Educação Básica - Ensino Médio	252
EPTNM - Técnico em Agropecuária	252
Educação de Jovens e Adultos - Ensino Médio	11
Formação Inicial e Continuada - Informática	1.332
Formação Inicial e Continuada - Artesanato e Agropecuária	314
Total	2.504

Nota: EPTNM refere-se à Educação Profissional Técnica de Nível Médio

Fonte: Fundação Bradesco (2012)

Os alunos da Educação Infantil são os filhos de funcionários da Escola, portanto, são em menor número. A partir do Ensino Fundamental, faz-se um processo seletivo para atender as pessoas da comunidade que desejam matricular seus filhos. Muitos alunos são matriculados no início do Ensino Fundamental e permanecem até a conclusão do Ensino Médio, totalizando até doze anos na escola.

4.3.1.1 Curso Técnico em Agropecuária²

A partir de 2001, o Curso Técnico em Agropecuária, baseado na Lei 9394/96, começou a ser oferecido concomitante ao Ensino Médio, em módulos com carga horária total de 1.200 horas. O aluno conclui o Ensino Médio com formação profissional em Técnico Agropecuário.

Os alunos matriculados oriundos da comunidade (90% do total) habitam a região e pertencem a famílias de assentados e tribos indígenas. Na sua maioria, os jovens são filhos de pequenos agricultores que vieram da Ilha do Bananal e que foram assentadas pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma agrária (INCRA) em áreas próximas à escola-fazenda. Vivem em regime de agricultura familiar ou mesmo de subsistência, dispondo de pouca ou nenhuma orientação técnica relativa aos procedimentos agropecuários.

Considerando as necessidades regionais e as orientações oficiais, a Escola, por meio do Curso Técnico em Agropecuária, se propõe a disponibilizar aos seus alunos conhecimentos, novos recursos, técnicas e práticas relativas à produção agropecuária, além de

² Informações contidas no Plano de Curso do Curso Técnico em Agropecuária da Escola de Canuanã.

uma formação voltada para a constante atualização. Busca formar alunos que saibam mais do que apenas produzir, mas que considerem também que “o como” se produz revela valores culturais e dimensões do desenvolvimento das forças produtivas e das relações de produção. Soma-se também a responsabilidade de formar técnicos sintonizados com as demandas do agronegócio brasileiro, garantindo a expansão dos processos produtivos.

A organização curricular do Curso Técnico em Agropecuária – Eixo tecnológico: Recursos Naturais - Educação Profissional Técnica de Nível Médio está estruturada em 32 unidades de estudo, agrupadas em quatro módulos que representam eixos temáticos: Produção Animal, Produção Vegetal, Produção Agroindustrial e Gestão de Agronegócios, que possibilitam terminalidade formativa.

Em cada módulo é realizada determinada carga horária de aulas práticas e teóricas e atividades de “Prática do processo produtivo”, como integradoras, nas quais os alunos permanecem em determinado período em cada setor agropecuário da Escola acompanhando todo o processo produtivo, desde o planejamento até a análise econômica da atividade.

Com o intuito de aliar o conhecimento teórico e a prática profissional, a Fundação Bradesco utiliza como recurso pedagógico a metodologia de projetos, que possibilita aos alunos ser sujeito ativo em seu processo de aprendizagem. O aluno realiza um Projeto que culmina com a produção do Trabalho de Conclusão de Curso.

O Curso Técnico em Agropecuária concomitante ao Ensino Médio é ofertado em três anos de curso. No primeiro ano, o aluno cursa o Módulo de Produção Animal, no segundo ano o Módulo de Produção Vegetal e no terceiro ano, os módulos de Produção Agroindustrial e de Gestão de Agronegócios.

Para atender o Curso Técnico há cinco professores com formação em Medicina Veterinária, Agronomia e Tecnologia em Agroindústria, e uma Orientadora Profissional que é médica veterinária.

No Curso Técnico em Agropecuária, em janeiro de 2011 foram matriculados 88 alunos no 1º ano, 86 alunos no 2º ano e 79 alunos no 3º ano. Em dezembro de 2011, 78 Técnicos Agropecuários foram habilitados.

Para a formação dos alunos é importante que a escola ofereça diversidade na produção agrícola, pecuária e agroindustrial de modo a atender a demanda de atividades práticas.

Nesse contexto, as atividades agropecuárias são responsáveis pelo abastecimento da escola-fazenda para alimentação dos moradores, bem como para realização das práticas

pedagógicas do Curso Técnico em Agropecuária e Cursos de Formação Inicial e continuada na área.

4.3.2 Área Urbana da Escola de Canuanã

A propriedade possui uma área construída de 72.343,14 m². Nessa área denominada urbana há escola, sede administrativa e infraestrutura para atender a comunidade que lá reside.

Na Escola de Canuanã há um total de 264 funcionários e, na maioria dos casos, todos os integrantes adultos da família trabalham na propriedade. Os funcionários residem ali com suas famílias em casas individualizadas. Em 2011 havia 80 casas ocupadas e quatro casas livres.

Os alunos que estudam em regime de internato residem em moradias coletivas. Do primeiro ao quinto ano do Ensino Fundamental os alunos permanecem em moradas menores com até 12 alunos, sendo que há um total de 24 moradas, 12 para meninos e 12 para meninas. A partir do sexto ano, eles passam a residir em um dos 12 alojamentos coletivos, que comportam até 80 alunos cada um, sendo seis para meninas e seis para meninos.

A comunidade tem a sua disposição hospital com atendimento médico e odontológico, realizado por dois médicos e um dentista.

Há áreas de lazer, como parques para as crianças, clubinho para os alunos, churrasqueira, piscina, academia para exercícios físicos e uma emissora de rádio organizada pelos alunos.

Diariamente o refeitório oferta três refeições: café da manhã, almoço e jantar para todos os alunos. Também são servidos dois lanches nos intervalos das aulas, um no período da manhã e outro no período da tarde. Esses lanches são servidos nos locais onde os alunos estão em aula. Os funcionários também almoçam e jantam no refeitório, recebem dois lanches diariamente e para o café da manhã podem retirar leite e pão. O refeitório funciona todos os dias da semana, inclusive finais de semana e feriados, uma vez que sempre há alunos e funcionários na escola. Os alimentos necessários para abastecer o refeitório são produzidos na área agropecuária ou comprados. Portanto, o refeitório deve ser capaz de atender toda a comunidade que reside na Escola de Canuanã.

4.3.3 Aplicação do Modelo de Programação Linear

4.3.3.1 Número de elementos contidos nos conjuntos

Número de elementos contidos nos conjuntos

- t : 36 meses;
- a : 80 categorias animais;
- c : 16 categorias vegetais;
- j : 2 atividades de jardinagem;
- g : 25 alimentos para animais;
- r : 6 nutrientes para animais;
- m : 4 categorias de máquinas agrícolas.
- h : alimentos para pessoas:

Subíndices de alimentos para pessoas

- $p(h)$: 6 alimentos proteicos;
- $i(h)$: 5 alimentos energéticos (carboidratos);
- $l(h)$: 7 alimentos lácteos;
- $f(h)$: 3 categorias de frutas;
- $o(h)$: 3 categorias de hortaliças;
- $s(h)$: 11 categorias de sobremesas;
- $d(h)$: 2 alimentos panificados;

4.3.3.2 Cenários

Diversas simulações foram realizadas a partir da aplicação do modelo proposto em diferentes condições para avaliar o impacto de tais variações nos resultados obtidos. Na tabela 4.2 apresenta-se de modo resumido os 35 cenários que foram desenvolvidos.

Tabela 4.2 - Cenários desenvolvidos a partir da aplicação do modelo matemático

Cenários	Peculiaridade
1	Parâmetros representativos da propriedade (cenário base)
2	Solução obtida com propriedade otimizada
3 a 9	Variam a ocupação da área com atividades agropecuárias, sendo que o Cenário 3 apresenta mínimo de 400 ha e os demais aumentam essa área em 100 ha até atingir 1.000 ha no Cenário 9
10 a 17	Variam o número de trabalhadores da agropecuária, sendo que o cenário 10 representa 27 trabalhadores e os demais aumentam essa quantidade em 1 trabalhador até atingir 34 no Cenário 17
18 a 29	Variam o número de trabalhadores da agroindústria, sendo que o cenário 18 representa 9 trabalhadores e os demais aumentam essa quantidade em 1 trabalhador até atingir 20 no Cenário 29
30	Aumenta a disponibilidade de horas-máquina em 154 horas sobre o Cenário 1
31	Aumenta a disponibilidade de horas-máquina em 154 horas sobre o Cenário 2
32 a 35	Variam o número de turmas do Curso Técnico em Agropecuária (40 alunos cada), sendo que o Cenário 32 totaliza 310 estudantes e os demais aumentam essa quantidade em uma turma até atingir 430 estudantes

4.3.4 Formação técnica pedagógica da equipe envolvida no processo e levantamento e sistematização de dados

A Escola de Canuanã possuía planilhas de controle para as atividades agropecuárias. No entanto, para a modelagem foi necessário criar novos métodos de organização dos dados disponíveis e realizar coleta daqueles que não estavam registrados.

Como o modelo proposto objetiva servir de ferramenta gerencial e pedagógica era importante que a equipe escolar compreendesse a lógica de sua formulação e reconhecesse a importância da coleta e organização dos dados para que posteriormente pudesse interpretar os resultados obtidos e fazer efetivo uso da ferramenta. Para isso a formação contemplou três etapas presenciais e duas videoconferências (figura 4.8).

Figura 4.8 – Representação esquemática da formação técnica pedagógica para a equipe da Escola de Canuanã

O objetivo dessa formação foi que os participantes pudessem: compreender a importância da coleta de dados e sua organização; identificar as variáveis principais do sistema de produção; coletar e organizar dados; relacionar as atividades da escola; aprender conceitos sobre modelagem matemática; e interpretar os resultados do modelo. Com isso os profissionais podem utilizar a modelagem matemática como estratégia de ensino.

O programa de formação iniciou com um encontro presencial na escola em maio de 2011 para apresentar a aplicabilidade do uso da Pesquisa Operacional na agropecuária e motivar a equipe para a realização do projeto. Foi apresentada uma lista com os principais itens que deveriam ser alvo de pesquisa de campo.

Iniciou-se um levantamento de todos os dados que são registrados rotineiramente na escola: controle de movimentação de rebanho, índices zootécnicos, plano de safra e produtividade. Em posse dessas informações foram elaboradas planilhas para determinação dos custos de cada atividade agropecuária, a fim de estabelecer os custos por animal ou hectare, uma vez que tal informação é parâmetro do modelo.

As planilhas construídas foram apresentadas à equipe no segundo encontro presencial na escola em setembro de 2011. Nesse momento foi discutida a organização dos dados do Setor Agrícola e fez-se a opção por trabalhar com grupos de frutas e hortaliças que apresentassem semelhanças de manejo, custo e produtividade a fim de simplificar os cultivos,

uma vez que havia grande variedade. Nesse momento fez-se o levantamento da mão de obra e sua distribuição em cada uma das atividades agropecuárias.

A coleta de dados prosseguiu e iniciou-se a formulação de um modelo simplificado considerando a produção de milho, sorgo e ovinos. Nesse momento também foi definida a composição da dieta dos animais, sendo registrados os alimentos utilizados na escola-fazenda e aqueles que poderiam ser comprados. Para cálculo da exigência nutricional dos animais foram utilizadas as tabelas adotadas pela equipe escolar (NRC, 1989, 1996; ROSTAGNO, 2005). Para os herbívoros foi definido um parâmetro referente à proporção mínima de volume que deveria conter na dieta. Para aves e suínos definiu-se uma quantidade mínima de energia metabolizável por quilo de alimento concentrado formulado.

Em novembro de 2011, em encontro presencial na escola, foi realizada uma palestra sobre a modelagem e foram apresentados dois modelos, um para uma propriedade leiteira (BARROS et al., 2010; GAMEIRO et al., 2011c, GAMEIRO, 2011d) e o modelo simplificado com dados da Escola de Canuanã que geraram os resumos expandidos. A equipe participou de discussões para determinar os próximos passos do projeto. Os profissionais foram divididos em grupos menores de modo que cada grupo ficasse responsável por determinadas atividades agropecuárias facilitando a coleta de dados e comunicação. Nessa etapa foram identificadas as informações que a escola não dispunha e que necessitariam de levantamento, porém, em longo prazo. Dessa forma, foi realizada estimativa desses dados com base em pesquisas na literatura e indicação da equipe técnica. Aplicou-se um questionário aos participantes, que continha as seguintes perguntas:

1. Qual a contribuição da modelagem para sua prática profissional?
2. Quais questões você espera que a modelagem responda?
3. Quais as dificuldades a serem superadas?

As respostas foram analisadas a fim de verificar se o modelo proposto poderia atender a expectativa da equipe da Escola de Canuanã.

Com a definição da função objetivo, do conjunto de dados, dos parâmetros e das variáveis foi identificada a necessidade de levantamento de mais dados de campo. Realizou-se videoconferência para apresentação de todos os dados coletados para validação da equipe e dos dados que ainda eram necessários. Com o Setor de Alimentação foi definida a melhor forma de agrupar alimentos para a população de modo a gerar demandas a serem supridas por produtos produzidos na escola ou comprados no mercado.

Um questionário foi elaborado para ser respondido pelos professores da escola a respeito das suas percepções sobre a necessidade de áreas, animais, variedades vegetais e

produtos agroindustriais que atendam a demanda de atividades práticas do curso técnico em agropecuária. Essa etapa foi necessária para definir um padrão mínimo para as atividades práticas da escola, e esse será uma restrição do modelo matemático.

Realizou-se videoconferência com a equipe escolar para apresentação da estrutura do modelo em formulação, de modo que compreendam o relacionamento dos dados e visualizem quais seriam as necessidades de levantamento no campo. Nesse momento já foi possível demonstrar que o modelo gerava resultados semelhantes aos da escola-fazenda.

O levantamento da logística de distribuição dentro da escola-fazenda, demanda de mão de obra e máquinas para a área urbana, bem como dos produtos comprados no mercado e levantamento da capacidade estática dos silos, galpões e câmaras frias foi outra etapa do processo.

Realizou-se, em agosto de 2012, encontro presencial com a equipe na Escola de Canuanã para apresentação dos resultados. Nesse momento foi apresentado o modelo matemático e os cenários gerados para análise e validação.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 RESULTADOS DO LEVANTAMENTO E SISTEMATIZAÇÃO DE DADOS

Os resultados do levantamento e sistematização de informações da escola-fazenda foram obtidos por meio de atividades de formação técnica pedagógica com a equipe escolar. Esses dados alimentaram o modelo proposto.

5.1.1 Setor Pecuário

Realizou-se um estudo de cada criação para identificar as informações relevantes para o processo de formulação do modelo.

Identificou-se para cada espécie animal sua produtividade. Para os animais abatidos representa o peso da carcaça em quilogramas por cabeça animal. A produtividade leiteira refere-se à quantidade de leite em litros produzida por vaca diariamente. Para as aves poedeiras tem-se a produção de ovos por ave por dia. E para a atividade de apicultura a produtividade é a quantidade de mel em quilogramas colhida por caixa por ano.

Outra informação obtida foi o custo variável por categoria animal excluindo-se o custo com alimentação, uma vez que esta parcela de custo é tratada separadamente.

5.1.1.1 Bovinocultura de corte

Os bovinos de corte são da raça Nelore e cruzamentos. Havia um total de 165 bovinos Nelore Puro de Origem (PO) e 252 Livro aberto (LA) com genealogia controlada por registro na Associação Brasileira de Criadores das Raças Zebuínas (ABCZ) denominado rebanho elite. Há ainda 669 bovinos Nelore de menor valor genético e cruzamentos com raças europeias como Red Angus, que compõem o rebanho comercial.

Os animais são mantidos em pastagens de gramíneas das espécies *Brachiaria humidicola* (614 hectares), *Panicum maximum* cv. Mombaça (230 hectares) e *Brachiaria brizantha* (300 hectares) com manejo extensivo. Na época da seca o rebanho de corte tem acesso à forragem de piquetes que permaneceram vedados na época das águas e pode ser suplementado com sal proteico. Água e sal mineral para bovinos ficam disponíveis aos animais durante todo o ano.

O manejo reprodutivo é realizado com inseminação artificial sem repasse com touro. Utiliza-se por 1,36 doses de sêmen por vaca por ano. Uma dose de sêmen custa R\$ 15,00, portanto, o custo para inseminar cada vaca era de R\$ 20,40.

O manejo sanitário consiste do uso de anti-helmínticos de forma estratégica, de medicamentos sob prescrição do médico veterinário, quando necessário, e da administração de vacinas de acordo com calendário em conformidade com as orientações da Agência de Defesa Sanitária Animal do Estado (ADAPEC) contra clostridioses (R\$ 0,66/dose), raiva (R\$ 0,56/dose), brucelose (R\$ 1,63/dose) e febre aftosa (R\$ 1,49/dose) conforme a categoria animal. Fêmeas recebem todas as doses anualmente, e em machos não se aplica vacina contra brucelose.

Identificou-se que o custo variável por animal, sem considerar a alimentação, é composto por aplicação de vacina, medicamentos, vacinas e sêmen (tabela 5.1).

Tabela 5.1 - Custo variável, sem considerar alimentação, por categoria animal de bovinos de corte do rebanho comercial e do rebanho elite

Categoria animal	Custo variável para o rebanho comercial (R\$)	Custo variável para o rebanho elite (R\$)
Bezerra	5,66	19,43
Novilha	23,77	83,87
Vaca	44,17	104,27
Vaca magra comprada	0,66	-
Bezerro	4,03	17,80
Novilho	3,37	17,14
Boi	23,77	37,54

Nota: O custo variável apresentado é composto por medicamentos, anti-helmínticos, vacinas e doses de sêmen para as fêmeas no rebanho comercial. No rebanho elite a esses custos soma-se o custo de registro genealógico dos animais.

O abate dos bovinos é realizado em abatedouro comercial, em Gurupi TO, a 130 km da Escola. Destinam-se ao abate bois, vacas que foram compradas para engorda e vacas de descarte, que são abatidos sob acompanhamento do médico veterinário uma vez por mês em

média, e obtêm-se produtividades distintas (tabela 5.2). O abatedouro entrega as carcaças e permanece com as vísceras e couro como pagamento pelo abate.

Tabela 5.2 – Produtividade de cada categoria animal do rebanho de bovinos de corte comercial e elite (kg de carcaça por animal)

Categoria animal	Produtividade para o rebanho comercial (kg)	Produtividade para o rebanho elite (kg)
Vacas descarte	290	284
Vaca magra comprada	230	-
Boi	233	-

O excedente do rebanho elite e comercial é comercializado na forma de leilão bianual, no qual são vendidos novilhos, novilhas, vacas e bois. Com a receita obtida podem ser adquiridas vacas magras no mercado para engorda e abate. Destaca-se que o leilão é a única receita obtida com as atividades agropecuárias.

5.1.1.2 Bovinocultura de leite

O rebanho de bovinos de leite é composto por 527 animais da raça Girolando e Gir Leiteiro. Os bezerros machos são transferidos para o rebanho de corte comercial e criados para abate.

A pastagem disponível para o rebanho é de *Brachiaria humidicola* (320 hectares), *Brachiaria brizantha* (30 hectares) e *Panicum maximum* cv. Mombaça (1,6 hectares). Tem-se também como volumoso a silagem de sorgo produzida na própria escola.

O concentrado ofertado aos animais é formulado e elaborado na propriedade a base de milho, farelo de soja, farelo de arroz, quirera de arroz, núcleo mineral e sal comum. Água e sal mineral para bovinos ficam disponíveis para os animais à vontade.

As vacas em lactação são criadas em dois sistemas distintos denominados: convencional e intensivo. No convencional as vacas permanecem na pastagem na época das águas e na época da seca recebem silagem de sorgo no cocho. No sistema intensivo os animais permanecem em pastejo rotacionado em 1,6 hectares de Mombaça divididos em piquetes irrigados na seca. Em ambos os sistemas as vacas recebem um quilograma de alimento

concentrado para cada três quilogramas de leite produzido e têm a disposição sal mineral para bovinos e água a vontade.

A ordenha das vacas é realizada duas vezes por dia. Cada vaca em lactação produz diariamente, em média, 7 litros de leite no sistema extensivo e 15 litros no intensivo. O leite é enviado ao Setor de Alimentação para a Agroindústria de leite ao término da ordenha.

Encontravam-se em lactação 48 vacas no sistema extensivo e 16 no sistema intensivo de produção. O número de vacas secas no rebanho leiteiro é elevado, o que se explica pela ocorrência de lactações curtas com menos de 10 meses, período de serviço maior que 60 dias, elevado intervalo entre partos e elevada idade das novilhas à primeira parição devido ao baixo ganho de peso após desmama. A taxa de reposição anual no rebanho é de 25%, o que acarreta em entrada anual de um significativo número de novilhas em produção e descarte de animais.

O manejo reprodutivo do rebanho leiteiro é realizado por meio de inseminação artificial, sendo que cada animal na estação de monta é inseminado em média 1,13 vezes. Cada dose de sêmen custava R\$ 29,76, portanto, para cada inseminação tinha-se um custo de R\$ 33,63.

O manejo sanitário consiste do uso de anti-helmínticos de forma estratégica, medicamentos sob prescrição do médico veterinário, quando necessário, métodos de higienização na ordenha e administração de vacinas de acordo com as orientações da ADAPEC contra clostridioses (R\$ 0,66/dose), raiva (R\$ 0,56/dose), brucelose (R\$ 1,63/dose) e febre aftosa (R\$ 1,49/dose) conforme a categoria animal.

Identificou-se que o custo variável por animal, sem considerar a alimentação, é composto por: medicamentos, vacinas, produtos de limpeza e higienização na ordenha, e custos com registro animal (tabela 5.3).

Tabela 5.3 - Custo variável, sem considerar alimentação, por categoria animal de bovinos de leite

Categoria animal	Custo variável (R\$)
Bezerra	5,44
Bezerro	5,44
Novilha para venda	38,00
Novilha	4,37
Vaca lactante no sistema extensivo	72,42
Vaca lactante no sistema intensivo	66,71
Vaca seca	34,29

Nota: O custo variável apresentado é composto por medicamentos, anti-helmínticos, vacinas e doses de sêmen para as fêmeas

O esterco recolhido no momento da ordenha é utilizado na horta e jardinagem como adubo após ser fermentado.

Os animais descarte são abatidos e cada vaca gera em média 290 kg de carcaça (produtividade/animal).

5.1.1.3 Ovinocultura

A ovinocultura contava com rebanho de 156 ovinos de corte, constituído por animais da raça Santa Inês e cruzamentos com outras raças. Há reprodutores Dorper.

Os animais permanecem em piquete de quatro hectares com pastagem de *Brachiaria brizantha* e *Andropogon* sp durante todo o período das águas. No período seco, eles recebem no cocho silagem de sorgo e alimento concentrado composto por milho, farelo de soja, farelo de arroz, sal comum e núcleo para ovinos.

O manejo reprodutivo é realizado com carneiro por meio da monta natural, sendo que os reprodutores permanecem com as matrizes praticamente o ano todo.

O manejo sanitário consiste do uso de anti-helmínticos de forma estratégica, medicamentos quando necessário sob prescrição do médico veterinário e administração de vacinas de acordo com orientações da ADAPEC contra clostridioses (R\$ 0,66/dose) e raiva (R\$ 0,56/dose).

Os animais são abatidos no abatedouro da escola-fazenda conforme a demanda do Setor de Alimentação, com a produtividade relacionada ao sexo e idade (tabela 5.4).

Tabela 5.4 – Produtividade de cada categoria animal do rebanho de ovinos de corte (kg de carcaça por animal)

Categoria animal	Produtividade (kg carcaça/animal)
Cordeiro	14,9
Cordeira	15,0
Ovelha	25,2

Identificou-se que o custo variável por animal, sem considerar a alimentação, é composto por: medicamentos, vacinas e brinco de identificação (tabela 5.5).

Tabela 5.5 - Custo variável, sem considerar alimentação, por categoria animal de ovinos de corte

Categoria animal	Custo variável (R\$)
Cordeira	5,50
Borrega	5,00
Ovelha	10,00
Cordeiro	5,50
Borrego	5,00
Reprodutor	10,00

Nota: O custo variável apresentado é composto por medicamentos, anti-helmínticos, vacinas e brinco de identificação

5.1.1.4 Avicultura de corte

As aves de corte são criadas em galpão de 1.440 m², equipado com campânulas, ventiladores, nebulizadores, comedouros e bebedouros automáticos.

Anualmente vêm sendo criados dois lotes de 10.000 aves cada da linhagem Cobb.

O manejo é dividido em três fases: inicial, crescimento e final. A fase inicial vai de 1 a 21 dias. A fase de crescimento corresponde ao período de 22 a 38 dias de idade e a fase final compreende o período de 39 a 45 dias de idade. A dieta das aves é composta por milho, farelo de soja e núcleo para frango.

O manejo consiste de aplicação da vacina de Gumboro e New Castle, e uso de medicamentos, se necessário. Ao término do lote faz-se a retirada da cama das aves, que é utilizada na horta, e os procedimentos de limpeza e desinfecção.

O custo variável por ave, sem considerar a alimentação, é composto pelas vacinas, medicamentos, cama, materiais para limpeza e desinfecção do galpão na saída dos animais, sendo de R\$ 0,03 por ave para o ciclo completo.

Quando o lote está terminado é abatido na escola-fazenda, em um abatedouro com toda infraestrutura necessária. Cada ave gera 1,84 kg de carcaça (produtividade).

5.1.1.5 Avicultura de postura

As aves de postura são criadas inicialmente em um galpão de 160 m² até atingirem a fase de produção, quando passam para outro galpão com mesma área, sendo ambos equipados com comedouros, bebedouros automáticos, e ventiladores.

Havia cerca de 500 aves em crescimento e 250 em produção para garantir ovos o ano todo. Essas permanecem cerca de 19 semanas em crescimento até iniciarem a produção de ovos, sendo que essa fase pode durar até 64 semanas, ou seja, 15 meses.

A alimentação é a base de concentrado formulado com milho, farelo de soja, farelo de trigo e núcleo para aves de postura.

O manejo consiste de aplicação da vacina de Gumboro e New Castle, e uso de medicamentos, se necessário. Portanto, o custo variável, com exceção da alimentação, é representado pelos medicamentos, vacinas, materiais de limpeza e desinfecção, e cama. Portanto, o custo variável corresponde ao uso das vacinas e medicamentos, sendo de R\$ 0,02 por ave, para o ciclo completo.

As aves de descarte são abatidas para consumo na própria escola, sendo descartada metade do lote a cada seis meses. Cada ave gera 1,26 kg de carcaça e organiza-se o descarte para que ocorra na mesma época do abate dos frangos de corte.

5.1.1.6 Suinocultura

Os suínos ocupavam um hectare com área construída de 5.000 m², na qual são alojadas 14 matrizes.

O manejo é realizado de acordo com a categoria conforme sua idade e orienta o manejo nutricional: pré-inicial de 7 a 28 dias, inicial de 29 a 70 dias, crescimento de 71 a 120 dias e terminação de 121 a 150 dias quando são abatidos. A dieta dos animais é formulada na escola-fazenda utilizando milho, farelo de soja, farelo de trigo e núcleo comercial. As matrizes passam por diferentes fases durante o ano: pré-cobertura, vazias, em gestação ou lactação. Dessa forma, foi estabelecido um percentual de tempo no ano em que as porcas matrizes permanecem em cada fase (tabela 5.6).

Tabela 5.6 – Número de dias do ano em que as porcas matrizes permanecem em cada fase

Fase no ciclo de produção para matriz	Dias no ano	% de tempo no ano
Lactação	116	0,32
Vazia	5	0,01
Pré-cobertura	28	0,08
Gestação	216	0,59

Há lagoas de decantação que realizam o tratamento dos efluentes da suinocultura, mas devido à localização da criação, distante das culturas vegetais cerca de quatro quilômetros, não se realiza o aproveitamento destes dejetos nos cultivos.

Os animais terminados são abatidos na escola-fazenda com produtividade de 92,2 kg de carcaça por animal e 74 kg para as matrizes descarte.

Identificou-se que o custo variável por animal, sem considerar a alimentação, é composto por: medicamentos, anti-helmínticos, vacinas e materiais de limpeza (tabela 5.7).

Tabela 5.7 - Custo variável, sem considerar alimentação, por categoria animal de suínos do plantel da escola-fazenda

Categoria	Custo variável (R\$)
Leitão	3,50
Marrã	1,00
Matriz na fase pré-cobertura	1,00
Matriz na fase de gestação	1,00
Matriz na fase de lactação	3,00
Fêmea- fase de terminação	10,00
Machos - fase de terminação	10,00
Reprodutor	10,00

Nota: O custo variável apresentado é composto por medicamentos, anti-helmínticos, vacinas e material de limpeza

5.1.1.7 Equideocultura

A tropa de equídeos era composta de 50 animais para manejo do gado bovino e também para desempenho de outras atividades envolvendo transporte na escola.

O manejo sanitário consiste do uso de anti-helmínticos de forma estratégica, medicamentos quando necessário sob prescrição do médico veterinário e administração de

vacinas de acordo com as orientações da ADAPEC. Além disso, anualmente faz-se exame para diagnóstico da Anemia Infecciosa Equina.

Os animais permanecem na pastagem e são suplementados com concentrado formulado na propriedade composto por milho, farelo de trigo, farelo de arroz, farelo de soja e núcleo mineral comercial para equinos.

O custo variável dos equídeos é composto por vacinas, medicamentos, manutenção de arreios e exames de diagnóstico de Anemia Infecciosa Equina periodicamente (tabela 5.8). Para os potros tem-se o custo da doma.

Tabela 5.8 - Custo variável por categoria animal de equídeos no plantel da escola-fazenda

Categoria	Custo variável (R\$)
Égua	24,50
Muar	24,50
Potra	662,00
Potro	662,00
Muar jovem	662,00
Cavalo	24,50
Fêmea para venda	662,00
Macho para venda	662,00
Muar para venda	662,00

Nota: O custo variável apresentado é composto por medicamentos, anti-helmínticos, vacinas e brinco de identificação

O excedente de animais pode ser vendido no leilão bianual que a escola realiza, sendo fonte de receita.

5.1.1.8 Apicultura

A apicultura é realizada em área de 200 m² onde havia 20 caixas de abelhas. São realizadas de três a cinco colheitas durante o ano com variações em função do clima. Cada caixa produz em média 16 kg de mel por ano.

As atividades desenvolvidas na apicultura são a instalação de apiários, captura de enxames, manejo das colmeias que engloba a divisão de enxames, troca de cera, manutenção das colmeias e limpeza dos apiários, colheita de mel e própolis, e organização e manutenção de materiais e indumentária apícola.

5.1.1.9 Fábrica de ração e beneficiamento de grãos

A fábrica de ração está instalada em um galpão de 5.000 m². É responsável por produzir alimentos para os animais, armazenar parte do estoque nos silos, controlar o estoque e distribuir os alimentos para as criações.

Outras atividades que são responsabilidade da equipe referem-se à secagem de grãos no secador, processamento do arroz para consumo humano e entrega no Setor de Alimentação.

5.1.2 Setor Agrícola

Realizou-se um estudo de cada cultura para identificar as informações relevantes para o processo de formulação do modelo. Foi necessário priorizar as variedades cultivadas mais importantes e agrupá-las.

Identificou-se para cada cultura sua produtividade, que representa a produção por área, e o custo variável com herbicida, inseticida, fungicida, adubo, calcário e sementes.

5.1.2.1 Culturas anuais

As culturas anuais plantadas em cada safra eram milho (68,4 ha), arroz (10 ha) e sorgo forrageiro (43,2 ha) destinado à produção de silagem para os animais.

O cultivo de milho ocorre de outubro a janeiro, de arroz nos meses de dezembro a março e de sorgo forrageiro, no período de outubro a fevereiro.

O processo de produção envolve o preparo do solo, plantio, tratos culturais de adubação e manejo fitossanitário de pragas e ervas daninhas, colheita, transporte, secagem e armazenagem. No caso do sorgo forrageiro, ao invés da secagem faz-se ensilagem.

Para cada uma das culturas foram identificados os insumos que geram o custo variável e a produtividade (tabela 5.9).

Tabela 5.9 - Custo variável (R\$/ha) e produtividade (toneladas/ha) das culturas anuais na escola-fazenda por safra

Insumos	Custo (R\$/ha)	Produtividade (toneladas/ha)
Sorgo forrageiro	404,57	40
Milho forrageiro	373,20	47
Milho grão	1.546,92	4
Arroz	594,05	3

Nota: Custo variável refere-se à herbicida, inseticida, fungicida, adubo, calcário e sementes

5.1.2.2 Horticultura

A horticultura compreendia a produção de ampla variedade, sendo 30 cultivos: alface, coentro, salsa, cebolinha, rúcula, repolho, couve folha, couve chinesa, berinjela, tomate, abobrinha, feijão vagem, pepino, abóbora, quiabo, beterraba, cenoura, inhame, batata doce, cará, mandioca, almeirão, couve flor, jiló, milho verde, pimentão, repolho roxo, chicória e rabanete. A área total é de 630 m².

As etapas dos processos produtivos de hortaliças têm início com o planejamento da produção, no qual se verifica a necessidade de consumo da escola, seguido do escalonamento de plantio, cultivo, colheita e entrega no refeitório.

Para a modelagem priorizaram-se as variedades mais relevantes no processo produtivo e essas foram organizadas em três grupos. Identificou-se que a área de cultivo era de 220 m² para folhosas, 310 m² para frutos e 100 m² para tuberosas, que ocorria o ano todo para as folhosas e de março a agosto para os frutos e tuberosas.

Folhosas: i) coentro, salsa, cebolinha, rúcula; ii) repolho; iii) couve folha, couve chinesa, alface.

Frutos: i) berinjela, tomate; ii) quiabo; iii) abobrinha, feijão vagem, pepino, abóbora.

Tuberosas: i) beterraba, cenoura; ii) batata doce, inhame, cará.

Essa classificação foi realizada considerando as questões técnicas das culturas de modo a facilitar a modelagem e interpretação dos dados. Calculou-se o custo e produtividade para cada um dos oito grupos e na sequência gerou-se um valor para cada um dos três grupos principais (tabela 5.10).

Tabela 5.10 - Custo variável (R\$/m²) e produtividade (kg/m²) da horticultura na escola-fazenda

Hortaliças	Custo (R\$/m²)	Produtividade (kg/m²)
Folhosas	0,30	2,90
Frutos	0,31	0,90
Tuberosas	0,30	4,90

Nota: Custo refere-se à herbicida, inseticida, fungicida, adubo, calcário e sementes.

5.1.2.3 Fruticultura

A fruticultura produzia 17 cultivos: abacate, abacaxi, acerola, ata, banana, caju, carambola, goiaba, graviola, laranja, limão, mamão, manga, maracujá, tamarindo e tangerina em área de 7,1 hectares.

As etapas do processo produtivo são semelhantes às descritas para as hortaliças.

Da mesma forma que ocorreu para as hortaliças, as frutas foram divididas em três grupos. Os cultivos ocorrem em 4,53 hectares para as frutas perenes, 1,65 hectares para as frutas semiperenes e 1 hectare para as frutas anuais. Colhem-se frutas o ano todo, com exceção das anuais que são cultivadas no período de outubro a março.

Frutas perenes: abacate, goiaba, acerola, laranja, ata, tamarindo, manga, caju, carambola, graviola, pokan, limão.

Semiperenes: maracujá, mamão, banana.

Anuais: melancia, melão.

Calculou-se o custo e a produtividade para cada um dos três grupos. O custo é composto por herbicida, inseticida, fungicida, adubo, calcário e sementes (tabela 5.11).

Tabela 5.11 - Custo variável anual (R\$/m²) e produtividade mensal (kg/m²) da fruticultura

Insumos	Custo (R\$/m²)	Produtividade (kg/m²)
Fruta perene	0,51	0,02
Fruta semiperene	1,10	0,06
Fruta anual	2,72	1,50

Nota: Custo refere-se à herbicida, inseticida, fungicida, adubo, calcário e sementes

5.1.2.4 Forragicultura

A forragicultura compreende as atividades de implantação, manutenção e reforma de pastagens, que requerem mão de obra disponível durante todo o ano. Os processos necessários são preparo do solo, calagem, adubação, plantio, controle mecânico e fitossanitário de pragas e ervas daninha.

Ressalta-se ainda, que em conjunto com essa atividade há necessidade de revisão das cercas dos piquetes e manutenção. Nas áreas que ficam inundadas no período das águas há maior necessidade de reposição de cercas, que são danificadas pelo excesso de umidade.

Na época das águas utilizam-se 1.144 hectares de pastagem para os animais e na época da seca, 800 hectares.

As espécies forrageiras cultivadas são: *Brachiaria humidicola*, *Brachiaria brizantha*, *Panicum maximum* cv. Mombaça, e *Andropogon* sp nas demais áreas.

Fez-se um levantamento de custo variável com adubos e sementes para a manutenção das pastagens já implantadas (tabela 5.12).

Tabela 5.12 - Custo variável anual (R\$/ha) e produtividade (toneladas de matéria verde/ha/ano) das pastagens

Tipo de pastagem	Custo (R\$/ha)	Produtividade (toneladas MV/ha/ano)
Pastagem nas águas	318,87	49,8
Pastagem na seca	318,87	18,0
Pastagem cultivada	800,00	108,0
Pastagem irrigada	1.278,50	126,0

Nota: Custo refere-se à herbicida, inseticida, fungicida, adubo, calcário e sementes

5.1.2.5 Jardinagem

A Escola de Canuanã sempre deve ter jardins em excelente estado. Para isso, há necessidade de realizar a produção de mudas ornamentais e silvestres, construção e manutenção de jardins, roçada dos gramados, podas de árvores e irrigação das áreas verdes da escola.

Verificou-se que a área mínima de jardim deve ser de 500 m² a serem mantidos durante o ano todo. No período de outubro e dezembro deve ser realizada a produção de mudas para construção de novos jardins e manutenção dos existentes.

O custo variável anual para manutenção do jardim é de R\$ 4,00/m² e para produção de mudas, de R\$ 0,50/m².

5.1.2.6 Serviços mecanizados

Ainda é de responsabilidade da equipe do Setor Agrícola, a realização de outras atividades chamadas de serviços mecanizados que foram divididos em dois grupos.

Serviços agropecuários: atividades relacionadas com as culturas vegetais, consertos de máquinas e implementos agrícolas e transporte de materiais dos setores pecuário e agrícola.

Serviços urbanos: limpeza da área externa da escola, coleta seletiva de lixo, retirada de entulhos e restos de construção das reformas, transporte de materiais de construção e equipamentos pesados, apoio logístico aos setores de alimentação e manutenção civil.

Dessa forma, parte dos trabalhadores do Setor Agrícola realiza atividades consideradas urbanas, deixando de atuar na agropecuária.

5.1.3 Setor de Alimentação

O Setor de Alimentação é responsável pela alimentação da população que reside na escola. A equipe é coordenada por uma nutricionista e composta por 23 funcionários responsáveis por preparar e ofertar três refeições no refeitório: café da manhã, almoço e jantar. Além disso, ofertam-se dois lanches, um pela manhã e outro pela tarde servidos no local onde as pessoas se encontram. Isso ocorre tanto para funcionários quanto para alunos.

As instalações sob a responsabilidade deste setor são a cozinha, o refeitório, a padaria, a agroindústria de derivados do leite e de frutas e o açougue. Dessa forma, para a modelagem optou-se por considerar na equipe deste Setor a nutricionista e oito colaboradores, que são aqueles envolvidos diretamente nas atividades ligadas à agropecuária.

A padaria produz pães, bolos e biscoitos para a população. Para isso necessita ser abastecida com leite e ovos que podem ser oriundos do Setor Pecuário. Definiu-se que para fazer um bolo e uma receita de biscoito é necessário utilizar 170 ml e 200 ml de leite, respectivamente, e 0,003 ovos para o bolo e 0,02, para o biscoito.

No açougue os funcionários fazem os cortes da carcaça ou da carne que vem do abatedouro para preparo do almoço e jantar.

A agroindústria de derivados do leite da escola apresenta uma infraestrutura suficiente para produzir produtos lácteos a fim de atender o Setor de Alimentação. Identificou-se a quantidade de leite necessária para produção dos derivados lácteos (tabela 5.13).

Tabela 5.13 - Quantidade de leite necessária para produzir os lácteos

Produto	Quantidade de leite (kg) necessária para produzir 1 kg do produto
Leite pasteurizado	1,00
Queijo	11,00
Doce de leite	2,50
Iogurte	1,00
Sorvete	1,00
Picolé	0,32
Geladinho	0,15

Para produção do doce de frutas levantou-se a quantidade de frutas necessárias para gerar doce (tabela 5.14).

Tabela 5.14 - Quantidade de fruta necessária para produzir os doces

Produto	Quantidade de fruta necessária para produzir 1 kg do produto
Doce de fruta perene	3
Doce de fruta semiperene	3
Doce de fruta anual	4

Além desses produtos gerados no Setor de Alimentação, o refeitório recebe do Setor Agrícola e Pecuário as hortaliças, frutas e arroz para preparar as refeições.

Definiram-se porções para cada um dos alimentos que compõem as refeições, que representam a quantidade em gramas por pessoa por dia. Para garantir variabilidade na dieta foi criada uma limitação de oferta que corresponde ao número mínimo e máximo de dias no

mês que determinado alimento pode ser consumido. Dividiu-se esse número de dias por 30 para obtenção do valor de limite mínimo e máximo de inclusão na dieta.

O café da manhã pode ser composto pelos seguintes alimentos: café, achocolatado, cereal, manteiga, açúcar, mel, fruta perene, fruta semiperene, fruta anual, doce de fruta perene, doce de fruta semiperene, doce de fruta anual, leite pasteurizado, queijo, iogurte, doce de leite, pão, biscoito e bolo. Para cada um deles tem-se a porção e os limites de oferta. Todos os produtos devem ser utilizados ao longo do mês, pois apresentam limites mínimos de ofertas diferentes de zero. A maioria dos alimentos é ofertada concomitantemente ao longo do mês. A inclusão de fruta é necessária no café da manhã (tabela 5.15).

Para compor o almoço e jantar foram definidos grupos de alimentos: proteínas (carne e ovos), folhosas, tuberosas, frutos, feijão, arroz, outros (massa, batata ou mandioca) e sobremesa. As porções foram elaboradas para compor um almoço e um jantar (tabela 5.16).

Tabela 5.15 – Quantidade (g) de cada produto do café da manhã para compor as porções diárias por pessoa e limite de inclusão na dieta (número de dias no mês dividido por 30)

Produto	Porção diária/ pessoa (g)	Limite na dieta	
		Mínimo	Máximo
Café	10	0,50	1,00
Leite	200	0,67	1,00
Achocolatado	10	0,13	0,50
Iogurte	200	0,13	0,33
Cereal	50	0,07	0,13
Pão	50	0,50	1,00
Bolo	70	0,13	0,33
Biscoito	50	0,13	0,33
Queijo	10	0,33	1,00
Manteiga	10	0,50	1,00
Açúcar	10	0,83	1,00
Doce de leite	20	0,07	0,33
Mel	3,5	0,13	0,50
Fruta perene	50	0,03	0,10
Fruta semiperene	50	0,13	0,50
Fruta anual	50	0,06	0,50
Doce de fruta perene	20	0,06	0,33
Doce de fruta semiperene	20	0,06	0,33
Doce de fruta anual	20	0,06	0,33

Tabela 5.16 - Quantidade (g) de cada alimento para compor as porções diárias por pessoa do almoço e jantar

Alimento	Porção/pessoa (g)
Proteína	375
Folhosas	40
Frutos	40
Tuberosas	40
Arroz	200
Feijão	100
Outros	40
Sobremesa	100

As proteínas podem ser as carnes de bovino, suíno, ovino, aves e peixe ou ovo, sendo neste último caso considerada como uma porção, duas unidades (dois ovos).

Tabela 5.17 – Limite de inclusão na dieta (número de dias no mês dividido por 30) de cada produto no almoço e no jantar

Produto	Limite na dieta	
	Mínimo	Máximo
Bovina	0,13	0,50
Ovina	0,07	0,20
Suína	0,13	0,50
Ave	0,13	0,50
Peixe	0,03	0,10
Ovo	0,07	0,20
Folhosas	1,00	1,00
Frutos	1,00	1,00
Tuberosas	1,00	1,00
Arroz	1,00	1,00
Feijão	1,00	1,00
Outros - mandioca	0,03	0,23
Outros -massa	0,13	0,50
Outros -batata	0,13	0,50
Sobremesa - Fruta perene	0,13	0,50
Sobremesa - Fruta semiperene	0,07	0,50
Sobremesa - Fruta anual	0,07	0,17
Sobremesa - Doce de leite	0,07	0,13
Sobremesa - Sorvete	0,03	0,20
Sobremesa - Picolé	0,03	0,20
Sobremesa - Geladinho	0,07	0,33
Sobremesa - Doce de fruta perene	0,07	0,33
Sobremesa - Doce de fruta semiperene	0,13	0,50

Nota: As quantidades (g) de cada produto no almoço e no jantar para compor as duas porções diárias por pessoa constam na tabela 5.15

Criaram-se os limites da dieta mínimo e máximo por tipo de alimento para variar os cardápios (tabela 5.17). Todos os dias, no almoço e no jantar, deve ser incluída necessariamente a porção de feijão, arroz, folhosas, frutos e tuberosas. Portanto para esses produtos o limite mínimo e máximo é igual a 1.

Para os lanches empregou-se a mesma metodologia para estabelecer porções e limites de inclusão (tabela 5.18).

Tabela 5.18 – Quantidade (g) de cada produto do lanche para compor as porções diárias por pessoa e limite de inclusão na dieta (número de dias no mês dividido por 30)

Produto	Porção diária/ pessoa (g)	Limite na dieta	
		Mínimo	Máximo
Café	10	0,17	1,00
Leite	200	0,33	1,00
Achocolatado	10	0,17	0,50
Iogurte	200	0,07	0,33
Cereal	50	0,03	0,13
Pão	50	0,13	1,00
Bolo	70	0,13	0,33
Biscoito	50	0,13	0,33
Queijo	10	0,13	1,00
Manteiga	10	0,13	1,00
Açúcar	10	0,67	1,00
Doce de leite	20	0,07	0,33
Mel	3,5	0,07	0,33
Fruta perene	100	0,03	0,20
Fruta semiperene	100	0,03	0,20
Fruta anual	100	0,03	0,50
Doce de fruta perene	20	0,07	0,33
Doce de fruta semiperene	20	0,07	0,33
Doce de fruta anual	20	0,07	0,33
Sorvete	50	0,07	0,33
Picolé	50	0,03	0,13
Geladinho	50	0,13	1,00

Alguns desses produtos eu compõem as refeições obrigatoriamente devem ser comprados no mercado: café, achocolatado, cereal, manteiga, açúcar, massa, batata, feijão e peixe. A escola-fazenda realiza suas compras em quatro municípios: Formoso do Araguaia TO (60 km), Gurupi TO (130 km), Palmas TO (360 km) e Goiânia GO (683 km). Ressalta-se que compras de frutas e verduras são realizadas em Goiânia, onde se localiza a Central de

Abastecimento mais próxima (Ceasa Goiás). Dessa forma, a distância dos centros de compra é um fator que dificulta o acesso às matérias primas.

5.1.4 Mão de obra

Com relação ao levantamento de mão de obra disponível definiu-se que os coordenadores dos setores não contribuem como mão de obra operacional, tendo uma atuação apenas em nível gerencial. Já para os técnicos agropecuários fez-se levantamento das atividades realizadas e concluiu-se que 30% do seu tempo é dedicado à gestão das atividades do setor e 70% do tempo é destinado às atividades agropecuárias operacionais propriamente ditas envolvendo manejos das criações e culturas. Sendo assim, chegou-se à dedicação de 123 horas de trabalho para um técnico, 176 horas para um encarregado e 20 horas para um colaborador, e com os dados de número de trabalhadores foi possível obter a disponibilidade mensal de mão de obra (tabela 5.19).

Tabela 5.19 -Número de trabalhadores e horas de trabalho mensais

Cargo do colaborador	Horas de trabalho no Setor			Número de trabalhadores
	Pecuário	Agrícola	Total	
Técnico em Agropecuária	369,6	246,4	616,0	3,5
Encarregado	1.584,0	2.288,0	3.872,0	22,0

Nota: Total refere-se ao somatório dos setores agropecuários (agrícola e pecuário)

Na fábrica de ração tem-se uma demanda fixa de 588 horas mensais de trabalho, que representa dois trabalhadores.

Ainda contribuem com os setores agropecuários os alunos que atuam 20 horas semanais nos setores com foco no aprendizado e são em número de 270.

Para a agroindústria têm-se oito colaboradores com dedicação de 176 horas mensais, o que totaliza 1.408 horas disponíveis por mês.

A remuneração desses trabalhadores, três coordenadores (pecuária, agrícola e alimentação), cinco técnicos agropecuários e 23 encarregados totaliza R\$ 73.777,15 mensalmente. Esse valor entrou no modelo como custo fixo.

5.1.5 Máquinas agrícolas

A escola-fazenda possui tratores leves, tratores pesados, colheitadeira e tratores de carga para as atividades agropecuárias, urbanas e pedagógicas (tabela 5.20). Observou-se que a área urbana ocupa uma quantidade significativa de horas-máquina. Além disso, há necessidade de utilizar as máquinas também no Curso Técnico para as aulas práticas, sendo para isso definida uma carga horária mensal denominada pedagógica.

Tabela 5.20 - Disponibilidade de horas-máquina na escola-fazenda

Tipo de máquina	Disponibilidade mensal em horas
Trator leve	1.004
Trator pesado	1.028
Trator de carga	352
Colheitadeira	176

Analisaram-se as demandas de máquinas que são fixas para determinadas atividades. Tem-se uma estimativa de que mensalmente são utilizadas 264 horas-máquina para transportar insumos agropecuários na escola-fazenda (tabela 5.21). Para a área urbana também há um valor determinado de horas-máquina, bem como para as aulas práticas do Curso Técnico.

Tabela 5.21 - Demanda em horas de cada máquina por atividade da escola-fazenda

Tipo de máquina	Agropecuária	Urbana	Pedagógica
Trator leve	-	281,0	52,8
Trator pesado	-	281,0	39,0
Trator de carga	264,0	253,0	10,0
Colheitadeira	-	26,0	17,0

5.2 RESULTADOS DA APLICAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO LINEAR

5.2.1 Solução ótima obtida

O Cenário 1 (cenário base) apresentou custo médio anual de R\$ 9.372.390,46. No Cenário 2, solução ótima obtida, esse custo seria de R\$ 4.285.271,30. Ao comparar o custo anual, nota-se que haveria redução de 54,2%, resultado de uma realocação dos recursos produtivos, principalmente devido à redução do número dos animais e de algumas áreas de cultivo da escola-fazenda.

Com a redução do rebanho reduziria a ocupação da área para agropecuária em 68%. Como as culturas anuais são cultivadas em apenas alguns meses, ocorre variação na ocupação da terra (gráfico 5.1). No Cenário 1 a ocupação máxima de terra com herbívoros (bovinos, equinos e muare) e culturas agrícolas chegou a 1.206 ha, enquanto que no Cenário 2 atingiria apenas 397 ha.

Gráfico 5.1 – Ocupação da área da escola-fazenda com produção de herbívoros e culturas agrícolas ao longo de 12 meses

5.2.1.1 Produção animal

O número de animais no rebanho seria reduzido na solução ótima garantindo o necessário para as práticas pedagógicas (tabela 5.22). Observa-se que haveria redução

expressiva do número de bovinos de corte e de leite, que totaliza 1.589 animais e seria reduzido para 347, uma vez que no Cenário 1 há excedente de animais.

Tabela 5.22 - Números de cabeças de animais e de caixas de abelha no Cenário 1 (cenário base) e Cenário 2 (solução ótima)

Criação	Cenário 1	Cenário 2	Variação (%)
Bovinos de corte - comercial	646	257	- 60,2
Bovinos de corte - elite	416	37	- 91,1
Bovinos de leite	527	53	- 89,9
Equinos e muares	52	12	- 76,9
Ovinos	180	812	+ 351,1
Suínos	222	162	- 27,0
Aves de corte	10.000	1.000	- 90,0
Aves de postura em produção	500	200	- 60,0
Caixas de abelhas	8	20	- 150,0

No Cenário 2 haveria redução de 91,1% do rebanho de bovinos de corte elite. Esses animais seriam mantidos apenas para as práticas pedagógicas permitindo que os estudantes possam comparar animais PO (Puros de Origem) com o rebanho comercial, como por exemplo, fazer análises de exterior dos bovinos e avaliação de desempenho. Isso pode ser explicado pelo fato de que no sistema adotado na escola-fazenda somente um percentual desses animais é vendido a cada dois anos, sendo 10% dos novilhos e 14% das novilhas que são selecionados. Como o custo desses animais é mais elevado, e requerem mão de obra para seu manejo, a receita obtida com a venda não compensa sua manutenção na escola-fazenda.

Destaca-se que a criação de animais de elite registrados PO (Puro de Origem), que são geneticamente superiores, justifica-se pelo fato desses serem valorizados na comercialização, o que estimula os criadores a utilizarem a tecnologia disponível para gerar animais ainda mais superiores, acarretando em maior custo de produção (PANETTO et al., 2009). Pode-se inferir que o objetivo de criação de animais elite com seleção é maximizar o melhoramento do mérito econômico (CARDOSO et al., 2004). No contexto da escola-fazenda, como não é objetivo vender esses animais, ou seja, não há um foco em especialização na sua produção e comercialização, manter um rebanho elite PO não se mostrou viável na solução ótima.

Situação que é diferente de introduzir na propriedade alguns animais superiores originados de programas de melhoramento genético que podem aumentar a produtividade; nessa perspectiva compensa pagar mais por animais de valor genético superior (BICHARD, 1996).

O rebanho de bovinos de leite também apresentaria elevada redução no Cenário 2 (88%). O número de vacas em lactação seria alterado, de 64 animais, sendo 48 criados em sistema extensivo, para apenas 23 a serem mantidos no sistema intensivo. Comparando a proporção de categorias animais percebe-se que na solução ótima 44% do rebanho é de vacas em lactação. Há recomendações para rebanhos com intervalo entre partos de 12 meses e duração de lactação de dez meses de que 42% das vacas estejam em lactação (CAMPOS; FERREIRA; PIRES, 2001). No Cenário 2 priorizar-se-ia a criação de bovinos de leite nesse sistema pelo fato de sua produção ser 46,6% superior ao sistema extensivo (15 vs. 7 litros de leite/dia). Com essa alteração, a produção de leite passaria de 17.280 litros/mês para 10.143 litros/mês, o que significa redução de 41%. Dessa forma, haveria impacto na entrega de leite para agroindústria cuja análise será apresentada posteriormente.

No rebanho leiteiro essa redução significativa pode ser explicada pelo fato de que no Cenário 1 havia elevado número de vacas secas que representam custo de produção sem receita e essas foram reduzidas. Outro ponto de destaque é o fato do Cenário 2 indicar somente a produção no sistema intensivo, apontando que o investimento na produção de pastagem com irrigação compensa pelo aumento da produtividade. Estudos indicam a intensificação da produção de bovinos a pasto com emprego de tecnologias relacionadas ao manejo do solo, das plantas, do animal e do ambiente mostrando que os custos podem ser reduzidos com a manutenção dos animais em pastagens de qualidade (SILVA et al., 2008; ALENCAR et al., 2009; FUKUMOTO et al., 2010). Além disso, destaca-se que ao reduzir o número de vacas em lactação também se reduz o número de horas despendidas com esses animais em ordenha em 64% (210,9 vs. 586,9 horas/animal/mês). Assim como para De Wit et al. (1980), Azevedo Filho e Neves (1982), os resultados obtidos com a aplicação do modelo indicam a estratégia de criação que deveria ser adotada para otimização do resultado.

O número de equinos e muares reduziria em consequência do menor número de bovinos, uma vez que há relação entre esses animais. Com redução de 76,9% da tropa seria possível atender a demanda de trabalho da bovinocultura e as práticas pedagógicas.

A criação de ovinos seria a que mais se alteraria na solução ótima. No Cenário 1 há 56 matrizes e no Cenário 2 passaria para 300. O fato de a ovelha ser prolífica, apresentar com frequência parto gemelar, ocupar menor área e produzir carne em menor período de tempo contribui para esse aumento (BARROS et al., 2009).

O número de suínos reduziria em 26,9%, o que significa uma alteração de 14 porcas matrizes para apenas 10. O setor suinícola brasileiro é tecnificado, sendo que cerca de 40% do rebanho total está sob organização dos sistemas de integração das grandes indústrias que

detêm tecnologias especializadas que garantem competitividade com alto volume de produção de produtos industrializados de maior valor agregado (WILLERS et al., 2012). Destaca-se também que a produção de suínos é uma atividade que exige bastante mão de obra (MACHADO et al., 2011). Dessa forma, a redução do número de animais liberaria mão de obra para ser realocada em outras atividades de menor custo com maior produtividade. Soma-se a ainda, o fato do preço de venda da carne suína no mercado ser competitivo, o que faz compensar a compra do produto.

A criação de aves, seja corte ou postura, somente permaneceria no Cenário 2 devido às restrições pedagógicas, sendo mantidas para realização das aulas práticas do curso técnico. A avicultura brasileira é avançada tecnologicamente com processos de criação e industrialização que permitem elevados índices de conversão, precocidade, produtividade e sobrevivência adotando a integração vertical (RICHETTI; SANTOS, 2000). O ganho de produtividade associado à coordenação da cadeia avícola faz com que o Brasil seja um dos mais eficientes produtores mundiais, e com isso percebe-se que com a significativa especialização da atividade a tendência é excluir do processo produtivo os pequenos avicultores e os produtores menos eficientes (ZILLI, 2003). Portanto, torna-se inviável competir com os sistemas de integração vertical que usam modernas tecnologias e elevada genética, sendo mais viável comprar a carne de frango e ovos que produzir.

O número de caixas de abelhas aumentaria chegando a 20 no Cenário 2, valor esse que é o máximo possível no sistema. Segundo Sabbag e Nicodemo (2011), a apicultura apresenta resultados atrativos na agropecuária pelo seu uso racional de fatores de produção e aumento progressivo na quantidade de produtos produzida.

Com as reduções nas criações de animais ocorreria liberação de mão de obra da pecuária. No Cenário 1, 30,6% da ocupação da mão de obra refere-se à pecuária, já no Cenário 2, com a redução dos rebanhos esse valor passaria a ser 25,1%. Pode-se verificar que a partir das indicações de números de rebanho na solução ótima haveria necessidade de reestruturar o Setor Pecuário e realocar os funcionários nas diferentes atividades.

O modelo proposto indicou alternativas para o planejamento da produção animal, assim como os modelos de Gutierrez-Aleman et al. (1986), Yates e Rehman (1998), Mourits et al. (1999), Tupy e Yamaguchi (2002), Silva Neto e Retzlaff (2004), Medeiros et al. (2009), Gameiro et al. (2011b).

5.2.1.2 Produção Agrícola

Na produção agrícola, para as culturas anuais observou-se que no Cenário 2 ocorreria aumento na área de plantio de milho e arroz e não haveria plantio de sorgo forrageiro (tabela 5.23).

Tabela 5.23 - Culturas vegetais e áreas de plantio no Cenário 1 (cenário base) e Cenário 2 (solução ótima)

Cultura	Cenário 1	Cenário 2	Variação (%)
Milho (ha)	68,4	69,3	+ 1,3
Arroz (ha)	10,0	12,4	+ 24,0
Sorgo forrageiro (ha)	43,2	0	- 100,0
Mandioca (ha)	1,0	0,1	- 86,8
Hortaliça folhosa (m ²)	230,0	496,5	+ 115,9
Hortaliça fruto (m ²)	320,0	3.130,0	+878,1
Hortaliça tuberosa (m ²)	110,0	587,0	+ 433,6
Fruta perene (m ²)	45.300,0	3.980,0	- 91,2
Fruta semiperene (m ²)	34.903,0	34.903,0	-
Fruta anual (m ²)	10.480,0	5.760,0	- 42,4
Jardim (m ²)	500,0	500,0	-
Pastagem nativa na seca (ha)	1.411,0	280,0	- 80,2
Pastagem nativa nas águas (ha)	1.406,0	280,0	- 80,1
Pastagem cultivada (ha)	4,7	1,0	- 78,7
Pastagem irrigada (ha)	1,6	3,7	+ 131,3

Pelo fato do rebanho ter sido reduzido e haver disponibilidade de pastagem, o sorgo não seria mais necessário para a alimentação dos animais. Destaca-se que as vacas em lactação, maiores consumidoras deste alimento, no Cenário 2 passariam a ser criadas em pastagem irrigada e receberiam suplementação com alimento concentrado a base de milho e soja, atendendo sua necessidade nutricional.

A cultura de mandioca seria reduzida para 130 m², área superior à mínima necessária para as práticas pedagógicas (50 m²).

A área de horta no Cenário 1 era de 660 m² dividida entre a produção de folhosas, frutos e tuberosas. No Cenário 2 passaria para 4.213,5 m², o que significa um aumento na área 5,3 vezes (tabela 5.4). Dessa forma a produtividade total da horta na área plantada seria alterada de 1.500 kg para 7.200 kg, o que representa aumento de 4,8 vezes (tabela 5.24). Ressalta-se que se optou por dividir a produção da horta em três grupos cabendo aos técnicos definirem as variedades a serem produzidas, e dessa forma a produtividade foi estimada com base na média daquelas cultivadas na escola-fazenda. Isso se justifica pelo fato da produção de hortaliças ser um problema complexo de otimização combinatória que é objeto de estudo, destacando-se nessa temática o trabalho de Santos (2009) que desenvolveu modelos de

programação linear para rotação de culturas focados na produção sustentável de hortaliças. Portanto, para decisões de espécies e rotação de culturas é necessário utilizar modelos específicos para atender essa demanda.

Tabela 5.24 – Produção de hortaliças (kg) nas áreas de plantio no Cenário 1 (cenário base) e Cenário 2 (solução ótima)

Produção de hortaliças	Cenário 1	Cenário 2	Variação (%)
Folhosas (kg)	667	1.440	+ 116%
Frutos (kg)	294	2.880	+ 878%
Tuberosas (kg)	539	2.880	+ 434%
Total (kg)	1.500	7.200	+ 380%

Nota: Cenário 1 - área de folhosas = 230 m²; área de frutos = 320 m²; área de tuberosas = 110 m².

Cenário 2 - área de folhosas = 496,5 m²; área de frutos = 3.130 m²; área de tuberosas = 587 m².

No pomar, haveria redução das áreas de plantio, sendo que a área de frutas perenes somente permaneceria no Cenário 2 devido à restrição pedagógica que força a produção mínima para as aulas. As frutas semiperenes teriam sua área de produção mantida e a de frutas anuais seria reduzida em relação ao Cenário 1.

A área de jardim permaneceria a mesma em ambos os cenários, uma vez que somente gera custo sem haver uma produtividade, pois sua função é ornamental e de cunho educacional, mantendo somente a área mínima da restrição pedagógica.

Com relação às pastagens, as áreas de espécies nativas seriam reduzidas devido à redução do número de animais herbívoros em 35,8%. O pasto cultivado seria mantido apenas para atender a demanda pedagógica. Já a pastagem irrigada seria aumentada pelo fato de todas as vacas em lactação serem mantidas no sistema intensivo de criação utilizando-a como fonte exclusiva de volumoso.

Para minimizar o custo da escola-fazenda nota-se que haveria um aumento na área de hortaliças, arroz e milho, o que indica que seria mais viável produzir esses alimentos ao invés de comprá-los no mercado. Isso não ocorre para as frutas, cuja produção seria reduzida. Estudos para analisar o impacto da irrigação dessas áreas na produtividade seriam importantes para verificar se com o emprego dessa tecnologia haveria alteração das áreas na solução ótima, uma vez que permite suprir a deficiência de água devido à falta de chuvas.

Outro aspecto a se considerar na análise da redução de áreas de algumas culturas é a especialização da produção, no caso da escola-fazenda há diversas variedades sendo cultivadas e a produção concorre com mercados estruturados que empregam tecnologias produtivas capazes de gerar produtos competitivos de baixo preço. Dessa forma, para alguns

produtos não é viável manter a produção com foco no consumo da população. Fato que vai ao encontro das discussões de Paiva (2004) sobre a especialização de nações e regiões em um ou mais segmentos produtivos, colocada por Smith (1982) como condição necessária para o desenvolvimento. Tal questão vai ao encontro dos resultados obtidos por Abdulkadri e Ajibefunb (1998) cujas análises do modelo formulado indicaram a prática do monocultivo para maximizar margem bruta, e mostraram que com a insistência na diversificação da produção haveria redução do resultado obtido.

O modelo proposto apontou uma solução ótima com alteração nas áreas de produção, indicando que alguns cultivos realizados na escola-fazenda não são os mais indicados quando se busca otimização. García-Martínez (2011), Fasiaben et al. (2011) e Moreira et al. (2009) também fizeram apontamentos sobre a diferença nos resultados com a realocação de recursos e atividades no sistema produtivo.

A aplicação da Programação Linear em busca de otimização tem sido recorrente desde a década de 80 para o planejamento agrícola conforme se pode constatar nos trabalhos de Reeling et al. (2012), Senthilkumar et al. (2011), Cabral (2010), Santos (2009), Milan (2008), Biagio et al. (2007), Acs (2007), Detlefsen e Jensen (2006), Dogliotti et al. (2003; 2004; 2005), Caixeta Filho et al. (2002), Araújo e Caixeta Filho (1998), Nevo et al. (1994), Caixeta Filho (1993), El-Nazer e McCarl (1986).

Na escola-fazenda tem-se a produção animal e vegetal, e ambas competem por recursos, sejam eles financeiros, mão de obra ou área, portanto, é necessário realizar uma análise conjunta dos resultados apontados no cenário otimizado. Verificou-se que parte da mão de obra destinada à pecuária seria realocada para a produção vegetal, que permaneceria com maior número de trabalhadores. As áreas destinadas às culturas anuais poderiam ser avaliadas pelos técnicos da escola-fazenda para analisar estratégias de ocupação em sistema de integração lavoura pecuária, o que poderia otimizar os resultados conforme foi demonstrado por Quingzhen et al. (1991), Toniello e Caixeta Filho (1992), Dossa (1994), Pandey e Hardaker (1995), Okoruwa et al. (1996), Gameiro et al. (2011b), Groot et al. (2012),

Assim como para Tupy e Yamaguchi (2002), o modelo de programação linear pode ser um instrumento útil para identificação de sistemas de produção a serem aplicados, a partir de uma amostra, que é o cenário base, criando oportunidade de desenvolver cenários com comportamento otimizador para avaliação.

5.2.1.3 Produção agroindustrial

Na escola-fazenda destacam-se dois tipos de agroindústria: do leite e de frutas.

Na agroindústria de leite não haveria alteração na quantidade de leite pasteurizado para consumo da comunidade, mas haveria alteração na quantidade de leite disponível para o processamento de lácteos (tabela 5.25).

Tabela 5.25 - Produção de leite (leite cru) e leite disponível para agroindústria no Cenário 1 (cenário base) e Cenário 2 (solução ótima) em 12 meses

Leite	Cenário 1	Cenário 2	Variação (%)
Cru (litros)	207.360,0	121.724,4	- 41,3
Pasteurizado (litros)	63.802,0	63.614,0	- 0,3
Disponível para agroindústria (litros)	143.558,0	58.110,0	- 59,5

Nota-se que dos produtos lácteos, apenas o queijo deixaria de ser produzido no Cenário 2, os demais produtos não apresentariam variação na produção (tabela 5.26). No Cenário 1, mesmo produzindo queijo há necessidade de aquisição anual de 1.034 kg do produto e no Cenário 2, de 4.646 kg. Isso pode ser justificado pelo rendimento do queijo, que necessita de 11 kg de leite para gerar 1 kg de produto final, portanto, contribui para o aumento da demanda de leite.

Tabela 5.26 – Produtos lácteos produzidos na agroindústria do leite no Cenário 1 (cenário base) e Cenário 2 (solução ótima) em 12 meses

Produto lácteo	Cenário 1	Cenário 2	Variação (%)
Queijo (kg)	4.992	0	100
Doce de leite (kg)	3.242	3.241	-
Picolé (kg)	13.777	13.772	-
Geladinho (kg)	13.774	13.772	-
Sorvete (kg)	13.824	13.822	-
Iogurte (kg)	13.825	13.823	-

A produção de doce de frutas apresentaria pequena variação na sua produção total, mas haveria aumento da produção de doce de frutas perene e redução de doce de fruta anual (tabela 5.27). Apesar do doce de frutas semiperenes apresentar o menor rendimento, seria priorizado na fabricação porque as frutas seriam produzidas na escola-fazenda devido à restrição pedagógica de se manter uma área para as aulas práticas. Portanto, a produção

precisaria ser utilizada. Havendo excedente de produção de frutas, a forma de estocagem é a produção de doce para armazenamento.

Tabela 5.27 - Produção de doce de frutas (kg) no Cenário 1 (cenário base) e Cenário 2 (solução ótima) em 12 meses

Leite	Cenário 1	Cenário 2	Variação (%)
Doce de fruta perene (kg)	2.384	2.592	+ 8,7
Doce de fruta semiperene (kg)	4.164	4.164	-
Doce de fruta anual (kg)	1.424	1.296	- 9,0
Total de doce de frutas (kg)	7.972	8.052	-1,0

O planejamento da produção da agroindústria está relacionado ao da produção animal e vegetal, alterações nas variáveis desses setores têm impacto direto na produção agroindustrial, o que pode ser mensurado pelo modelo proposto. Essa questão também pode ser evidenciada em revisão de Ahumada e Villalobos (2009) que utilizaram mais de 60 artigos. Os autores mostram diversas aplicações da Programação Linear na avaliação das cadeias produtivas, tanto no âmbito da produção no campo, quanto na agroindústria. Destaca-se que os pesquisadores citados indicam que há necessidade de formulação de modelos que integrem decisões de produção e distribuição, e o modelo proposto para a escola-fazenda atende esse quesito, pois toda a produção gerada é distribuída para agroindústria ou refeitório para alimentar a população.

5.2.1.4 Refeições

A partir dos produtos adquiridos no mercado e produzidos na escola-fazenda foi possível gerar cardápios variados para as seguintes refeições: café da manhã, almoço e jantar, sobremesa e lanche. Modelos para elaborar dieta humana são estudados desde a década de 60 e a maior dificuldade que se encontra é a inclusão da palatabilidade no modelo, pois há de se conciliar o gosto e paladar com a necessidade nutricional (NAMEN; BORNSTEIN, 2004). Além disso, há indicação de que os cardápios devem suprir as necessidades nutricionais e serem variados com oferta de frutas e hortaliças (BRANDÃO; GIOVANONI, 2011).

A Programação Linear pode ser empregada para minimizar custos de alimentação humana, como demonstraram Araújo e Silva (2012) com um modelo para elaboração de

dietas com intuito de gerar cardápio para redução de peso. Os autores consideraram 21 ingredientes para estabelecer café da manhã, almoço, jantar e três lanches atendendo a demanda de carboidrato, proteína e lipídio para uma pessoa. Outra aplicação que evidencia o uso da programação linear é a pesquisa de Fracasso e Montezani (2005) que formulou um modelo para minimizar o custo das refeições coletivas da Universidade de São Paulo, sendo que os autores elaboraram uma refeição composta por sete grupos de alimentos.

No modelo proposto, com intuito de simplificar o processo de elaboração da dieta humana, focou-se no suprimento do refeitório em termos de oferta de alimentos diversificados sem incluir restrições de ordem nutricional para humanos, tais como exigência de carboidratos, proteínas, entre outros. A estratégia foi fracionar as refeições em porções de modo a incluir ingredientes que possam atender a demanda nutricional das pessoas. Portanto, na formulação do modelo foram geradas restrições para garantir diversidade na composição das refeições, com a presença de frutas em pelo menos uma refeição e variedades de hortaliças no almoço e jantar. Para isso criou-se um método de estabelecer limite mínimo e máximo de inclusão dos ingredientes em cada mês. Sendo assim, foi garantida a diversidade na oferta de alimentos. Destaca-se que o objetivo do modelo é indicar a quantidade e variedade de alimentos a ser consumido no mês, respeitando os limites das porções, cabendo ao nutricionista o papel de distribuir os ingredientes no mês elaborando cardápios diários.

5.2.1.4.1 Café da manhã

O cardápio do café da manhã apresentou diversidade de ingredientes e na análise dos produtos ofertados no período de um mês em cada um dos cenários nota-se que haveria variação na quantidade total de frutas, que reduziria em 1,5% na solução ótima, e na quantidade de leite pasteurizado, que aumentaria em 4,2% (tabela 5.28).

Tabela 5.28 – Quantidade (kg) de cada produto do café da manhã no Cenário 1 (cenário base) e Cenário 2 (solução ótima) no período de um mês

Produto	Cenário 1	Cenário 2	Variação (%)
Achocolatado	46	46	-
Açúcar	298	298	-
Biscoito	594	594	-
Bolo	831	831	-
Cafê	180	180	-
Cereal	1.080	1.080	-
Doce de fruta anual	237	237	-
Doce de fruta perene	-	-	-
Doce de fruta semiperene	-	-	-
Doce de leite	237	237	-
Fruta anual	2.683	-	- 100,0
Fruta perene	57	-	- 100,0
Fruta semiperene	916	3.600	+ 293,0
Iogurte	2.376	2.376	-
Leite pasteurizado	7.200	7.500	+ 4,2
Manteiga	180	180	-
Mel	16	16	-
Pão	36.000	36.000	-
Queijo	360	360	-

Ao longo do período de 36 meses, nota-se variação na oferta de produtos que poderiam ser produzidos ou comprados no mercado, caso das frutas, doce de frutas e produtos lácteos. Os demais permaneceriam com oferta constante, uma vez que não foi identificada uma série histórica de preços e esse foi constante no período.

Na análise da oferta de frutas no café da manhã nos seis primeiros meses nota-se que no Cenário 1 a oferta total de frutas seria maior em relação ao Cenário 2 (gráfico 5.2 e 5.3), sendo que a diferença durante esse período seria em média de 567 kg a menos por mês.

Gráfico 5.2 – Oferta de frutas (kg) no café da manhã ao longo dos seis primeiros meses no Cenário 1 (cenário base)

Nota: Utilizaram-se os seis primeiros meses por serem representativos da variação na oferta.

Gráfico 5.3 – Oferta de frutas (kg) no café da manhã ao longo dos seis primeiros meses no Cenário 2 (solução ótima)

Nota: Utilizaram-se os seis primeiros meses por serem representativos da variação na oferta.

Com relação aos tipos de frutas, é possível observar que há diferença entre os cenários (gráfico 5.2 e 5.3). No Cenário 1 a oferta de frutas anuais inicia com 2.683 kg no mês 1, chega a zero no mês 2, aumenta para 984 kg no mês 3 e decresce ao longo dos meses; enquanto que no Cenário 2 essa oferta iniciaria com zero, atingiria o pico no mês 2 com 1.512 kg e posteriormente iria decrescendo. Portanto até o mês 3, a oferta de frutas anuais no café da manhã seria inversa entre os cenários. A oferta de frutas perenes inicia com 916 kg no mês 1, atinge o pico de 1.800 kg no mês 2 e decresce ao longo dos meses, enquanto que no Cenário 2 a oferta inicial seria de 3.600 kg, apresentaria queda para 480 kg no mês 2, aumentaria para

758 kg no mês 3 e então passaria a ser decrescente. A oferta de frutas perenes inicia com zero e é crescente em ambos os cenários. Essas variações se devem ao fato de que a maior produtividade é a de frutas anuais, mas essa tem maior preço no mercado, portanto é incluída no cardápio quando há produção na escola-fazenda. O menor custo de aquisição é o de frutas perenes, e dessa forma, quando há necessidade de inclusão além da produção, essa é priorizada no modelo. As frutas semiperenes são produzidas devido às restrições pedagógicas e acabam abastecendo o refeitório.

A oferta de doce de frutas foi de 237 kg por mês, mas apresentou variações conforme o tipo de fruta utilizado ao longo dos meses em ambos os cenários (gráfico 5.4). O doce de frutas perene não foi incluído no cardápio do café da manhã em nenhum mês.

Gráfico 5.4 – Oferta de doce de frutas (kg) no café da manhã ao longo dos seis primeiros meses no Cenário 1 (cenário base) e Cenário 2 (solução ótima)

Nota: Utilizaram-se os seis primeiros meses por serem representativos da variação na oferta.

Com exceção do queijo, a oferta de produtos lácteos no café da manhã apresenta variação na quantidade apenas do mês 1 para o mês 2, quando ocorre então estabilização ao longo dos meses, mantida até o mês 36. O queijo apresenta variações de oferta nos meses, com um padrão definido em ambos os cenários, em que a oferta oscila entre 108 kg e 360 kg por mês (gráfico 5.5). A oferta de doce de leite é de 237 kg no mês 1 e posteriormente se mantém constante em 43 kg por mês.

Gráfico 5.5 – Oferta de produtos lácteos (kg) no café da manhã ao longo dos seis primeiros meses no Cenário 1 (cenário base) e Cenário 2 (solução ótima)

Nota: Utilizaram-se os seis primeiros meses por serem representativos da variação na oferta.

5.2.1.4.2 Almoço e Jantar

O cardápio do almoço e jantar incluiu uma porção de: proteína (carne ou ovo), arroz, feijão, salada de folhas e frutos, legumes (tuberosas) e outros (mandioca, batata ou massa). As quantidades de proteína, feijão, arroz e outros foram fixas para todos os meses em ambos os cenários (gráfico 5.6).

Gráfico 5.6 – Composição das refeições almoço e jantar (kg) no período de um mês para a população da escola-fazenda no Cenário 1 (cenário base) e Cenário 2 (solução ótima)

Nota: Utilizaram-se os seis primeiros meses por serem representativos da variação na oferta.

Com relação às proteínas que compõem o almoço e jantar observa-se que apesar da quantidade total ofertada no cardápio ser a mesma em ambos os cenários, totalizando 13,5 toneladas de carne por mês, haveria variação em dois tipos de carnes (gráfico 5.7 e 5.8).

Gráfico 5.7 – Oferta de produtos carnes (kg) no almoço e jantar ao longo dos seis primeiros meses no Cenário 1 (cenário base)

Nota: Utilizaram-se os seis primeiros meses por serem representativos da variação na oferta.

Gráfico 5.8 – Oferta de produtos carnes (kg) no almoço e jantar ao longo dos seis primeiros meses no Cenário 2 (solução ótima)

Nota: Utilizaram-se os seis primeiros meses por serem representativos da variação na oferta.

Na solução ótima (Cenário 2) a quantidade de carne ovina incluída nas refeições seria elevada em 889 kg por mês, pois a quantidade de ovinos criados aumentaria em 351% em relação ao Cenário 1. Com o aumento da disponibilidade de carne ovina ocorreria redução da

oferta de carne de aves e suína para compor a refeição (tabela 5.29). Nota-se que a inclusão da carne bovina e peixe ocorreria de modo a atender o limite mínimo de inclusão na dieta.

Tabela 5.29 – Composição da porção de proteínas para almoço e jantar da população da escola-fazenda no Cenário 1 (cenário base) e Cenário 2 (solução ótima) no período de um mês com base na média dos seis primeiros meses

Produto	Cenário 1	Cenário 2	Variação (%)	Limite mínimo na dieta	Limite máximo na dieta
Ovo (unidade)	2.700	2.700	-	900	2.700
Carne bovina (kg)	1.755	1.755	-	1.755	6.750
Carne ovina (kg)	945	2.408	+ 155,8	900	2.700
Carne suína (kg)	2.166	1.800	-18,8	1.800	6.750
Carne ave (kg)	5.529	4.478	-19,0	1.800	6.750
Peixe (kg)	405	405	-	450	1.350

Nota: Utilizaram-se os seis primeiros meses por serem representativos da variação na oferta.

Essa alteração proposta na solução ótima (Cenário 2) poderia ter impacto na quantidade de carne consumida. No Cenário 1 a maior parte da proteína ofertada era de aves, seguida de carne suína e bovina (gráfico 5.9). No Cenário 2 a carne de aves continuaria a ser mais ofertada, no entanto, a carne ovina passaria ser a segunda maior oferta seguida da carne suína. A oferta de peixes e carne bovina não seria alterada entre os cenários. Nota-se que a carne ovina estaria no cardápio em dois dias no mês no Cenário 1 e apresentar-se-ia em cinco dias no Cenário 2. Para compensar esse aumento a carne de aves reduziria de 12 para 10 dias, e a de suínos de cinco para quatro dias no mês.

Gráfico 5.9 – Percentual de oferta de carnes (%) no almoço e jantar ao longo dos seis primeiros meses no Cenário 1 (cenário base) e Cenário 2 (solução ótima)

Nota: Utilizaram-se os seis primeiros meses por serem representativos da variação na oferta.

Em relação à carne ovina, Sañudo et al. (2007) constataram que há preferência individual dos consumidores e essa que apresenta variação devido ao sabor, suculência, maciez e odor, e além disso é necessário analisar os hábitos culturais regionais e culinários para definir preparo e consumo. Com isso, haveria necessidade de avaliar a aceitação das carnes para verificar a viabilidade de alterar o hábito alimentar da população. Esses resultados do modelo proposto, assim como os de Namen et al. (2004) evidenciam que atender a preferência e palatabilidade na dieta humana pode reduzir o universo de soluções possíveis, bem como causar aumento do custo da refeição.

Para composição do cardápio de almoço e jantar, as porções de alimentos da horta no Cenário 1 atingiram o limite mínimo necessário, no entanto, no Cenário 2 nota-se que haveria aumento das porções de frutos e folhosas na dieta (tabela 5.30).

Tabela 5.30 – Composição da porção de folhosas, frutos e tuberosas (kg) para almoço e jantar da população da escola-fazenda no Cenário 1 (cenário base) e Cenário 2 (solução ótima) no período de um mês

Hortaliça	Cenário 1	Cenário 2	Variação (%)	Limite mínimo na dieta	Limite máximo na dieta
Folhosas (kg)	1.440	1.440	0	1.440	2.880
Frutos (kg)	1.440	2.100	+ 45,8	1.440	2.880
Tuberosas (kg)	1.440	2.220	+ 35,1	1.440	2.880
Total (kg)	4.320	5.760	+ 25,0	-	-

No caso dos outros alimentos, apesar da quantidade da porção ser fixa, essa poderia ser composta por três ingredientes distintos, no entanto, não houve variação conforme o cenário (tabela 5.31).

Tabela 5.31 – Composição da porção de outros alimentos para almoço e jantar da população da escola-fazenda no Cenário 1 (cenário base) e Cenário 2 (solução ótima) no período de um mês

Alimentos	Cenário 1 e 2	Limite mínimo na dieta	Limite máximo na dieta
Mandioca (kg)	331,2	43,2	331,2
Massa (kg)	388,8	144,0	720,0
Batata (kg)	720,0	144,0	720,0
Total (kg)	1.440,0	331,2	1.771,2

A inclusão da mandioca ocorreria no limite máximo permitido, o que se explica pelo fato desse ser o produto de menor custo. A quantidade de batata no cardápio também atingiria o valor máximo permitido, sendo necessário complementar com a inclusão da massa que atingiu 54% do valor máximo permitido.

O almoço e jantar na escola-fazenda são acompanhados de uma sobremesa que também precisa ser variada ao longo do mês. Não houve diferença na oferta de sobremesa no Cenário 1 e 2, portanto sua composição seria a mesma e a quantidade seria suficiente para atender o limite mínimo de inclusão na dieta (gráfico 5.10).

Gráfico 5.10 – Percentual de oferta de produtos que compõem a sobremesa (kg) que acompanha o almoço e jantar ao longo dos 36 meses no Cenário 1 (cenário base) e Cenário 2 (solução ótima)

5.2.1.4.3 Lanches

O lanche é ofertado duas vezes ao dia e precisa ser variado ao longo do mês, havendo diversas opções de ingredientes para sua composição.

Com relação às frutas, como sua inclusão no cardápio não é obrigatória, no Cenário 1 somente observa-se a presença da fruta anual. No Cenário 2, o cardápio seria composto tanto por fruta anual, como semiperene (Figura 5.11).

Gráfico 5.11 – Percentual de oferta de frutas (kg) no lanche ao longo dos seis primeiros meses no Cenário 1 (cenário base) e Cenário 2 (solução ótima)

Nota: Utilizaram-se os seis primeiros meses por serem representativos da variação na oferta.

Tabela 5.32 – Composição dos lanches (g) da população da escola-fazenda no Cenário 1 (cenário base) e Cenário 2 (solução ótima) nos seis primeiros meses

Produto (g)	Meses					
	1	2	3	4	5	6
Achocolatado	42	42	42	42	42	42
Açúcar	174	174	174	174	174	174
Biscoito	435	171	171	171	171	171
Bolo	609	240	240	240	240	240
Cafê	42	42	42	42	42	42
Cereal	396	396	396	396	396	396
Doce de fruta anual	174	174	-	174	174	-
Doce de fruta perene	-	-	-	-	-	-
Doce de fruta semiperene	-	-	174	-	-	174
Doce de leite	174	31	174	31	174	31
Geladinho	264	264	264	264	264	264
Iogurte	686	316	686	316	686	316
Leite pasteurizado	640	871	871	871	871	871
Manteiga	34	34	34	34	34	34
Mel	12	12	12	12	12	12
Picolé	264	264	264	264	264	264
Pão	2.640	3.432	3.432	3.432	3.432	3.432
Queijo	264	264	34	264	34	264
Sorvete	264	264	264	264	264	264
Suco	8	8	8	8	8	8

Nota: Utilizaram-se os seis primeiros meses por serem representativos da variação na oferta.

Com exceção das frutas, não se observou diferença entre a oferta dos componentes do lanche nos cenários (tabela 5.32). No entanto, para alguns produtos há diferença ao longo dos meses, na quantidade ofertada, sendo que em alguns momentos, essa pode ser zero, como é o caso do doce de frutas.

5.2.1.5 Produção e aquisição de produtos para compor as refeições da população

No Cenário 2 ocorreria compra de carne bovina, que apesar de estar sendo produzida não seria suficiente para abastecer o refeitório na porção mínima exigida para diversificar a dieta. Com relação à carne de aves, mesmo com a redução da quantidade de aves criadas na escola-fazenda, haveria redução na quantidade comprada no mercado porque também haveria redução da quantidade total de carne na composição das refeições (tabela 5.33).

Tabela 5.33 – Aquisição de proteínas para compor o almoço e jantar da população da escola-fazenda no Cenário 1 (cenário base) e Cenário 2 (solução ótima) no período de um mês representativo

Produto lácteo	Cenário 1	Cenário 2	Variação (%)
Ovo (unidade)	83	10.555	+ 12.643
Carne bovina (kg)	-	1.390	+ 1.390
Carne ovina (kg)	158	-	-100
Carne suína (kg)	-	-	-
Carne ave (kg)	2.162	2.015	-7
Peixe (kg)	405	405	-

A aquisição de carne bovina no mercado pode ter sido indicada pelo fato de que o modelo não foi capaz de retratar a realidade da escola-fazenda em termos de abate de animais. Isso porque na prática, quando há necessidade são abatidos animais que ainda não atingiram o peso ideal de abate, novilhos e vacas, o que não está contemplado no modelo, que considera um rebanho estável com determinada taxa de abate.

Com o aumento da produção de hortaliças folhosas, no Cenário 2 não haveria necessidade de aquisição no mercado, no entanto, para aquelas tipo frutos e tuberosas ainda seria necessário comprar produtos, mas em menor quantidade em relação ao Cenário 1 (gráfico 5.12). No Cenário 1 a soma dos produtos produzidos e consumidos totaliza 43,5

toneladas e no Cenário 2, 66,2 toneladas, o que significa que a oferta desses alimentos pela população aumentaria devido a maior produção obtida com o aumento de área de cultivo.

Gráfico 5.12 – Representação da quantidade (kg) produzida e comprada de folhas, frutos e tuberosas no Cenário 1 (cenário base) e Cenário 2 (solução ótima) em 12 meses

Com relação às frutas observa-se que houve redução da produção de frutas perenes devido à redução da área de cultivo, havendo aumento da aquisição, por ser a opção de menor custo de compra (gráfico 5.13).

Gráfico 5.13 - Representação da quantidade (kg) produzida e adquirida de frutas perenes, semiperenes e anuais no Cenário 1 (cenário base) e Cenário 2 (solução ótima) em 12 meses

A área de cultivo das frutas anuais apresentaria redução, assim como a aquisição dessas frutas, pois haveria alteração no cardápio favorecendo outras opções de alimentos. As frutas semiperenes continuariam sendo produzidas na mesma quantidade porque a área não seria alterada, uma vez que há restrição de área mínima para as aulas práticas e essa foi mantida.

5.2.1.6 Mão de obra

Os resultados da necessidade de mão de obra para manejo dos animais na escola-fazenda indicam que as porcas matrizes compõem a categoria que necessita maior quantidade de horas por mês para seu manejo (gráfico 5.14).

Ressalta-se que os resultados são apresentados em função da categoria principal que foi definida para cada criação: vacas do rebanho comercial, vacas do rebanho leite, vacas em lactação nos sistemas intensivo e extensivo, ovelhas, porcas matrizes, aves de corte na fase inicial, aves de postura na fase inicial e caixa de abelha. Portanto, o número de horas dedicado a cada categoria animal principal reflete também o número de horas para as demais categorias que estão associadas nas fórmulas de composição do rebanho.

Gráfico 5.14 – Número de horas necessárias para o manejo de cada animal das categorias principais de cada criação no período de um mês

Na escola-fazenda há um número fixo de trabalhadores para a agropecuária e agroindústria, sendo esses distintos. Na agroindústria, em ambos os cenários, a ocupação da

mão de obra foi de 100%, ou seja, todos os trabalhadores desenvolvem atividades ao longo dos meses, com exceção do mês um que não dispunha de alimentos suficientes para processamento.

Na agropecuária, a ocupação da mão de obra atingiria 100% somente em alguns meses do ano, quando há atividades de plantio e colheita das culturas anuais (gráfico 5.15).

Gráfico 5.15 – Ocupação da mão de obra (%) ao longo de 36 meses com atividades agropecuárias e da agroindústria no Cenário 1 (cenário base) e Cenário 2 (solução ótima)

Nos demais períodos os trabalhadores não ocupam 100% do seu tempo e isso pode ser explicado pelo fato do modelo apresentar restrições que exigem a manutenção do número de animais fixo em cada categoria. Caso essa restrição não fosse imposta, poderia ocorrer a indicação da compra de animais ou aumento das áreas de plantio de horta nos períodos de menor ocupação de mão de obra. Outra opção para aumentar a ocupação seria possibilitar que fosse contratada mão de obra temporária nos períodos de plantio e colheita de culturas anuais. Essa análise é complexa, pois a necessidade de aumentar o número de trabalhadores seria nas épocas de plantio e colheita, período em que as demais propriedades também estariam em busca de mão de obra, o que faz aumentar o custo de contratação devido à maior demanda. Essa discussão foi realizada por White et al. (2005) que consideraram o custo de oportunidade da mão de obra na formulação de um modelo matemático e mostraram que a adoção de novas tecnologias que exigem maior número de trabalhadores sazonalmente pode não ser viável aos produtores devido ao custo elevado das contratações nas épocas de elevada demanda pelo mercado.

A ocupação média da mão de obra no período de 36 meses passou de 88,8% no Cenário 1, para 97,1% no Cenário 2, portanto, este otimiza a alocação do trabalho.

5.2.1.7 Máquinas agrícolas

No Cenário 1 tem-se maior percentual de ocupação das máquinas pelo fato da área cultivada ser superior ao Cenário 2 (gráfico 5.16). Observa-se que no Cenário 1, os picos de uso das máquinas ocorrem nos meses em que se faz a colheita do sorgo e sua ensilagem, operações que não ocorrem no Cenário 2, uma vez que não se teriam essa cultura.

Gráfico 5.16 – Ocupação das máquinas agrícolas (%) ao longo de 36 meses com atividades agropecuárias e da agroindústria no Cenário 1 (cenário base) e Cenário 2 (solução ótima)

A média de ocupação dos tratores decresce no Cenário 2 para 55,5% ao longo do ano, sendo que no Cenário 1 foi de 72%, portanto reduziu em 23%. A colheitadeira apresentou redução de ocupação de 4,7% em média.

Destaca-se que o uso de tratores para a área urbana, o que corresponde à coleta de lixo, transporte de lanche para alunos e funcionários, alimentos para o refeitório, produtos e equipamentos para manutenção das instalações ocupa um percentual relevante de horas das máquinas (gráfico 5.17). Somente em dois meses do ano (mês 10 e 11) a ocupação de máquinas para o setor agrícola é maior que para a área urbana, dessa forma constatou-se que a maior ocupação dos tratores deve-se às atividades urbanas.

O uso pedagógico dos tratores e colheitadeira é de 4,5% e 9,5% do total de horas disponíveis, respectivamente. Na gráfico 5.17 é possível observar os picos de uso de máquinas nos meses de colheita e a representatividade do uso de máquinas na área urbana que concorre com o uso na agropecuária.

Gráfico 5.17 – Demanda de máquinas agrícolas (%) ao longo de 36 meses com atividades agropecuárias, agroindustriais e urbanas no Cenário 1 (cenário base)

5.2.2 Análise de sensibilidade

5.2.2.1 Variações na ocupação da área da escola-fazenda com atividades agropecuárias

No Cenário 2, a solução ótima apresentou elevada redução da ocupação da área disponível da escola-fazenda em relação ao Cenário 1 (1.206 vs. 383 ha). Verificou-se que para manter a terra ocupada o custo anual aumentaria significativamente (tabela 5.34).

Há uma relação linear entre a ocupação da área e o custo anual, quanto maior o número de animais e área cultivada, maior o custo (gráfico 5.18).

Tabela 5.34 - Comparação entre os cenários de 2 a 9: variação na restrição de ocupação mínima de área

Cenário	Restrição de área mínima ocupada	Área (ha)			Custo anual (R\$)	Custo marginal para 100 ha (R\$)
		Produção animal	Produção agrícola	Total		
2	-	298	85	383	4.134.571,25	-
3	400	328	157	485	4.162.126,67	27.555,41
4	500	425	160	585	4.207.993,67	45.867,00
5	600	529	155	684	4.254.685,00	46.691,33
6	700	637	147	784	4.303.999,33	49.314,33
7	800	736	145	881	4.354.471,92	50.472,59
8	900	839	95	934	4.405.121,30	50.649,38
9	1.000	939	145	1.084	4.456.693,67	51.572,37

Gráfico 5.18 - Variação do custo anual (R\$) em função da ocupação da área com atividades agropecuárias

Considerando que a área utilizada para as atividades agropecuárias é de 1.206 hectares no Cenário 1 (cenário base), para não haver redução tão significativa de 823 hectares sem uso conforme proposto no Cenário 2, foram analisadas as variáveis resultantes no Cenário 7 (restrição de ocupação mínima de 800 hectares com atividades agropecuárias). Dessa forma, a ocupação da terra da escola-fazenda seria semelhante àquela que retrata a realidade.

Observa-se que o maior aumento no rebanho seria devido ao número de bovinos de corte, pois são as categorias animais que ocupam maior área devido ao seu porte (tabela 5.35). Apesar dos bovinos de corte de elite apresentarem maior custo variável por cabeça animal, esses foram os animais inseridos no sistema para ocupar a maior parte da área, o que pode ser explicado pelo fato de que um percentual do rebanho pode ser vendido gerando receita. Haveria redução do número de bovinos do rebanho de corte comercial devido ao fato de que alguns animais elite foram abatidos para fornecer carne havendo, portanto, uma substituição.

Tabela 5.35 - Números de cabeças de animais e caixas de abelha no Cenário 2 (solução ótima) e Cenário 7 (restrição de ocupação mínima de 800 hectares com atividades agropecuárias)

Produção Animal	Cenário 2	Cenário 7	Variação (%)
Bovinos de corte - comercial	257	226	- 11,0
Bovinos de corte - elite	37	614	+1.559,5
Bovinos de leite	53	53	-
Equinos e muares	12	30	+ 150,0
Ovinos	812	1.002	+ 23,4
Suínos	162	184	+ 13,6

Aves de corte	1.000	1.000	-
Aves de postura em produção	200	100	-
Caixas de abelhas	20	8	- 60,0

Haveria também aumento no número de equinos e muares, consequência do aumento de bovinos, suínos e ovinos. Já o número de caixas de abelhas seria reduzido e a mão de obra para essa atividade seria realocada em outras agropecuárias.

Na produção vegetal também teriam variações, com aumento relevante na área de plantio de mandioca e pastagens, e redução das áreas de horta (folhosas e frutos) (tabela 5.36).

O aumento da área de pastagens geraria alimento para o gado, no entanto, o aumento da área de mandioca geraria excedente de produção com elevado estoque de produto.

Com a alteração dos rebanhos ocorreria uma variação na oferta de carnes para a população, havendo aumento da inclusão de carne ovina com redução da carne de aves (gráfico 5.19).

Tabela 5.36 - Culturas vegetais e áreas de plantio no Cenário 2 (solução ótima) e Cenário 7 (restrição de ocupação mínima de 800 hectares com atividades agropecuárias)

Produção Vegetal	Cenário 2	Cenário 7	Variação (%)
Milho (ha)	69,3	72,7	+ 4,9
Arroz (ha)	12,4	12,4	-
Sorgo forrageiro (ha)	0	0	-
Mandioca (ha)	0,1	56,5	+ 56.400,0
Hortaliça folhosa (m²)	496,5	496,5	-
Hortaliça fruto (m²)	3.130,0	1.630,0	- 47,9
Hortaliça tuberosa (m²)	587,0	306,0	- 47,9
Fruta perene (m²)	3.980,0	3.980,0	-
Fruta semiperene (m²)	34.903,0	34.903,0	-
Fruta anual (m²)	5.760,0	800,0	-13.788,9
Jardim (m²)	500,0	500,0	-
Pastagem nativa na seca (ha)	280,0	842,0	-200,7
Pastagem nativa nas águas (ha)	280,0	840,0	-200,0
Pastagem cultivada (ha)	1,0	1,0	-
Pastagem irrigada (ha)	3,7	3,7	-

Nota: o Cenário 7 corresponde ao Cenário 2 com a inclusão de uma restrição de ocupação mínima de 800 hectares com atividades agropecuárias.

Gráfico 5.19 – Percentual de oferta de produtos carnes (%) no almoço e jantar ao longo dos seis primeiros meses no Cenário 2 (solução ótima) e Cenário 7 (inclusão de uma restrição de ocupação mínima de 800 hectares com atividades agropecuárias)

Nota: Utilizaram-se os seis primeiros meses por serem representativos da variação na oferta.

No Cenário 7 a ocupação média da mão de obra agropecuária aumentaria em 0,6% em relação ao Cenário 2 (gráfico 5.20). Para a produção animal, a ocupação passaria de 25,5% do total no Cenário 2 para 33,3% no Cenário 7 devido ao aumento dos rebanhos.

Gráfico 5.20 – Ocupação da mão de obra (%) ao longo de 12 meses com atividades agropecuárias e da agroindústria no Cenário 2 (solução ótima) e Cenário 7 (inclusão de uma restrição de ocupação mínima de 800 hectares com atividades agropecuárias)

A ocupação de máquinas no Cenário 7 tornar-se-ia maior que no Cenário 2, em média 10% (gráfico 5.21). Esse aumento é explicado pelo incremento da área de cultivo agrícola, que passou de 646 ha para 1.828 ha, o que representa aumento de área de 2,8 vezes.

Gráfico 5.21 – Ocupação das máquinas agrícolas (%) ao longo de 12 meses no Cenário 2 (solução ótima) e Cenário 7 (inclusão de uma restrição de ocupação mínima de 800 hectares com atividades agropecuárias)

5.2.2.2 Variações no número de trabalhadores da escola-fazenda

Observa-se que na solução ótima representada pelo Cenário 2, chegaria a ocorrer ocupação de 100% da mão de obra destinada às atividades agropecuárias. Dessa forma, cabe analisar o impacto do aumento de trabalhadores da agropecuária no custo total do sistema nos Cenários 10 a 17. Conforme aumenta o número de trabalhadores, aumenta o custo total do sistema (tabela 5.37).

Tabela 5.37 - Comparação entre os Cenários 2 e 10 a 17 que apresentam variação no número de trabalhadores da agropecuária

Cenário	Número de trabalhadores	Custo anual (R\$)	Custo marginal de um trabalhador (R\$)
2 (ótimo)	25,5	4.303.959,18	-
10	27	4.322.823,21	+18.864,04
11	28	4.341.687,24	+18.864,03
12	29	4.360.551,27	+18.864,03
13	30	4.379.415,30	+18.864,03
14	31	4.398.279,33	+18.864,03
15	32	4.417.143,36	+18.864,03
16	33	4.436.007,40	+18.864,03
17	34	4.303.959,18	+18.687,88

Nota: Custo total refere-se ao custo de 12 meses.

A adição de um trabalhador a mais no Cenário 2 para atuar na agroindústria implicaria em redução do custo total até o número de 18 pessoas (tabela 5.38). A partir da inclusão do 19º trabalhador, o custo marginal passa a ser positivo indicando que o custo total aumenta, pois são atingidas as capacidades máximas de trabalho na agroindústria com atendimento da demanda por alimentos do refeitório e começa a reduzir a ocupação da mão de obra.

A análise da variação do custo total (12 meses) em função do número de trabalhadores nas atividades indica que na agropecuária, com a adição de um trabalhador no sistema haveria um aumento linear do custo total de R\$ 18.864,03, enquanto que com a adição de um trabalhador na agroindústria ocasionaria redução no custo até o limite de 18 pessoas (gráfico 5.22). Com 18 trabalhadores na agroindústria, o custo total no período de um ano de planejamento seria reduzido para R\$ 9.642.371,51, que é 25% menor que seria aquele obtido no Cenário 2 (R\$ 12.855.813,90). O impacto foi percebido na produção de pães que passaria de cerca de 3.305 pães por mês no Cenário 2, para 21.305 no Cenário 27 (com 18 trabalhadores na agroindústria), reduzindo dessa forma a compra do produto no mercado. Diante desse resultado, para o Cenário 1 pode ser indicada a contratação de mais trabalhadores para a agroindústria a fim de atingir menor custo total.

Tabela 5.38 - Comparação entre os Cenários 2 e 18 a 29 que apresentam variação no número de trabalhadores da agroindústria

Cenário	Número de trabalhadores	Custo anual (R\$)	Custo marginal de um trabalhador (R\$)
2 (ótimo)	8	4.303.959,18	-
18	9	4.178.135,73	-107.135,57
19	10	4.071.000,16	-107.135,57
20	11	3.963.864,60	-107.135,57
21	12	3.856.729,03	-107.135,57
22	13	3.749.593,50	-107.135,53
23	14	3.642.457,90	-107.135,60
24	15	3.535.322,33	-107.135,56
25	16	3.428.514,97	-106.807,36
26	17	3.321.379,40	-107.135,57
27	18	3.214.123,84	-107.255,57
28	19	3.224.377,03	+ 10.253,19
29	20	3.243.217,03	+ 18.840,00

Gráfico 5.22 - Variação do custo total (R\$) de 12 meses em função do número de trabalhadores nas atividades agropecuárias e agroindustriais

5.2.2.3 Variações na disponibilidade de máquinas na escola-fazenda

Considerando que ocorre uma significativa ocupação das máquinas com as atividades da área urbana, verificou-se o impacto da adição de um trator pesado no sistema, considerando para isso um aumento do custo fixo devido sua depreciação e manutenção. Não haveria aumento do uso de horas máquina com a alteração dos cenários, porém seria reduzida a ocupação percentual das máquinas devido ao aumento da disponibilidade (tabela 5.39). Dessa forma, nos Cenários 1 e 2 a inclusão de mais um trator somente aumentaria o custo total, não sendo viável.

Tabela 5.39 - Comparação entre os Cenários 1 e 30, 2 e 31 que apresentam variação na quantidade de horas máquina disponíveis

Cenário	Ocupação das horas máquina/mês (%)	Custo total (R\$)	Custo marginal de um trator (R\$)
1 (base)	72,0	28.117.171,38	-
30	67,4	28.261.131,80	14.396,40
2 (ótimo)	55,5	12.855.813,90	-
31	52,2	12.999.813,90	14.399,99

Nota: Cenário 42 corresponde ao acréscimo de 154 horas na disponibilidade de trator leve no Cenário 1 e o Cenário 43 representa o mesmo acréscimo, porém sobre o Cenário 2.

5.2.2.4 Variações no número de pessoas da escola-fazenda

Supondo que a escola tenha capacidade de alojar maior número de alunos em termos de infraestrutura urbana (alojamento, hospital, refeitório), simulou-se o impacto desse aumento no custo total. Em cada cenário foi adicionada uma nova turma no Curso Técnico em Agropecuária, o que representa 40 alunos compondo os Cenários de 32 a 35 (tabela 5.40). A adição de alunos na escola-fazenda geraria aumento de custo devido à manutenção do aluno, bem como o aumento dos rebanhos e áreas de cultivo, uma vez que se estabeleceu relação linear entre essas variáveis. Verificou-se que a partir da inclusão da quarta turma de alunos (Cenário 35), o custo marginal da turma decresceria (gráfico 5.23).

Tabela 5.40 - Comparação entre os Cenários 2 e 32 a 35 que apresentam variação no número de alunos no Curso Técnico em Agropecuária e consequentemente o número de pessoas na escola-fazenda

Cenário	Número de alunos	Número de pessoas	Custo total (R\$)	Custo marginal de uma nova turma de alunos (R\$)
2 (ótimo)	270	1.200	12.855.813,89	-
32	310	1.240	13.392.534,04	+ 536.720,15
33	350	1.280	13.941.022,85	+ 548.488,81
34	390	1.320	14.502.230,08	+ 561.207,23
35	430	1.360	14.686.324,70	+ 184.094,62

Os dados da tabela 5.40 foram obtidos acrescentando-se ao uma turma de alunos de cada vez. Quando se chegou na quinta turma não foi encontrada uma solução possível. No entanto, o sistema não suportaria mais turmas devido à restrição de mão de obra para manter as atividades agropecuárias, pois a ocupação é de 100%, e, além disso, a ocupação da terra também fica próximo ao limite, ou seja, não haveria recursos para atender a demanda de ensino e aprendizado dos alunos. Dessa forma, o número máximo de alunos no Curso Técnico em Agropecuária seria de 430, o que significa 37,2% de aumento em relação ao cenário atual da escola-fazenda (270 alunos).

Gráfico 5.23 - Variação do custo marginal (R\$) de uma turma de 40 alunos no período de 36 meses (tempo para formação como Técnico em Agropecuária) em função do aumento do número de turmas na escola-fazenda

Para manter 430 alunos haveria necessidade de aumentar a quantidade de animais da maioria das espécies, com exceção dos ovinos, que seriam reduzidos (tabela 5.41). O número de caixa de abelhas também decresceria. Isso se explica pelo fato de haver restrição de mão de obra e necessidade de realocação.

Tabela 5.41 - Números de cabeças de animais e caixas de abelha no Cenário 2 (solução ótima) e Cenário 47 (número máximo de alunos no Curso Técnico em Agropecuária = 430)

Produção Animal	Cenário 2	Cenário 47	Variação (%)
Bovinos de corte - comercial	257	312	+ 21,4
Bovinos de corte - elite	37	64	+73,0
Bovinos de leite	53	58	+ 9,4
Equinos e muares	12	16	+ 33,3
Ovinos	812	523	- 35,6
Suínos	162	252	+ 55,6
Aves de corte	1.000	1.590	+ 59,0
Aves de postura em produção	200	319	+ 59,5
Caixas de abelhas	20	8	- 60,0

Nota: o Cenário 47 corresponde ao Cenário 2 com a inclusão de quatro turmas do Curso Técnico em Agropecuária (160 alunos).

Na produção agrícola também haveria realocação de recursos para atendimento da demanda pedagógica, o que ocasionaria redução das áreas de hortaliças frutos e tuberosas (tabela 5.42).

Tabela 5.42 - Culturas vegetais e áreas de plantio no Cenário 2 (solução ótima) e Cenário 47 (número máximo de alunos no Curso Técnico em Agropecuária = 430)

Produção Vegetal	Cenário 2	Cenário 47	Variação (%)
Milho (ha)	69,3	110,8	+ 59,9
Arroz (ha)	12,4	12,7	+ 2,4
Sorgo forrageiro (ha)	0	0	-
Mandioca (ha)	0,1	0,15	+ 50,0
Hortaliça folhosa (m ²)	496,5	562,7	+ 13,3
Hortaliça fruto (m ²)	3.130,0	1.862,7	- 40,5
Hortaliça tuberosa (m ²)	587,0	378,3	- 35,6
Fruta perene (m ²)	3.980,0	6.338,5	+ 59,3
Fruta semiperene (m ²)	34.903,0	39.557,28	+ 13,3
Fruta anual (m ²)	5.760,0	6.290,8	+ 9,2
Jardim (m ²)	500,0	500,0	-
Pastagem nativa -seca (ha)	280,0	428,0	+ 2,9
Pastagem nativa -águas (ha)	280,0	427,0	+ 52,5
Pastagem cultivada (ha)	1,0	1,6	+ 60,0
Pastagem irrigada (ha)	3,7	4,2	+ 13,5

Nota: o Cenário 47 corresponde ao Cenário 2 com a inclusão de quatro turmas do Curso Técnico em Agropecuária (160 alunos).

Com a adição de alunos e consequente alteração na produção animal e vegetal haveria mudança na oferta de proteínas no almoço e jantar, ou seja, o cardápio seria alterado com redução da carne de aves e inclusão de carne ovina (gráfico 5.24). A inclusão de ovos no cardápio da população permaneceria a mesma.

Gráfico 5.24 – Percentual de oferta de produtos carnes no almoço e jantar ao longo dos seis primeiros meses no Cenário 2 (solução ótima) e Cenário 47 (número máximo de alunos no Curso Técnico em Agropecuária = 430)

Nota: Utilizaram-se os seis primeiros meses por serem representativos da variação na oferta.

5.3 Resultados do processo de formação pedagógica

A primeira etapa da Formação Técnica Pedagógica foi realizada em maio de 2011 na escola-fazenda para apresentar a Programação Linear e sua aplicabilidade na agropecuária. O assunto foi inédito para todos os presentes, que se mostraram interessados em mais detalhes. Destacou-se para a equipe que a modelagem contribui na compreensão de conceitos matemáticos, possibilita o desenvolvimento de habilidades de pesquisa e experimentação e viabiliza a interdisciplinaridade (BARBOSA, 2001). Portanto, explicitou-se o potencial do uso de um modelo que represente a escola-fazenda nas práticas pedagógicas do Curso Técnico em Agropecuária. Abordou-se também a contribuição do modelo para o gerenciamento por ser ferramenta que pode auxiliar na definição das atividades agropecuárias a serem realizadas, suas quantidades e tomada de decisão sobre produzir ou comprar determinados produtos. A equipe foi receptiva ao projeto apresentado e compreendeu que sua aplicação teria potencial para auxiliar a escola-fazenda.

A segunda etapa presencial em setembro de 2011 consistiu no início de levantamento de dados necessários para a formulação do modelo. Realizou-se uma sensibilização a respeito de coleta de dados de campo e importância da sua organização. Além disso, trataram-se das questões de prioridades produtivas, produtos que não podem ser produzidos na propriedade por questões técnicas, edafoclimáticas ou ambas e culturas de baixa produtividade que não justificam sua manutenção na escola. Realizou-se uma listagem de todas as produções dos setores, a divisão das produções em grupos e identificação das relações entre os processos produtivos. Portanto, nesse momento a equipe encontrava-se na fase de compreensão elaborando hipóteses para o desenvolvimento do modelo (BIEMBENGUT, 2007b).

Com os dados obtidos no período de maio a setembro de 2011 foi possível produzir um modelo simplificado para produção de ovinos, milho e sorgo forrageiro. A partir desse modelo foi elaborado um resumo expandido “Modelo matemático para otimizar a produção de uma propriedade rural” apresentado no XV Simpósio Paranaense de Ovinocultura, III Simpósio Paranaense de Caprinocultura, III Simpósio Sul Brasileiro de Ovinos e Caprinos e publicado na revista *Synergismus Scientifica* UTFPR (BARROS et al., 2011a). Outra produção foi um resumo intitulado “Modelagem matemática como ferramenta pedagógica e gerencial” apresentado na forma oral e pôster no V Simpósio de Pós-Graduação e Pesquisa em Nutrição e Produção Animal do Departamento de Nutrição e Produção Animal da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo (BARROS et

al., 2011b). Os trabalhos também foram apresentados no II Fórum Mundial da Educação Profissional e Tecnológica que ocorreu no mês de maio de 2012 (BARROS et al., 2012).

Na terceira etapa presencial, em novembro de 2011 na escola-fazenda, foram apresentados os resultados parciais do modelo formulado seguida de análise dos dados e de resultados de estudos de sistemas integrados (GAMEIRO, 2010, 2011d). Aplicou-se um questionário aos professores e coordenadores dos setores para identificar alguns aspectos de percepção e expectativa da equipe.

O questionamento a respeito da contribuição da modelagem para a prática profissional gerou respostas com as seguintes palavras chave: discussões, reflexões, diagnóstico, maximização, melhoria no uso de recursos, escalonamento de produção, controle de custos, tomada de decisão, foco no trabalho, gestão, melhores resultados, coletar, processar, planejar, formação profissional, inserção no mercado de trabalho, aulas, atributo diferencial, sistematização, perspectiva, lucro, minimizar custo, adequar, corrigir. Observou-se que todas as respostas foram pertinentes e de acordo com a real contribuição da modelagem (tabela 5.43).

Tabela 5.43 - Respostas obtidas nos questionários aplicados à equipe escolar para a pergunta “quais questões você espera que a modelagem responda”

Resposta	Número de vezes
Número ótimo de trabalhadores	2
Variação na produtividade pelo uso de tecnologias	1
Número ótimo de máquinas	1
Culturas vegetais viáveis para serem mantidas	1
Custo de produção	1
Mudanças nos sistemas que podem melhorar os resultados	1
Melhor forma de utilizar os recursos disponíveis	1
Número de animais que deve ser mantido	1
Diagnóstico do sistema produtivo	1
Adequação da oferta e demanda de produtos	1
Uso dos resultados do modelo nas práticas pedagógicas	1

Nesse questionário havia também uma pergunta sobre as principais dificuldades que a equipe precisaria superar. Sobre a formulação do modelo apontou-se a compreensão de dados a serem levantados, cálculos a serem realizados e levantamento de preços de mercado no estado do Tocantins. Sobre o uso do modelo como ferramenta pedagógica os professores apontaram como dificuldades, fazer com que os alunos entendam a importância da coleta de dados, interpretem os resultados, tenham uma visão global e compreendam a importância dessa ferramenta para sua vida profissional. Entendeu-se que o uso dos resultados gerados

pelo modelo para análises nas aulas do Curso Técnico pode possibilitar que o aluno tenha uma visão da escola como um sistema produtivo que combina atividades de modo a alocar recursos em busca da melhor combinação possível. Ao trabalhar com dados oriundos da escola que frequenta, o assunto tem maior significado para o aluno, o que contribui para seu aprendizado e permite que após a compreensão ele transcenda para outras situações.

Para o processo de ensino e aprendizagem no Curso Técnico em Agropecuária há necessidade de animais e culturas vegetais para realização das atividades práticas. Como não foram encontradas referências na literatura ou estudos que tratam desse tema foi necessário realizar um levantamento com a equipe escolar para definir as quantidades mínimas necessárias. Para os animais foi definido um número mínimo de cabeças da categoria principal, uma vez que a partir dessa tem-se as demais no rebanho (tabela 5.44).

Tabela 5.44 - Números de cabeças de animais e caixas de abelha mínimas para o processo de ensino e aprendizagem no Curso Técnico em Agropecuária

Espécies e aptidões	Categoria principal	Número de animais/aluno
Bovinos de corte - comercial	Vacas	0,30
Bovinos de corte - elite	Vacas	0,06
Bovinos de leite	Vacas em lactação	0,03
Equinos e muares	Cavalo	0,01
Ovinos	Ovelha	0,19
Suínos	Porca matriz	0,04
Aves de corte	Pintos	3,70
Aves de postura em produção	Aves em produção	0,74
Caixas de abelhas	Caixa de abelhas	0,02

Para a produção agrícola também foram definidas áreas mínimas, bem como selecionadas as culturas essenciais para o processo de ensino e aprendizagem (tabela 5.45).

Tabela 5.45 - Culturas vegetais e áreas de plantio mínimas para o processo de ensino e aprendizagem no Curso Técnico em Agropecuária

Produção Vegetal	Área/aluno
Milho (ha)	0,26
Arroz (ha)	0,05
Mandioca (ha)	0,00
Hortaliça folhosa (m ²)	1,84
Hortaliça fruto (m ²)	11,59
Hortaliça tuberosa (m ²)	2,17
Fruta perene (m ²)	14,74
Fruta semiperene (m ²)	129,27

Fruta anual (m ²)	21,33
Pastagem nativa -seca (ha)	1,04
Pastagem nativa -águas (ha)	1,04
Pastagem cultivada (ha)	0,00
Pastagem irrigada (ha)	0,01

Definiu-se ainda, que era necessário ter variedades de frutas e hortaliças para o processo de ensino e aprendizagem. Portanto, nas áreas destinadas aos grupos de hortaliças e frutas haveria 18 e 30 variedades, respectivamente (tabelas 5.46 e 5.47). A definição dessas áreas mínimas de cultivo e número de animais foi um processo importante para elaboração das restrições pedagógicas do modelo e para repensar a demanda do Curso Técnico. Nesse momento foram feitas reflexões e algumas variedades como alho, almeirão e erva doce foram retiradas, por não serem entendidos como essenciais no processo. Portanto essas tabelas geradas a partir do saber docente do cotidiano da prática pedagógica podem ser norteadoras para escolas fazenda, devendo ser considerada a especificidade regional.

Tabela 5.46 – Áreas de cultivo mínimas (m²) de hortaliças para o processo de ensino e aprendizagem no Curso Técnico em Agropecuária

Fruta	Área de plantio (m²)
Abóbora cabutiá	10
Abóbora seca	10
Abobrinha	10
Açafrão	10
Acelga	10
Alface	10
Batata doce	10
Batata inglesa	20
Berinjela	20
Beterraba	10
Cebolinha	10
Cenoura	10
Chuchu	20
Coentro	10
Couve chinesa	10
Couve-flor	10
Couve-folha	10
Feijão vagem	20
Jiló	20
Mandioca	50
Milho verde	200
Orégano	10
Pepino	20
Pimentão	20

Quiabo	20
Repolho branco	10
Repolho roxo	10
Rúcula	10
Salsa	10
Tomate	20

Tabela 5.47 – Áreas de cultivo mínimas (m²) de frutas para o processo de ensino e aprendizagem no Curso Técnico em Agropecuária

Fruta	Área de plantio (m²)
Abacaxi	80
Abacate	1.000
Acerola	1.000
Banana prata	300
Banana da terra	300
Banana nanica	300
Banana maçã	300
Caju	300
Coco verde	200
Laranja	400
Limão	200
Mamão	160
Manga	400
Maracujá	80
Melancia	400
Melão	400
Pokan	200
Tamarindo	200

No processo de formulação do modelo foram realizadas videoconferências com a equipe escolar para esclarecimento de dúvidas e apresentação de dados coletados e organizados. Destaca-se que a coleta de dados para compor os parâmetros do modelo requer organização diferenciada daquela adotada para acompanhamento dos sistemas produtivos. Isso porque é necessário identificar valores relacionados a uma unidade de produção e não da atividade como um todo. Para exemplificar cita-se: custo variável para produção de um frango

de corte, horas de trabalho demandada por uma vaca em lactação, horas de trabalho demandada para cada operação com máquinas (colheita, tratos culturais), entre outros. Dessa forma, essa foi uma dificuldade encontrada, estabelecer os valores para cada unidade de produção a partir de informações coletadas para todo o rebanho ou para todas as culturas. Nesse aspecto pode-se perceber que foram mobilizados processos cognitivos de análise e síntese. Análise porque foi necessário decompor os conhecimentos e dados nas suas partes constituintes e estabelecer relações, síntese pelo fato de serem feitas reconstruções criando novos dados e organizações (JEREZ, 2006).

Com o modelo finalizado, realizou-se em agosto de 2012 um encontro presencial na escola-fazenda para apresentação da ferramenta e resultados obtidos aos participantes, bem como para realização de simulações criando novos cenários. A comparação do Cenário 1 com a realidade da escola-fazenda foi o ponto de partida para mostrar a aderência do modelo. Na sequência apresentou-se o Cenário 2 com a solução ótima obtida, cujos resultados causaram impacto nos participantes. Houve inquietação, reflexão e discussão dos resultados. Moreira et al. (2009) também relatou que após a formulação do modelo os resultados foram apresentados à equipe técnica da região em estudo para discussões e questionamentos sobre os parâmetros definidos, o que permite validação da ferramenta.

Aplicou-se uma avaliação para os participantes que consistiu de uma ficha com sete itens a serem avaliados, sendo que para cada deveria ser atribuído em escore de um a cinco, sendo esse representativo do maior grau de satisfação. Observou-se elevado grau de satisfação para todos os itens (tabela 5.48).

Tabela 5.48 – Resultados (média e desvio padrão) obtidos na avaliação aplicada após o encontro presencial realizado com a equipe escolar

Item avaliado	Escore
Relevância do tema na sua formação	5,0
Aplicabilidade no planejamento/gestão das atividades agropecuárias	5,0
Compreensão do objetivo da modelagem matemática	4,6 ± 0,4
Aplicabilidade na prática docente	4,6 ± 0,4
Contribuição para melhoria da qualidade do seu trabalho	4,6 ± 0,3
Motivação para dar continuidade ao estudo da modelagem	4,6 ± 0,7
Identificação de dados que precisam ser coletados/monitorados	4,3 ± 0,7

Nota: Escore atribuído de um a cinco, sendo cinco o maior grau de satisfação. A média foi obtida a partir da avaliação de seis participantes.

Neste encontro presencial foi possível perceber que a modelagem permite “dar uma forma concreta a ideias abstratas” (SAMPAIO, 2009). Mellor et al. (1994) afirmam que a

partir da modelagem com uso de computadores exploram-se conhecimentos, investigam-se relações entre objetos, formulam-se e testam-se hipóteses. Foi possível observar na prática todos esses apontamentos, os participantes mobilizaram seus conhecimentos e sua experiência profissional para sugerir a criação de situações diferenciadas na realidade da escola-fazenda, como a venda da produção, testando suas hipóteses. Nesse contexto, Johnson-Laird (1983) discorre que a modelagem permite a reconstrução de modelos mentais, e Mellar et al. (1994) afirmam que ao se confrontar com inadequações de seus modelos mentais os estudantes abrem-se para novos modelos, procuram formas alternativas de entendimento e com isso oportunizam a criação de modelos mentais alternativos.

Barbosa (2004) afirma que a modelagem desafia a ideologia da certeza e coloca lentes críticas, com isso potencializa-se a intervenção das pessoas nos debates e tomadas de decisões alargando as possibilidades de construção e consolidação de sociedades democráticas.

Segundo Groot e Rossing (2011), a modelagem de sistemas para planejamento requer atualizações de informações e parâmetros do modelo e isso exige um ciclo constante de atualização com aprendizagem contínua. Ressalta-se que os modelos auxiliam a tomada de decisão, mas necessitam da interpretação técnica ou conhecimento tácito do empreendedor (OLISZESKI, 2011). Nesse contexto, percebe-se o estímulo e a necessidade da auto formação continuada para efetivo uso do modelo.

Namem e Bornstein (2004) empregaram a modelagem para calcular dietas para humanos e afirmam que pode ser utilizada no processo de aprendizagem do estudante por se tratar de problemática próxima à realidade estimulando o uso de técnicas da Pesquisa Operacional.

Com relação à aplicação no Curso Técnico em Agropecuária, os professores envolvidos entenderam que é viável utilizar os resultados deste modelo para gerar discussões na sala de aula apontando diferentes cenários e possibilidades de mudanças nos sistemas produtivos. É possível mostrar a escola-fazenda como um todo e perceber as relações entre as atividades, a alocação de recursos e o impacto de mudanças. Portanto, os resultados em si são uma ferramenta pedagógica aplicável às aulas do Curso Técnico. Além disso, os professores podem aprimorar seus conhecimentos sobre a formulação de modelos matemáticos e com isso desenvolver estratégias para construir pequenos modelos junto aos alunos, como por exemplo, para produzir ração de mínimo custo e maximizar o lucro com determinada combinação de atividades. Essa prática com os alunos pode ser abordada em três perspectivas: construção do conhecimento, explicitação e refinamento de representações mentais sobre os conhecimentos e percepção de mundo a partir de visão dinâmica de sistemas (SAMPALIO, 2009).

Outro ponto que deve ser destacado é a identificação da necessidade de realização de alguns projetos de pesquisa para levantamento de dados que geram parâmetros do modelo. Como há intenção da equipe escolar de utilizar efetivamente o modelo formulado para as práticas pedagógicas e gerenciamento haverá necessidade de atualização conforme as alterações de mercado e do sistema produtivo. Além disso, alguns dados que foram estimados, por não ser possível sua obtenção em curto prazo, precisam ser mensurados no campo. Para isso foi proposta a estratégia de que os Trabalhos de Conclusão de Curso em 2013 sejam planejados de modo a atender essa demanda. Cada grupo ficaria responsável por coletar e sistematizar os dados dos setores produtivos para que no final do ano os parâmetros do modelo sejam atualizados, obtenham-se os resultados dos cenários e com isso o planejamento agropecuário possa ser realizado com a tomada de decisão apoiada nas indicações do modelo seguida de análises da equipe. Sendo assim, o aluno pode participar de todo o processo de planejamento e gerenciamento colaborando para o ensino e aprendizagem. Alguns projetos já foram propostos para início em 2013:

“Produção e valor nutritivo de gramíneas forrageiras na Escola de Canuanã” para identificar mensalmente o comportamento das espécies cultivadas e seu valor nutricional, uma vez que atualmente não se tem essa estimativa.

“Série histórica de preços de produtos agropecuários: diagnóstico e análise” com intuito de levantar os preços históricos nos mercados relacionados ao processo produtivo e estabelecer análises.

“Levantamento de horas-máquinas e horas-homem para realização de atividades agrícolas” para identificar a demanda de mão de obra para cada operação realizada nas culturas agrícolas.

“Rotas de transporte e capacidade estática da Escola de Canuanã” para identificar as rotas utilizadas pelos funcionários, os tempos gastos, os locais de armazenamento de alimentos e sua capacidade estocástica.

Por fim, destaca-se que com o interesse da equipe pelo modelo torna-se necessário elaborar uma interface gráfica para facilitar sua aplicação pelos usuários, além de proteger a ferramenta contra eventuais exclusões de caracteres que podem inviabilizar o processamento. A equipe entende que tanto professores, quando coordenadores dos setores e direção podem utilizar a ferramenta se essa apresentar um ambiente amigável para uso que faça *link* com o *software* GAMS, o qual processa os dados. Tal prática já foi realizada por Bispo et al. (2011) para um modelo de sequenciamento de produção de polpa de frutas.

O modelo proposto serviu como ferramenta de ensino e aprendizagem mobilizando conhecimentos, promovendo reflexões e instigando para resolução de problemas. Os objetivos propostos pela formação foram atendidos. Com a modelagem foi possível trabalhar todas as classes do domínio cognitivo: conhecimento, compreensão, aplicação, análise, síntese e julgamento. Destaca-se que foram desenvolvidas habilidades e houve interação com o domínio afetivo, uma vez que a produção de conhecimento depende de valores individuais, da lógica, da capacidade de abstração e teste de hipóteses (JEREZ, 2006).

6 CONCLUSÕES

A modelagem matemática empregada como prática pedagógica proporciona a resolução de problemas e envolve um processo coletivo de troca de experiências que constituem saberes. A transformação de sistemas reais de produção agropecuária em um conjunto de equações envolve habilidades do domínio cognitivo e afetivo. Para formular o modelo é necessária a mobilização de diversos conhecimentos, o estabelecimento de relações entre as atividades, avaliação dos dados para gerar parâmetros e a criação de equações matemáticas.

A constituição de uma equipe multidisciplinar é essencial para gerar um modelo matemático, pois é necessário o conhecimento técnico da propriedade referência, de modelagem matemática e da linguagem de programação. As discussões com a equipe exigem análise, síntese e avaliação, que são operações mentais bastante complexas, e estimulam uma postura crítico reflexiva.

Após a validação do modelo, com a elaboração de cenários há experimentação, formulação e abstração e com isso chega-se à re-elaboração de saberes que se confrontam com experiências anteriores. Sendo assim, a modelagem instiga a busca pela formação continuada, propicia a construção de novos modelos mentais e possibilita uma aprendizagem significativa com desenvolvimento de competências.

A formulação de um modelo matemático identifica dados do sistema produtivo que precisam ser coletados e cenários que podem ser estudados, o que gera demanda por pesquisas em diversas áreas do conhecimento.

Todos esses processos identificados são inerentes ao ensino e à aprendizagem, o que valida o emprego do modelo proposto como ferramenta pedagógica.

No contexto do gerenciamento, a escola-fazenda é um sistema complexo que contempla a produção de alimentos para seu próprio abastecimento e precisa viabilizar criação de animais e culturas agrícolas que permitam ao aluno desenvolver as competências para sua formação profissional. Os modelos matemáticos contribuem significativamente para o planejamento da produção em uma escola-fazenda, otimizando os recursos disponíveis.

O modelo de programação linear proposto pode ser adaptado para ser aplicado em outras escolas fazenda para o processo pedagógico e para a racionalização de recursos, contribuindo com o trabalho de gestores e técnicos, e o processo de ensino e aprendizagem para professores e alunos.

6.1 PERSPECTIVAS DE PESQUISAS FUTURAS

O modelo proposto pode ser aprimorado com a inclusão de variáveis relacionadas à logística. Possibilitar a aquisição de alimentos em quatro diferentes municípios que têm fornecedores de produtos para abastecimento da escola-fazenda é uma análise recomendada, pois a escolha do local para aquisição pode implicar em diferenças significativas de custo. Além disso, pode ser incluída a análise da logística de distribuição de insumos e alimentos dentro da escola-fazenda, que tem potencial para contribuir no processo de realocação de instalações dos setores agropecuários.

Para simplificar a modelagem da fruticultura e horticultura, que apresentam ampla variedade de produtos, optou-se pela classificação em grupos de produtos. Sendo assim, um avanço importante seria formular modelos matemáticos específicos para essas culturas, de modo a determinar quais seriam as variedades a serem produzidas para abastecimento do refeitório.

REFERÊNCIAS

ABDUL KADRI, O.; AJIBEFUNB, I. A. Developing alternative farm plans for cropping system decision making. **Agricultural Systems**, v. 56, n. 4, p. 431-442, 1998.

ACKOFF, R. L; SASIENI, M. W. **Pesquisa Operacional**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1977. 528p.

ACS, S.; BERENTSEN, P. B. M.; HUIRNE, R. B. M. Conversion to organic arable farming in the Netherlands: a dynamic linear programming analysis. **Agricultural Systems**, v. 94, p. 405–415, 2007.

AHUMADA, O; VILLALOBOS, J. R. Application of planning models in the agri-food supply chain: a review. **European Journal of Operational Research**, v. 195, p. 1-20, 2009.

ALENCAR, C. A. B.; CUNHA, F. F.; MARTINS, C. E.; CÓSER, A. C.; ROCHA, W. S. D.; ARAÚJO, R. A. S. Irrigação de pastagem: atualidade e recomendações para uso e manejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 98-108, 2009. Suplemento especial.

ALMEIDA, L. M. W.; MARTINS, N. Modelagem matemática: uma aplicação usando a merenda escolar. In: ENCONTRO NACIONAL DE EDUCAÇÃO MATEMÁTICA, 7., 2001, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 2001.

ANNETTS, J. E.; AUDSLEY, E. Multiple objective linear programming for environmental farm planning. **Journal of the Operational Research Society**, v. 53, p. 933–943, 2002.

ARAÚJO, V. M. B. M.; SILVA, L. F. R. Modelagem matemática aplicada a dietas alimentares e estudo da obesidade. **Revista Eletrônica de Educação e Ciência**, v. 2, n. 1, p. 30-43, 2012.

ARAÚJO, L. A.; CAIXETA FILHO, J. V. Fronteira de eficiência econômica sob condições de risco para empresas agrícolas do sul de Santa Catarina. **Análise Econômica**, v. 16, n. 29, p. 91-110, 1998.

AZEVEDO, E. E. S. Ensino de bioética: um desafio transdisciplinar. **Interface (Botucatu)**, v. 2, n. 2, p. 127-138, 1998.

AZEVEDO, E. S. A interdisciplinaridade na ciência. O modelo da genética. **Ciência e Cultura**, v. 1, p. 113-115, 1997.

AZEVEDO FILHO, A. J. B. V.; NEVES, E. M. Pesquisa Operacional na agricultura brasileira. In: REUNIÃO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE MATEMÁTICA APLICADA À COMPUTAÇÃO, 11., 1988, Botucatu. **Anais...** Botucatu, 1988.

AZEVEDO FILHO, A. J. B. V.; NEVES, E. M. O uso de programação matemática na análise de investimento na pecuária de corte: técnicas intensivas vs. mercado de capitais. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE PESQUISA OPERACIONAL E ENGENHARIA DE SISTEMAS, 1., 1982, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 1982.

BALM, I. R. Linear programming applications in Scottish agriculture. **Journal of the Operational Research Society**, v. 31, p. 387-392, 1980.

BARBOSA, J. C. Modelagem matemática: O que é? Por que? Como? **Veritati**, n. 4, p. 73-80, 2004.

BARBOSA, J. C. Modelagem matemática na sala de aula. **Perspectiva**, v. 27, n. 98, p. 65-74, 2003.

BARBOSA, J. C. Modelagem matemática e os futuros professores. In: REUNIÃO ANUAL DA ANPED, 25., 2002, Caxambu. **Anais...** Caxambu: ANPED, 2002.

BARBOSA, J. C. **Modelagem matemática**: concepções e experiências de futuros professores. 2001. 253f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas Rio Claro, 2001.

BARROS, C. S.; RAINERI, C.; CAMPOS, L. S. E.; FIGUEIREDO, A. L. A. G., SILVEIRA, R. N.; ALMEIDA, J. S.; RIBEIRO, R. L. C.; BRITO, D. R.; ZORKETTI, W.; SILVA, L. A. S. V.; CORTINA, E.; GAMEIRO, A. H. Programação linear como ferramenta pedagógica e gerencial na agropecuária. In: FÓRUM MUNDIAL DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA, 2., Florianópolis, 2012. **Anais...** Florianópolis, 2012.

BARROS, C. S.; RAINERI, C.; CAMPOS, L. S. E.; FIGUEIREDO, A. L. A. G. Modelo matemático para otimizar a produção de uma propriedade rural. In: SIMPÓSIO SUL BRASILEIRO DE CAPRINOS E OVINOS, 2., 2011, Pato Branco. **Anais...** Pato Branco, 2011a.

BARROS, C. S.; RAINERI, C.; SILVA, L. A. S. V.; CAMPOS, L. S.; GAMEIRO, A. H.. Modelo matemático como ferramenta para o planejamento de atividades agropecuárias e

pedagógicas. In: SIMPÓSIO DE PÓS GRADUAÇÃO E PESQUISA EM NUTRIÇÃO E PRODUÇÃO ANIMAL, 5., 2011, Pirassununga. Anais... Pirassununga, 2011b.

BARROS, C. S.; RAINERI, C.; GAMEIRO, A. H. Modelagem e simulação de sistemas de produção animal: potencialidades e desafios. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 47., 2010, Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2010.

BARROS, C. S.; MONTEIRO, A. L. G.; POLI, C. H. E. C.; FERNANDES, M. A. M.; ALMEIDA, R.; FERNANDES, S. R. Resultado econômico da produção de ovinos para carne em pasto de azevém e confinamento. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 31, p. 77-85, 2009.

BASSANEZI, R. C. **Ensino aprendizagem com modelagem matemática**: uma nova estratégia. São Paulo: Contexto, 2002.

BEASLEY, J. E. Introduction to OR. OR-Notes. 2012. Disponível em: <http://mscmga.ms.ic.ac.uk/jeb/jeb.html>. Acesso em: 23 jan. 2012.

BENEKE, R. R.; WINTERBOER, R. **Linear programming applications to agriculture**. The Iowa State University Press, 1973. 244p.

BIAGIO, M. A.; ABE, E. N.; TURNES, O. Modelo para planejamento de produção de grãos em fazenda familiar – cenários sócio-econômicos e financeiros. **Pesquisa Operacional**, v. 27, n. 3, p. 377-405, 2007.

BICHARD, M. Cost benefits of investing in animal breeding. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE MELHORAMENTO ANIMAL, 1., 1996, Ribeirão Preto. **Anais...** Viçosa: SBMA, 1996.

BICUDO, M. A. V.; BORBA, M. C. (org.). **Educação Matemática - pesquisa em movimento**. São Paulo: Cortez, 2004.

BIEMBENGUT, M. S. **Modelagem matemática & implicações no ensino e aprendizagem da matemática**. Blumenau: Ed. da Furb, 1999, 134p.

BIEMBENGUT, M. S.; HEIN, N. Modelagem matemática no ensino. São Paulo: Contexto, 2000.

BIEMBENGUT, M. S.; HEIN, N. **Modelagem matemática no ensino**. 5ª. ed. São Paulo: Contexto, 2007a.

BIEMBENGUT, M. S. Modelling and applications in primary education. In: BLUM, W.; GALBRAITH, P.; HENN, H.W.; NISS, M. **Modelling and applications in mathematics education**. New York: Springer, 2007b. p. 451-456.

BIEMBEGUT, M. S. 30 Anos de modelagem matemática na educação brasileira: das propostas primeiras às propostas atuais. **Alexandria Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v.2, n.2, p.7-32, jul. 2009.

BISPO, D. A.; JESUS, E.; JÚNIOR, A. M. O.; PACÍFICO, J. A. Desenvolvimento de interface gráfica para o sequenciamento de produção. **Scientia Plena**, v. 7, p. 084201, 2011.

BOGAHAWATTE, C. Evaluating crop-livestock-based farming systems: a village level study in the dry zone rainfed district of Sri Lanka. **Agricultural Systems**, v. 14, p.199-212, 1984.

BONESMO, H.; VIRKAJARVI, P.; YOUNG, D. Greenhouse gas emission intensities and economic efficiency in crop production: a systems analysis of 95 farms. **Ecological Modelling**, v. 232, p. 64-77, 2012.

BRANDÃO, A. R.; GIOVANONI, A. Comparação dos cardápios oferecidos em uma unidade de alimentação e nutrição do município de Teutônia com o programa de alimentação do trabalhador. **Revista Destaques Acadêmicos**, ano 3, n. 3, p. 89-94, 2011.

BRASIL. Ministério da Educação. **Parecer CNE/CEB Nº: 11/2008**. Proposta de instituição do Catálogo Nacional de Cursos Técnicos de Nível Médio. Brasília: 2008.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. **Orientações curriculares para o ensino médio. Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias**. Brasília, v. 2, 2006, 135p.

BRASIL. Senado Federal. **Decreto nº 5.154 de 23 de julho de 2004**. Brasília: 2004.

BRASIL. Conselho Nacional de Educação . **Parecer CNE/CEB nº 16 de 05 de outubro de 1999**. Diretrizes Curriculares para Educação Profissional de Nível Técnico. Brasília: 1999a.

BRASIL. Ministério da Educação. **Resolução CEB n.º 4, de 8 de dezembro de 1999**. Institui as Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação Profissional de Nível Técnico. Brasília: 1999b.

BRASIL. Ministério da Educação. **Parâmetros Curriculares Nacionais: terceiro e quarto ciclos do ensino fundamental**. Brasília: 1998.

BRASIL. Senado Federal. **Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional**: nº 9394/96. Brasília: 1996.

BRASIL. COAGRI/MEC. **O sistema escola-fazenda**. Brasília: 1984.

BRASIL. CENAFOR/MEC/DEM. **Manual da escola-fazenda**. Brasília: 1973.

BRONOWSKI, J. **Ciência e valores humanos**. São Paulo: Edusp, 1979.

BRUHN, J. G. Beyond disciplina: creating a culture for interdisciplinary research. **Integrated Physiological Behavior Science**, v. 30, n. 4, p. 331-341, 1995.

BUENO, A. R. S.; KINPARA, D. I.; CAIXETA FILHO, J. V. Development of mathematical models for Forest management: a survey. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 20., 1992, Campinas. **Anais...** Campinas, 1992, p.82-87.

BUENO, V. C.; REIS, F. S. Modelagem matemática e ensino e aprendizagem de conceitos nos ensinos fundamental e médio. In: ENCONTRO NACIONAL DE EDUCAÇÃO MATEMÁTICA, 9., 2007, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: ENEM, 2007.

BUTTERWORTH, K. Practical application of linear/integer programming in agriculture. **Journal of Operational Research Society**, v. 36, n. 2, p. 99-107, 1985.

CABRAL, W. S. **Impacto e viabilidade do uso de manejo conservacionistas na agricultura familiar no entorno do açude Eptácio Pessoa**. 2010. 94f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande. 2010.

CAIXETA FILHO, J. V. **Pesquisa operacional**: técnicas de otimização aplicadas a sistemas agroindustriais. São Paulo: Editora Atlas, 2010.

CAIXETA FILHO, J. V.; van SWAAY NETO, J. M.; WAGEMAKER, A. P. Optimization of the production planning and trade of lily flowers. **Interfaces**, v.32, n.1, p.35 - 46, 2002.

CAIXETA FILHO, J. V. **Estrutura de modelagem para programação de colheita de laranja**. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes). Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

CAMPOS, A. T.; FERREIRA, A. M.; PIRES, M. F. A. **Composição do rebanho e sua influência na produção de leite**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2001. 20p.

CARDOSO, V. C.; NOGUEIRA, J. R.; VERCESI FILHO, A. E.; EL FARO, L.; LIMA, N. C. Objetivos de seleção e valores econômicos de características de importância econômica para um sistema de produção de leite a pasto na Região Sudeste. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 2, p. 320-327, 2004.

CASEY, H. The relevance of operational research in agricultural management. **Operational Research Quarterly**, v. 28, n. 4, p. 901-908, 1977.

CEZAR, I. M. Um modelo bioeconômico de produção de bovinos de corte. 1. Descrição do modelo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 17, n. 6, p. 941-949, 1982.

CHARNES, A.W.W.; COOPER. A model for programming and sensitivity analysis in an integrated oil company. **Econometrica**, v. 24, p. 193-217, 1954.

CITYBRAZIL. **Percorrendo o Brasil de A a Z**. 2011. Disponível em: <http://www.citybrazil.com.br>. Acesso em: 30 dez. 2011.

CRISTOFOLLETTI, A. **A modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

D'AMBROSIO, U. **Etnomatemática: elo entre as tradições e a modernidade**. Belo Horizonte: Autêntica, 2005. 112p.

D'AMBROSIO, U. A matemática nas escolas. **Educação Matemática em Revista**, v. 9, n. 11A, p. 31, 2002. Edição especial.

D'AMBRÓSIO, U. **As matemáticas e seu entorno sócio-cultural**. Paris:Memorias del Primer Congreso Iberoamericano de Educación Matemática, 1991.

DAFT, R. **Administração**. 6 ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2005. 581p.

DE WIT, C. T.; VAN KEULEN, H.; SELIGMAN, N. G.; SPHARIM, I. Application of interactive multiple goal programming techniques for analysis and planning of regional agricultural development. **Agricultural Systems**, v. 26, p. 211-230, 1980.

DEPRESBITERIS, L. **Avaliação da aprendizagem: casos comentados**. Pinhais: Melo, 2011. 200p.

DETFLESEN, N. K.; JENSEN, A. L. Modeling optimal crop sequences using network flows. **Agricultural Systems**, v. 94, p. 566-572, 2007.

DOGLIOTTI, S.; ROSSING, W. A. H.; VAN ITTERSUM, M. K. Rotat, a tool for systematically generating crop rotations. **European Journal of Agronomy**, v. 19, p. 239-250, 2003.

DOGLIOTTI, S.; ROSSING, W. A. H.; VAN ITTERSUM, M. K. Systematic design and evaluation of crop rotations enhancing soil conservation, soil fertility and farm income: a case study for vegetable farms in South Uruguay. **Agricultural Systems**, v. 80, p. 277-302, 2004.

DOGLIOTTI, S.; VAN ITTERSUM, M. K.; ROSSING, W. A. H. A method for exploring sustainable development options at farm scale: a case study for vegetable farms in South Uruguay. **Agricultural Systems**, v. 86, p. 29-51, 2005.

DOSSA, D. Programação linear na gestão da propriedade rural um enfoque alternativo. **Teoria e Evidência Econômica**, v. 2, n. 4, p. 33-60, 1994.

DUCHEYENE, E. I.; WULF, R.; BAETS, B. Single versus multiple objective genetic algorithms for solving the even-flow forest management problem. **Forest Ecology and Management**, v. 201, n. 2-3, p. 259-273, 2004.

EHRlich, P. J. **Pesquisa operacional: curso introdutório**. São Paulo: Atlas, 1991.

EL-NAZER, T.; MCCARL, B. A. The choice of crop rotation: a modeling approach and case study. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 68, n. 1, p. 127-136, 1986.

FASIABEN, M. C. R.; ROMEIRO, A. R.; PERES, F. C.; MAIA, A. G. Impacto econômico da reserva legal sobre diferentes tipos de unidades de produção agropecuária. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 49, n. 4, p. 1051-1096, 2011.

FAZENDA, I. C. A. **Integração e interdisciplinaridade no ensino brasileiro: efetividade ou ideologia**. 5 ed. São Paulo: Edições Loyola, 2002. 119p.

FELICE, J.; GIORDAN, A.; SOUCHON, C. Interdisciplinary approaches to environmental education. **Environmental Education**. Paris: UNESCO - UNEP, 1985. Série n. 14.

FERREIRA, P. A. V. **Introdução à pesquisa operacional**. UNICAMP. 2011. Disponível em: <http://www.dt.fee.unicamp.br/~valente/>. Acesso em: 23 jan. 2012.

FERREIRA, J. C. E.; NUNES, J. P. C. S. Simulação de sistemas de manufatura através da internet. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO, 2., Uberlândia, 2003. **Anais...** Uberlândia: FEMEC-UFU, 2003.

FERRUZZI, E. C. **Modelagem matemática como estratégia de ensino e aprendizagem do cálculo diferencial e integral nos cursos superiores de tecnologia**. 2003. 156f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

FEUERSTEIN, R.; KLEIN, P. S; TANNENBAUM, A. J. **Mediated learning experience (mle): theoretical, psychosocial and learning implications**. Freund Publishing House Ltd., 1999.

FEUERSTEIN, R. **Instrumental enrichment: a intervention program for cognitive modifiability**. Illinois: Scott Foresman and Company, 1991.

FIDELIS, A. C.; REIS, R. P. Decisão no planejamento bianual da colheita florestal: o uso da programação inteira mista. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 39, n. 2, p. 9-26, 2001.

FRACASSO, P. T; MONTEZANI, E. Minimização de custos para refeições coletivas da USP-SP. In: CONGRESSO NACIONAL DE MATEMÁTICA APLICADA E COMPUTACIONAL, 28., 2005, São Carlos. **Anais...** São Carlos: Sociedade de Matemática Aplicada e Computacional, 2005.

FRANCHI, R. H. O. L. **A Modelagem Matemática como estratégia de aprendizagem do Cálculo Diferencial e Integral nos cursos de Engenharia**. 1993. 148f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, IGCE/UNESP, 1993.

FRANCO, M. P. **Ensino médio: desafios e reflexões**. Campinas: Papirus, 1994.

FREITAS, L. M. T. **Fazendo matemática na sala de aula: reflexão e prática.** Belo Horizonte: Editora Universidade, 2001.

FUKUMOTO, N. M.; DAMASCENO, J. C.; DERESZ, F.; MARTINS, C. E.; CÓSER, A. C.; SANTOS, G. T. Produção e composição do leite, consumo de matéria seca e taxa de lotação em pastagens de gramíneas tropicais manejadas sob lotação rotacionada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 7, p. 1548-1557, 2010.

FUNDAÇÃO BRADESCO. **Canuanã.** 2012. Disponível em: <http://www.fb.org.br/institucional>. Acesso em: 24 jan. 2012.

GAL, T. **Post optimal analyses. Parametric programming and related topics.** New York: McGraw-Hill, 1979.

GAMEIRO, A. H.; RAINERI, C.; BARROS, C. S. Modelo matemático para composição de rebanhos leiteiros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA, 21., 2011, Maceió. **Anais...** Maceió: ZOOTEC, 2011a.

GAMEIRO, A. H.; ROCCO, C. D.; CAIXETA FILHO, J. V. Modelagem matemática para planejamento da produção agropecuária com vistas à sustentabilidade: aplicação em uma propriedade leiteira de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AGROPECUÁRIA SUSTENTÁVEL (SIMBRAS), 3., 2011, Viçosa. **Anais...** Viçosa, 2011b.

GAMEIRO, A. H.; ROCCO, C. D.; CAIXETA FILHO, J. V. Modelo matemático para otimização e avaliação de unidade produtora de leite caracterizada pela integração lavoura-pecuária: consideração de parâmetros econômicos, logísticos e ambientais. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 49., 2011, Belo Horizonte. **Anais...** Brasília: SOBER, 2011c.

GAMEIRO, A. H. **Desenvolvimento de modelo matemático para otimização e avaliação de unidade produtora de leite caracterizada pela integração lavoura-pecuária: consideração de parâmetros econômicos, sociais e ambientais.** Relatório (Pós-Doutorado em Economia, Administração e Sociologia) - Universidade de São Paulo. 2011d. 105p.

GAMEIRO, A. H.; CAIXETA FILHO, J. V.; BARROS, C. S. Modelagem matemática para o planejamento, otimização e avaliação da produção agropecuária. In: **novos desafios para a pesquisa em nutrição e produção animal.** Pirassununga: Editora 5D, 2010.

GARCIA, O. Linear programming and related approaches in forest planning. **New Zealand Journal of Forestry Science**, v. 20, n. 3, p. 307-331, 1990.

GARCÍA-MARTÍNEZ, A.; BERNUÉS, A.; OLAIZOLA, A. M. Simulation of mountain cattle farming system changes under diverse agricultural policies and off-farm labour scenarios. **Livestock Science**, v. 137, p. 73-86, 2011.

GASS, S. I.; ASSAD, A. A. **An anoted timeline of operations research, an informal history**. New York: Springer Science and Business Media Inc. 2004, 213p.

GRAMSCI, A. **Os intelectuais e a organização da cultura**. Tradução: Carlos N. Coutinho. 9. ed. Rio de Janeiro, 1995. 245p.

GRRENBERG, H. J. A functional description of analyse: a computer-assisted analysis system for linear programming models. **ACM Transactions on mathematical software**, v.9, p.18-56, 1983.

GROOT, J. C. J.; OOMEN, G. J. M.; ROSSING, W. A. H. Multi-objective optimization and design of farming systems. **Agricultural Systems**, v.110, p.63-77, 2012.

GROOT, J. C. J.; ROSSING, W. A. H. Model-aided learning for adaptive management of natural resources – an evolutionary design perspective. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 2, p. 643–650, 2011.

GUTIERREZ-ALEMAN, N.; BOER, A. J.; KEHRBERG, E. W. A bio-economic model of small ruminant production in the semi-arid tropics of the Northeast region of Brazil: part 2 - linear programming applications and results. **Agricultural Systems**, v. 19, p. 159-187, 1986.

HADLEY, G. **Linear programming**. Addilson Wesley Publishing Company, 1963.

HUFF, F.; GARROLA, G. Potencial patterns conceptual and pratical issues in interdisciplinary education. **Journal of Allied Health**, v. 24, n. 4, p. 359-365, 1995.

IMENES, L. M.; LELIS, M. **Microdicionário de matemática**. São Paulo: Editora Scipione, 1998.

IRITANI, M. A. **Modelação matemática tridimensional para a proteção das captações de água subterrânea**. 1998. 200f. Tese (Doutorado em Hidrogeologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

JACOBI, P. Os Desafios da Interdisciplinaridade. A Experiência do PROCOM. **Ciência e Cultura**, v. 1, p. 118-121, 1997. Suplemento.

JANSSEN, S.; ITTERSUN, M. K. Assessing farm innovations and responses to policies: a review of bio-economic farm models. **Agricultural Systems**, v. 94, p. 622–636, 2007.

JEREZ, J. A. **Preparação pedagógica aplicada à medicina veterinária**. Jaboticabal: FUNEP, 2006. 139p.

JOHNSON-LAIRD, P. N. **Mental models**: towards a cognitive science of language, inference and consciousness. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1983.

KANGAS, J.; KANGAS, A. Multiple criteria decision support in forest management: the approach, methods, applied and experiences gained. **Forest Ecology and Management**, v. 27, p.133-143, 2005.

KANTOROVICH, L. V. Mathematical methods of organizing and planning production. **Management Science**, v. 6, n. 4, p. 366-422, 1960.

LOPES, M. V. Formação de professores: um exemplo de uso da otimização na preparação de novos professores. **Polyphonia**, v. 21, p. 497-518, 2010.

LÓSS, Z. E. **Desenvolvimento da pesquisa operacional no Brasil**. Rio de Janeiro: PTS-COPPE/UFRJ, 1981.

MACHADO, J. C.; ORTIZ, S.; VARGAS, L.; NUNES, S. P.; GNOATTO, A. A. A situação da suinocultura no sudoeste do Paraná. In: SEMINÁRIO SISTEMAS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA, 3., 2011, Dois Vizinhos. **Anais...** p. 1-5, 2011.

MACHADO, L. R. S. Organização da educação profissional e tecnológica por eixos tecnológicos. **Linhas Críticas**, v. 16, n. 30, p. 89-108, 2010.

MATTOS, J. R. L.; PEREIRA, P. C.; ALBUQUERQUE, E. C. B. S. Modelagem matemática: ambiente de aprendizagem em curso técnico de agropecuária orgânica. In: Conferência Interamericana de Educação Matemática, 13., 2011, Recife. **Anais...** Recife: CIAEM-IACME, p.1-12.

MEC. **Parâmetros Curriculares Nacionais:** terceiro e quarto ciclos do ensino fundamental. Brasília: MEC/SEF, 1998.

MEDEIROS, H. R. **Avaliação de modelos matemáticos desenvolvidos para auxiliar a tomada de decisão em sistemas de produção de ruminantes em pastagem.** 2003. 97f. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) - ESALQ, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

MEDEIROS, H. R.; GUIMARÃES, V. P.; HOLANDA JÚNIOR, E. V. The use of linear programming to evaluate the impact of credit for investments in small goat farms. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, v. 1, n. 1, p. 7-11, 2009.

MELLAR, H., BLISS, J.; BOOHAN, R.; OGBORN, J.; TOMPSETT, C. (Eds.). **Learning with Artificial Worlds: Computer Based Modelling in the Curriculum** (1. ed.). London: The Falmer Press. 1994.

MICHAELIS. **Moderno dicionário da língua portuguesa.** 7. ed. São Paulo: Editora Melhoramentos. 2010. 951p.

MILAN, P. **Modelagem matemática para a otimização da produção de cafés finos:** um estudo de caso. 2008. 111p. Dissertação (Mestrado em Ciências: Economia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

MILANEZ, E. M. **25 anos de pesquisa operacional no Brasil.** 2010. Disponível em <<http://www.unisoma.com.br/br/artigos/ArtigoORMSTodayptBr.pdf>>. Acesso em: 05 de novembro de 2011.

MONT'ALVÃO, C. R. F. **Trabalho e educação no curso técnico em agropecuária do CEFET-Januária-MG: rompendo modelos de ensino.** 2008. 72f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Educação Agrícola, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.

MOREIRA, J. N.; LOPES, G. M. B.; FRANÇA, C. A. Comparação da pecuária leiteira a cultivos anuais em áreas irrigadas utilizando-se programação linear. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 4, n. 1, p. 95-100, 2009.

MOURITS, M. C. M.; HUIRNE, R. B. M.; DIJKHUIZEN, A. A.; KRISTENSEN, A. R.; GALLIGAN, D. T. Economic optimization of dairy heifer management decisions. **Agricultural Systems**, v. 61, p. 17-31, 1999.

NAMEN, A. A.; BORNSTEIN, C. T. Uma ferramenta para avaliação de resultados de diversos modelos de otimização de dietas. **Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 3, p. 445-465, 2004.

NEVO, A.; OAD, R.; PODMORE, T. H. An integrated expert system for optimal crop planning. **Agricultural Systems**, v.45, p.73-92, 1994.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrients requeriments of dairy cattle**. Washington, D.C.: National Academy of Science, 1989.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requeriments of beef cattle**. Washington D. C.: National Academy of Science, 1996.

OHMAN, K.; LAMAS, T. Clustering of harvest activities in multi-objective long-term forest planning. **Forest Ecology and Management**, v. 176, n. 1-3, p. 161-171, 2003.

OKORUWA, V.; JABBAR, M. A.; AKINWUMI, J. A. Crop-livestock competition in the West African derived savanna: application of a multi-objective programming model. **Agricultural Systems**, v. 52, p. 439-453, 1996.

OLISZESKI, C. A. N. **Modelos de planejamento agrícola: um cenário para otimização de processos agroindustriais**. 2011. 97f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2011.

PAIVA, C. A. Demanda efetiva, exportações e desenvolvimento regional (ou Smith, Kalecki e North e os fundamentos de uma teoria geral do desenvolvimento de regiões periféricas em transição para o capitalismo). In: ENCONTRO DE ECONOMIA GAÚCHA, 2., 2004, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: PPGE: FEE, 2004. CD-ROM.

PANDEY, S.; HARDAKER, J. B. The role of modelling in the quest for sustainable farming systems. **Agricultural Systems**, v. 4, p. 439-450, 1995.

PANETTO, J. C. C.; BITTAR, E. R.; BARBOSA, E. F.; ROCHA, C. D.; VAL, J. E.; FERRAUDO, A. S.; LÔBO, R. B. Causas de variação nos preços de bovinos nelore elite no Brasil. **Ciência Rural**, v. 39, n. 1, p. 215-220, 2009.

QINGZHEN, Z.; CHANGYU, W.; ZHIMIN, Z. The application of operations research in the optimization of agricultural production. **Operations Research**, v. 39, n. 2, p. 194-205, 1991.

RAMOS, J. F.; CANESSO, P. R.; KURTEN, S.; BIESDORF, V. A didática da matemática no ensino fundamental. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE EDUCAÇÃO E COMUNICAÇÃO “SUSTENTABILIDADE”, 1., 2009, Foz do Iguaçu. **Anais...** 2009, p. 48-51.

REELING, C. J.; WEIR, A. E.; SWINTON, S. M.; HAYES, R. C. A comparative breakeven net return threshold to guide development of conservation technologies with application to perennial wheat. In: AGRICULTURAL & APPLIED ECONOMICS ASSOCIATION'S 2012 AAEA ANNUAL MEETING, Washington. **Anais...** 2012, p. 1-24.

RICHETTI, A.; SANTOS, A. C. O sistema integrado de produção de frango de corte em minas gerais: uma análise sob a ótica da ECT. **Organizações Rurais e Agroindustriais**, v. 2, n. 2, p. 34-43, 2000.

ROSSING, W. A. H.; ZANDER, P.; JOSIEN, E.; GROOT, J. C. J.; MEYER, B. C.; KNIERIM, A. Integrative modelling approaches for analysis of impact of multifunctional agriculture: a review for France, Germany and The Netherlands. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 120, p. 41-57, 2007.

ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, L. F. T.; DONZELE, J. L.; GOMES, P. C.; OLIVEIRA, R. F.; LOPES, D. C.; FERREIRA, A. S.; BARRETO, S. L. T. **Tabelas brasileiras para aves e suínos**. Viçosa, MG: UFV, 186p. 2005.

RUBEN, R.; MOLL, H.; KUYVENHOVEN, A. integrating agricultural research and policy analysis: analytical framework and policy applications for bio-economic modelling. **Agricultural Systems**, v. 58, n. 3, p. 331-349, 1998.

SABBAG, O. J.; NICODEMO, D. Viabilidade econômica para produção de mel em propriedade familiar. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 1, p. 94-101, 2011.

SADOVSKY, P. **O ensino da matemática hoje: enfoques, sentidos e desafios**. São Paulo: Ática, 2007. 112p.

SAMPAIO, F. F. A modelagem dinâmica computacional no processo de ensino-aprendizagem: algumas questões para reflexão. **Ciência em Tela**, v. 2, n. 1, p. 1-11, 2009.

SANTOS, L. M. R. **Programação de rotação de culturas: modelos e métodos de solução**. 2009. 95f. Tese (Doutorado em Ciências da Computação e Matemática Computacional) - Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

SAÑUDO, C.; ALFONSO, M.; SAN JULIAN, R.; THORKELSSON, G.; VALDIMARSDOTTIR, T.; ZYGOYIANNIS, D.; STAMATARIA, C.; PIASENTIER, E.; MILLS, C.; BERGE, P.; DRANSFIELD, E.; NUTE, G. R.; ENSER, M.; FISHER, A. V. Regional variation in the hedonic evaluation of lamb meat from diverse production systems by consumers in six European countries. **Meat Science**, v. 75, p. 610-621, 2007.

SANTOS, L. M. R. **Programação de rotação de culturas: modelos e métodos de solução**. 2009. 86f. Tese (Doutorado em Ciências de Computação e Matemática Computacional) - Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, 2009.

SARGENT, E. D. The impact of operational research on agriculture. **Journal of the Operational Research Society**, v. 31, p. 477-483, 1980.

SCHELLER, M. **Modelagem matemática na iniciação científica**: contribuições para o ensino médio técnico. 2009. 228f. Dissertação (Mestrado) do Programa de Pós Graduação em Ensino da matemática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

SEPLAN. SECRETARIA DE ESTADO DE PLANEJAMENTO DO TOCANTINS. **Potencialidade de uso da terra**. Disponível em: <<http://www.seplan.df.gov.br/>> Acesso em: 10 nov. 2011.

SENTHILKUMAR, K.; LUBBERS, M. T. M. H.; DE RIDDER, N.; BINDRABAN, P. S.; THIYAGARAJAN, T. M.; GILLER, K. E. Policies to support economic and environmental goals at farm and regional scales: outcomes for rice farmers in Southern India depend on their resource endowment. **Agricultural Systems**, v. 104, p. 82-93, 2011.

SHIRLEY, L. Matemática do século XX: o século em breve. **Revista Educação e Matemática**, v. 60, p. 73-78, 2000.

SILVA, D. J. O paradigma transdisciplinar: uma perspectiva metodológica para a pesquisa ambiental. In: WORKSHOP SOBRE INTERDISCIPLINARIDADE, 1., 1999. **Anais...** São José dos Campos: CETRANS, 1999.

SILVA NETO, B.; OLIVEIRA, A. **Modelagem e planejamento de sistemas de produção agropecuária**: manual de aplicação da programação matemática. Ijuí: Unijuí, 2009. 288p.

SILVA NETO, B.; RETZLAFF, E. Otimização sob incerteza de sistemas de produção: Interação lavoura-pecuária, com ênfase em bovinocultura de leite. **Ciência Rural**, v. 34, n. 4, p. 1207-1212, 2004.

SILVA, H. A.; KOEHLER, H. S.; MORAES, A.; GUIMARÃES, V. A.; HACKI, E.; CARVALHO, P. C. F. Análise da viabilidade econômica da produção de leite a pasto e com suplementos na região dos Campos Gerais – Paraná. **Ciência Rural**, v. 38, n. 2, p. 445-450, 2008.

SKOVSMOSE, O. Cenários para investigação. **Bolema**, ano 13, p. 66-91, 2000.

SMITH, A. **A riqueza das nações**: investigação sobre sua natureza e suas causas. São Paulo: Abril Cultural, 1982.

SOARES, R. D. **A concepção gramsciana do estado e o debate sobre a escola**. Ijuí, Ed. UNIJUÍ, 2000. 488 p.

SOBRAPO – SOCIEDADE BRASILEIRA DE PESQUISA OPERACIONAL. **Pesquisa Operacional**. 2010. Disponível em: http://www.sobrapo.org.br/o_que_e_po.php. Acesso em: nov. 2011.

SOUZA, J. R. **Análise das condições de ensino/aprendizagem decorrentes da implementação da reforma da Educação profissional no Curso Técnico em Agropecuária do CEFET de Uberaba-MG**. 2005. 71f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Programa de Pós Graduação em Educação Agrícola, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

TATIZANA, S. A. **Um modelo conceitual de simulação da produção de gado de corte**. 1995. 95f. Dissertação (Mestrado) - ESALQ, Universidade de São Paulo. 1995.

TAVARES, F. Dificuldades reveladas por alunos em contextos de aplicação ou modelagem matemática. **Milenium**, v. 17, p. 1-14, 2000.

TONIELLO, B. L.; CAIXETA FILHO, J. V. Utilização de programação linear para planejamento agrícola em propriedade da região Centro-Oeste. **Informe GEP/DESR**, v. 5, n. 3, p. 1-7, mar. 1992.

TUPY, O.; YAMAGUCHI, L. C. T. Identificando benchmarking na produção de leite. *Revista da Sociedade*, v. 40, n. 1, p. 81-96, 2002.

VALÉRIO, L. Didática da matemática. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE EDUCAÇÃO E COMUNICAÇÃO “SUSTENTABILIDADE”, 1., 2009, Foz do Iguaçu. **Anais...** p. 92-97, 2009.

VARELA, J. L.; CARVALHO, M. L. S. Impactos da aplicação de uma política de preço da água no regadio em Portugal: o caso da Lezíria do Tejo. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 32, n. 2, p. 231-244, 2009.

WILLER, E. M.; ALVES, L. R.; STADUTO, J. A. R.; GERMANN, C. Análise da concentração dos setores de criação, de abate e de processamento da carne de suínos no oeste do Paraná. **RACE Unoesc**, v. 11, n. 1, , p. 103-130, 2012. Edição Especial Agronegócios.

WOSSINK, G. A.; DE KOEIJER, T. J.; RENKEMA, J. A. Environmental-economic policy assessment: a farm economic approach. **Agricultural Systems**, v. 39, p. 421-438, 1992.

YATES, C. N.; REHMAN, T. A linear programming formulation of the markovian decision process approach to modelling the dairy replacement problem. **Agricultural Systems**, v. 58, n.2, p. 185-201, 1998.

YBARRA, L. A. C . A programação linear e o processo de decisão. **Centro Universitário Nove de Julho**. 2011. Disponível em: <http://www.ecnsoft.net/wp-content/>. Acesso em: 10 fev 2012.

ZILLI, J. B. **Os fatores determinantes para a eficiência econômica dos produtores de frango de corte: uma análise estocástica**. 2003. 154f. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2003.

ZINGORE, S.; GONZÁLEZ-ESTRADA, E.; DELVE, R. J.; HERRERO, M.; DIMES, J. P.; GILLER, K. E. An integrated evaluation of strategies for enhancing productivity and profitability of resource-constrained smallholder farms in Zimbabwe. **Agricultural Systems**, v. 101, p. 57-68, 2009.

WHITE, D. S.; LABARTA, R. A.; LEGUÍA, E. J. Technology adoption by resource-poor farmers: considering the implications of peak-season labor costs. **Agricultural Systems**, v. 85, p. 183-201, 2005.

APÊNDICE A - Descrição dos elementos dos conjuntos para o modelo proposto

t: meses (36):

1,...,36.

a: animais (80):

Bovinos do rebanho comercial: bezerra, bezerra para venda, bezerro, bezerro para venda, novilha, novilha para venda, novilho, novilho para venda, vaca, vaca comprada no mercado para engorda, vaca descarte, boi para abate, boi para venda.

Bovinos do rebanho elite: bezerra, bezerra para venda, bezerro, bezerro para venda, novilha, novilha para venda, novilho, novilho para venda, vaca, vaca descarte, boi, boi para venda.

Bovinos do rebanho leiteiro: bezerra, bezerra para venda, bezerro, bezerro para venda, novilha, novilha para venda, vaca em lactação no sistema convencional, vaca em lactação no sistema intensivo, vaca seca, vaca descarte.

Ovinos de corte: cordeira, cordeira para venda, cordeiro, cordeiro para venda, borrega, borrega para venda, borrego, borrego para venda, ovelha, carneiro, ovelha descarte.

Suínos: leitões machos e fêmeas, machos suínos na fase inicial, machos suínos na fase de crescimento, machos suínos na fase de terminação, machos suínos terminados para venda, reprodutor suíno, reprodutor suíno para venda, fêmeas suínas na fase inicial, fêmeas suínas na fase de crescimento, fêmeas suínas na fase de terminação, fêmeas suínas terminadas para venda, marrã, marrã comprada no mercado, marrã para venda, matriz suína na fase pré-cobertura, matriz suína gestante, matriz suína em lactação, matriz suína vazia, matriz suína descarte.

Aves de corte: ave de corte na fase inicial, ave de corte na fase de crescimento, ave de corte na fase de terminação.

Aves de postura: ave de postura na fase inicial, ave de postura na fase de crescimento, ave de postura na fase de produção, ave postura descarte.

Equídeos: equinos machos adultos para trabalho, cavalo descarte, fêmea equina em idade de reprodução, fêmea equina em idade de reprodução para descarte, macho equino jovem, fêmea equina jovem, muar.

Abelhas: caixa de abelha.

c: vegetais (16):

Sorgo forrageiro, milho forrageiro, milho grão, soja, arroz, mandioca, frutas perenes, frutas semiperenes, frutas anuais, hortaliças folhosas, hortaliças tipo frutos, hortaliças tuberosas, pastagem nativa no período da seca, pastagem nativa no período das águas, pastagem cultivada, pastagem irrigada.

j: atividades de jardinagem (2):
construção, manutenção

g: alimentos para animais (25):
pastagem nativa no período da seca, pastagem nativa no período das águas, pastagem cultivada, pastagem irrigada, silagem de sorgo, silagem de milho, farelo de soja, grão de milho, quirera de milho, farelo de arroz, quirera de arroz, sal comum, calcário calcítico, água, fosfato bicálcico, núcleo para bovinos, sal mineral bovino, núcleo para equinos, núcleo para aves de corte na fase inicial, núcleo para aves de corte na fase crescimento, núcleo para aves de corte na fase terminação, núcleo para aves de postura na fase inicial, núcleo para aves de postura na fase crescimento, núcleo para aves de postura na fase de produção, sal mineral ovinos

r: nutrientes para animais (6):
matéria seca, proteína bruta, energia metabolizável, cálcio, fósforo, água

m: máquinas agrícolas (4):
trator leve, trator pesado, trator de carga, colheitadeira

h: alimentos para pessoas:

Subíndices de alimentos para pessoas:

p(h):

proteínas (6): carne bovina, carne ovina, carne suína, carne de aves, peixe, ovos

i(h): carboidratos (5):

massa, batata, mandioca, feijão, arroz

l(h): lácteos (7):

leite pasteurizado, iogurte, doce de leite, queijo, sorvete, picolé, geladinho

$f(h)$: frutas (3):

fruta perene, fruta semiperene, fruta anual

$o(h)$: hortaliças (3):

folhosa, fruto, tuberosa

$s(h)$: sobremesas (11):

doce de leite, queijo, sorvete, picolé, geladinho, fruta perene, fruta semiperene, fruta anual, doce de fruta perene, doce de fruta semiperene, doce de fruta anual

$d(h)$: panificados (2):

bolo, biscoito

APÊNDICE B – Equações para determinar a composição do rebanho

Diante da necessidade de definir a composição do rebanho das diferentes espécies na escola fazenda gerou-se um sistema de equações para correlacionar o número de animais das categorias considerando os principais índices zootécnicos de reprodução.

Partiu-se do princípio que os rebanhos estavam estabilizados, portanto, sem variação no número médio de animais por categoria ao longo do tempo.

Para cada espécie animal definiu-se uma variável central, a partir da qual as demais variáveis passam a ser definidas. As equações foram resolvidas e obteve-se a composição do rebanho por categorias, sendo o resultado expresso em percentual a partir da categoria principal (variável central).

1 Bovinocultura de corte – rebanho comercial

Para compor o modelo que represente a dinâmica de um rebanho bovino para corte utilizou-se como variável principal o número de vacas (fêmeas matrizes) representado por *BCV*. As demais variáveis foram definidas em sua função.

Têm-se duas categorias animais que são as multiplicadoras do rebanho: vacas de corte (*BCV*) e novilhas que terão o primeiro parto (*BCN*). O número de novilhas de corte, animais jovens que permanecerão na propriedade e serão cobertas no ano corrente, *BCN*, também pode ser expresso como uma função do número de vacas de corte da propriedade, uma vez que tem o objetivo de reposição dos animais produtivos. Dessa forma, será uma porcentagem em razão da taxa de reposição desejada:

$$BCN = BCV \times trc$$

A taxa de reposição, *trc*, é um indicador central do modelo. Seu valor deve ser estimado de modo a manter o rebanho em equilíbrio, ou seja, devem ser repostas as vacas falhadas que não engravidaram e foram descartadas e as vacas que morreram. Essa taxa de reposição aproxima-se do inverso da idade de descarte das vacas de corte.

O próximo passo referiu-se à geração de animais a partir das categorias multiplicadoras. Para tanto, alguns indicadores zootécnicos foram necessários. Esses indicadores foram tratados em termos percentuais (taxas). São eles: taxa de mortalidade de bezerros de corte (*tmb*); taxa de mortalidade das vacas de corte (*tmv*); taxa de prenhez de novilhas de corte (*tpn*); taxa de prenhez de vacas de corte (*tpv*); taxa de prenhez de novilhas de corte com um repasse adicional na inseminação (*tnr*); taxa de prenhez de vacas de corte com um repasse adicional na inseminação (*tvr*); taxa de natalidade de novilhas (*tnn*) e taxa de natalidade de vacas (*tnv*).

A relação entre *TPN* e *TNR* foi dada pela seguinte expressão:

$tnr = 2tpn - tpn^2$. A partir dessas taxas reprodutivas e de mortalidade, obteve-se a:

- taxa média de geração de bezerras a partir de novilhas (*tgn*);
- a taxa média de geração de bezerras a partir de vacas (*tg_v*);
- a taxa média de geração de bezerros a partir de novilhas (*tmn*);
- a taxa média de geração de bezerros a partir de vacas (*tgb*).

Entende-se que a separação entre novilhas e vacas é relevante porque os índices zootécnicos reprodutivos são diferentes para as categorias. As taxas médias de geração para machos e fêmeas são iguais, uma vez que se considera a proporção de nascimentos de 50% para cada sexo. Assim, as taxas médias de geração são as seguintes:

$$tgn = (1 - tmb) \times tnr \times tnn \times 0,5;$$

$$tg_v = (1 - tmb) \times tvr \times tnv;$$

$$tmn = tgn;$$

$$tgb = tg_v.$$

De posse das taxas médias de geração e do número de matrizes pôde-se calcular o número de animais nascidos. O número total de bezerras e bezerros esperados para nascimento na estação corrente foi dado, respectivamente, por:

$$BCB = [(BCV - BCN) \times tg_v] + (BCN \times tgn).$$

$$BCO = [(BCV - BCN) \times tgb] + BCN \times tmn.$$

Foram calculadas as quantidades de animais que devem ser mantidos no rebanho para a próxima estação ou descartados/comercializados. O número de vacas de corte e novilhas de corte falhadas (que não ficaram prenhes mesmo após o repasse do serviço de inseminação) é dado por:

$$BCF = BCV \times (1 - tvr) + BCN \times (1 - tnr)$$

Esses animais podem ser descartados do rebanho, gerando renda com sua comercialização. Há que se considerar, também, a mortalidade das matrizes, o que origina o número de animais reprodutores mortos:

$$BCM = (BCV + BCN) \times tmv$$

A soma da quantidade de animais a serem descartados com a quantidade estimada dos animais mortos, resulta em um importante indicador: o número de matrizes a serem repostas:

$$NRM = BCM + BCF$$

Para que o rebanho possa manter o equilíbrio, é necessário que o número de novilhas a entrarem em produção aproxime-se do número de matrizes a serem repostas. Matematicamente, espera-se que: $BCN \cong NRM$. Esta aproximação poderá ser alcançada por meio da definição de uma determinada taxa de reposição de matrizes (escolha do valor de trc).

Finalmente, foi possível calcular o destino dos (as) bezerros (as) produzidos (as) na propriedade. Para se garantir um suprimento adequado de bezerras que serão as futuras novilhas a tornarem-se matrizes, o seu número deve ser tal que permita esta substituição descontando-se a mortalidade estimada. Em outras palavras, o número de bezerras a serem mantidas no rebanho para a produção de bezerra (BCB) pode ser calculado da seguinte maneira: $BCB = BCN / (1 - tmb)$.

É importante que se considere a possibilidade de algumas bezerras ou bezerros machos possam ser criados para a venda. Assim, sugere-se que seja separado o rebanho de produção de carne para abate e consumo do rebanho para a produção de animais para comercialização. Portanto, o número de bezerras a ser vendido será definido pela diferença entre o total de bezerras gerado, o número de bezerras que será mantido no rebanho (para

originar novilhas de produção) e o número de bezerras que serão criadas para comercialização como novilhas:

$$BCA = BCB - BCR - BBA$$

O número de novilhas criadas para comercialização será originado a partir das bezerras mantidas para este fim:

$$BBN = BBA$$

Em relação aos bezerros machos (BCO), a propriedade pode optar por criá-los para terminação e abate ou vendê-los (BCV). Em outras palavras, o número de bezerros machos disponibilizados para venda será igual ao número total de bezerros machos nascidos menos o número de bezerros machos que serão criados para terminação e abate.

$$BCV = BCO - BBC$$

2 Bovinocultura de corte – rebanho de elite

O modelo utilizado para gerar a composição do rebanho de elite foi semelhante ao utilizado para o rebanho comercial. Alteraram-se os índices zootécnicos e incluiu-se a venda de novinhos.

3 Bovinocultura de leite

Para elaborar um modelo que represente a dinâmica de rebanho para a atividade de bovinocultura leiteira definiu-se como variável central o número de vacas em lactação. A partir desta, as demais variáveis passaram a ser definidas em sua função.

Definiu-se que (BLA) é o número recomendado ou desejado de vacas em lactação em um determinado momento t e (BSE) é o número de vacas secas. Este será uma percentagem do número de vacas em lactação, e pode ser definido em função da razão entre o número de

meses que a vaca está seca (msc) e o número de meses que está em lactação (msl). A soma de msc e msl deve totalizar, necessariamente, 12 meses (um ano). Sendo assim, tem-se que:

$$BLA = ((BLA + BSE) \times (msl/12))$$

$$BSE = ((BLA + BSE) \times (msc/12))$$

Então se deduz que:

$$BSE = BLA \times (msc/msl)$$

Têm-se as três categorias animais que são as multiplicadoras do rebanho: vacas em lactação (BLA), vacas secas (BSE) e novilhas que terão o primeiro parto (BLN).

O número de novilhas (animais jovens) que deverão permanecer no rebanho para serem cobertas e entrarem em produção de leite no ano corrente, NVL , também pode ser expresso como uma função do número de vacas na propriedade, uma vez que tem o objetivo de reposição dos animais produtivos. Dessa forma, será uma percentagem em razão da taxa de reposição desejada: $BLN = (BSE + BLA) \times txr$.

A taxa de reposição, TXR , é um indicador central do modelo em percentual. Seu valor poderá ser estimado de modo a manter o rebanho em equilíbrio, ou seja, devem ser repostas as vacas falhadas que não engravidaram e as vacas que morreram. A taxa de reposição das vacas aproxima-se do inverso da sua idade de descarte.

O próximo passo refere-se à geração de animais a partir das categorias multiplicadoras. Para tanto, alguns indicadores zootécnicos são necessários. Esses indicadores serão tratados em termos percentuais (taxas). São eles: taxa de mortalidade de bezerros (txb); taxa de mortalidade das vacas (txv); taxa de prenhez de novilhas (txp); taxa de prenhez de vacas (tpv); taxa de prenhez de novilhas com um repasse adicional na inseminação/cobertura (txn); taxa de prenhez de vacas com um repasse adicional na inseminação/cobertura (trv), taxa de natalidade das novilhas (atn) e taxa de natalidade das vacas (atv).

A relação entre txp e txn é dada pela seguinte expressão: $txn = 2 \, txp - txp^2$. A partir dessas taxas reprodutivas e de mortalidade, pode-se obter a taxa média de geração de bezerras a partir de novilhas (bfn), a taxa média de geração de bezerras a partir de vacas (bfv), a taxa média de geração de bezerros a partir de novilhas (bmn) e a taxa média de geração de bezerros a partir de vacas (bmv). Entende-se que a separação entre novilhas e vacas é relevante porque os índices zootécnicos reprodutivos são diferentes para as categorias. As taxas médias de

geração para machos e fêmeas são iguais, uma vez que se considera a proporção de nascimentos de 50% para cada sexo. Assim, as taxas médias de geração seriam as seguintes:

$$bfn = (1 - txb) \times txn \times atn \times 0,5;$$

$$bfv = (1 - txb) \times txn \times atv \times 0,5;$$

$$bmn = bfn;$$

$$bmv = bfv.$$

No caso da propriedade optar por utilizar o sêmen sexado com intuito de aumentar o número de nascimentos de fêmeas, há necessidade de incorporar nas equações a taxa de eficiência no uso de sêmen sexado ou probabilidade de nascimento de fêmea (*nse*). Dessa forma gera-se a taxa média de geração de bezerras a partir de novilhas inseminadas com sêmen sexado (*nsx*), a taxa média de geração de bezerras a partir de vacas inseminadas com sêmen sexado (*vsx*), a taxa média de geração de bezerros a partir de novilhas inseminadas com sêmen sexado (*fsx*) e a taxa média de geração de bezerros a partir de vacas inseminadas com sêmen sexado (*msx*). Apresentam-se abaixo as equações a serem utilizadas para fazer a simulação dos resultados a serem obtidos caso seja empregada essa tecnologia. O valor de *nse* pode ser estimado com base nos dados relatados na literatura disponível, caso não se utilize essa tecnologia na propriedade.

$$nsx = (1 - txb) \times txn \times atn \times nse;$$

$$vsx = (1 - txb) \times txn \times trv \times nse;$$

$$fsx = (1 - txb) \times trv \times atn \times (1 - nse);$$

$$msx = (1 - txb) \times trv \times atv \times (1 - nse).$$

De posse das taxas médias de geração e do número de matrizes pode-se calcular o número de animais nascidos. Ressalta-se que a taxa média de geração de bezerros pode ser considerada com ou sem uso de sêmen sexado, deve-se escolher uma das opções, que pode ser diferente para as categorias, como por exemplo, utilizar sêmen sexado somente para as novilhas. O número total de bezerras e bezerros esperados para nascimento na estação corrente é dado, respectivamente, por:

$$BLB = (BLA + BSE - BLN) \times bfv + BLN \times BFN$$

$$BLO = (BLA + BSE - BLN) \times bmv + BLN \times BMN$$

Devem ser calculadas as quantidades de animais que serão mantidos no rebanho para a próxima estação ou descartados/comercializados. O número de vacas e novilhas falhadas (que não ficaram prenhes mesmo após o repasse do serviço de inseminação/cobertura) é dado por:

$$BAL = (BLA + BSE - BLN) \times (1 - trv) + BLN \times (1 - txn)$$

Esses animais podem ser descartados do rebanho, gerando renda com sua comercialização. Há que se considerar, também, a mortalidade das matrizes, o que origina o número de animais reprodutores mortos:

$$bcd = (bla + bse + bln) \times TXV$$

A soma da quantidade de animais a serem descartados com a quantidade estimada dos animais mortos, resulta em um importante indicador: o número de matrizes a serem repostas: $nrp = bcd + mta$. Para que o rebanho possa manter o equilíbrio, é necessário que o número de novilhas a entrarem em produção aproxime-se do número de matrizes a serem repostas. Matematicamente, espera-se que: $bln \cong nrp$. Esta aproximação poderá ser alcançada por meio da definição de uma determinada taxa de reposição de matrizes (escolha do valor de TXR).

É importante que se considere a possibilidade de algumas bezerras ou bezerros machos, que não serão aproveitados pelo rebanho leiteiro, possam ser criados para a venda de novilhas ou tourinhos. Assim, sugere-se que seja separado o rebanho de produção de leite, doravante denominado “rebanho leiteiro”, do rebanho para a produção de animais para comercialização, denominado “rebanho de comercialização”. Portanto, o número de bezerras a ser descartado será definido pela diferença entre o total de bezerras gerado, o número de bezerras que será mantido no rebanho (para originar novilhas de produção) e o número de bezerras que serão criadas para comercialização como novilhas: $bzb = blz - fpr - com$

O número de novilhas criadas para comercialização será originado a partir das bezerras mantidas para este fim: $nom = com$.

Finalmente, pode-se calcular o destino dos (as) bezerros (as) produzidos (as) na propriedade. Para se garantir um suprimento adequado de bezerras que serão as futuras novilhas a tornarem-se matrizes, o seu número deve ser tal que permita esta substituição descontando-se a mortalidade estimada. Em outras palavras, o número de bezerras a serem mantidas no rebanho para a produção de leite (FPR) pode ser calculado da seguinte maneira: $FPR = BLN / (1 - txb)$. Em relação aos bezerros machos, a propriedade pode optar por descartá-los, criá-los para a venda de tourinhos ou mantê-los no rebanho, caso trabalhe com monta natural: $MCO = BZR - REB$. Em outras palavras, o número de bezerros machos descartados será igual ao número total de bezerros machos nascidos menos o número de bezerros machos que serão criados para comercialização como tourinhos. O número de tourinhos criados para comercialização será originado a partir dos bezerros mantidos para este fim: $TOM = REB$.

4 Ovinocultura de corte

Para elaborar um modelo que represente a dinâmica de um rebanho ovino para corte utilizou-se como variável principal o número de ovelhas (fêmeas matrizes) representado por *lha*. As demais variáveis foram definidas em sua função.

Têm-se duas categorias animais que são as multiplicadoras do rebanho: ovelhas (*lha*) e borregas que terão o primeiro parto (*ega*). O número de borregas, animais jovens que permanecerão na propriedade e serão cobertas no ano corrente, *ega*, também pode ser expresso como uma função do número de ovelhas na propriedade, uma vez que tem o objetivo de reposição dos animais produtivos. Dessa forma, será uma percentagem em razão da taxa de reposição desejada:

$$ega = lha \times POS$$

A taxa de reposição, *POS*, é um indicador central do modelo. Seu valor foi estimado de modo a manter o rebanho em equilíbrio, ou seja, devem ser repostas as ovelhas que foram descartadas pela idade ou falhadas que não emprenharam e as ovelhas e borregas que morreram.

O próximo passo refere-se à geração de animais a partir das categorias multiplicadoras com base nos indicadores zootécnicos utilizados em termos percentuais (taxas). São eles: taxa de mortalidade de cordeiros(as) (*ORD*); taxa de mortalidade das ovelhas e borregas (*ROV*); taxa de prenhez de borregas (*BOR*); taxa de prenhez de ovelhas (*NOV*); taxa de prenhez de borregas com um repasse adicional na cobertura (*ASB*); taxa de prenhez de ovelhas com um repasse adicional na cobertura (*SOV*); taxa de natalidade das borregas (*ATB*); taxa de natalidade das ovelhas (*TOV*); número de cordeiros(as) nascidos por borrega (*SCB*); número de cordeiros(as) nascidos por ovelha (*ASC*).

A relação entre *BOR* e *ASB* é dada pela seguinte expressão:

$ASB = 2BOR - BOR^2$. A partir dessas taxas reprodutivas e de mortalidade, pode-se obter a taxa média de geração de cordeiras a partir de borregas (*CFB*), a taxa média de geração de cordeiras a partir de ovelhas (*FOV*), a taxa média de geração de cordeiros a partir de borregas (*CMB*) e a taxa média de geração de cordeiros a partir de ovelhas (*MOV*). Entende-se que a separação entre borregas e ovelhas é relevante porque se observa, em diversas propriedades, que há diferenças nas taxas para cada uma das categorias. As taxas

médias de geração para cordeiros machos e fêmeas são iguais, uma vez que se considera a proporção de nascimentos de 50% para cada sexo. Assim, as taxas médias de geração seriam as seguintes:

$$CFB = (1 - ORD) \times (1 - ATB) \times ASB \times SCB \times 0,5;$$

$$FOV = (1 - ORD) \times (1 - TOV) \times SOV \times ASC \times 0,5;$$

$$CMB = CFB;$$

$$MOV = FOV;$$

De posse das taxas médias de geração e do número de matrizes pode-se calcular o número de animais nascidos. O número total de cordeiros e cordeiras esperados para nascimento na estação corrente é dado, respectivamente, por:

$$ira = [(lha - ega) \times FOV] + (ega \times CFB);$$

e

$$iro = [(lha - ega) \times MOV] + (ega \times CMB).$$

Com a obtenção do número de cordeiros(as) gerados deve-se determinar seu destino. É necessário garantir um suprimento adequado de cordeiras que serão as futuras borregas e ovelhas, pois essas precisam repor as matrizes falhadas e as que morreram.

Deve ser calculada a quantidade de animais que serão mantidos no rebanho para a próxima estação ou descartados/comercializados. O número de ovelhas e borregas falhadas (que não ficaram prenhes mesmo após o repasse do serviço de cobertura) é dado por:

$$lhd = [lha \times 1 - SOV] + [ega \times (1 - ASB)]$$

Esses animais podem ser descartados do rebanho, gerando renda com sua comercialização.

Há que se considerar, também, a mortalidade das matrizes, o que origina o número de animais reprodutores mortos: $omt = (lha + ega) \times ROV$

A soma da quantidade de animais a serem descartados por não empregarem ou por atingirem a idade de descarte com a quantidade estimada dos animais mortos, resulta em um importante indicador: o número de matrizes a serem repostas:

$$nmp = ovf + ovd + ovm$$

Para que o rebanho possa manter o equilíbrio, é necessário que o número de borregas a entrarem em produção aproxime-se do número de matrizes a serem repostas. Matematicamente, espera-se que: $ega \cong nmp$. Esta aproximação poderá ser alcançada por

meio da definição de uma determinada taxa de reposição de matrizes (escolha do valor de *POS*).

Em relação aos cordeiros machos, a propriedade pode criá-los para o abate, para a venda de borregos para reprodução ou mantê-los no rebanho, caso trabalhe com monta natural. O número de borregos criados para comercialização será originado a partir dos cordeiros mantidos para este fim: $bcc = ccc$.

O número de cordeiros(as) para abate será igual ao número total de cordeiros(as) nascidos ($iro + ira$) menos o número de cordeiros criados para comercialização como borregos *nda*, o número de cordeiros criados para serem reprodutores na propriedade (*orr*), o número de borregas para reposição das matrizes *ega*. Dessa forma tem-se que:

$$oca = iro + ira - nda + orr - ega$$

5 Suínos

A variável principal para elaborar o modelo que determina a composição do plantel de suínos foi o número de porcas gestantes (*GES*). As demais variáveis (categorias animais) foram definidas em sua função.

Partiu-se do princípio que as matrizes passam por um ciclo de pré-cobertura, gestação, lactação e também podem estar vazias, portanto tem-se que:

$$RCA = COB + GES + LAC + ZIA$$

Têm-se duas categorias animais que são as multiplicadoras do rebanho: porcas vazias (*ZIA*) e marrãs que terão sua primeira cobertura. Estas podem ser originárias da propriedade ou compradas no mercado (*PRA*), e geram o número total de marrãs (*RRA*). Há necessidade de definir um percentual de marrãs a serem compradas *txa*, portanto tem-se a seguinte expressão:

$$PRA = txa \times RRA$$

O número de marrãs foi estimado de modo a manter o rebanho em equilíbrio, ou seja, devem ser repostas as porcas que foram descartadas pela idade ou falhadas (*DES*) e as que morreram (*RTA*). Portanto, o número de matrizes a serem repostas é $rra = rta + des$; que pode ser expressa em função do número de porcas:

$$RRA = (RCA \times tmc) + (RCA \times tdc)$$

O próximo passo foi gerar as demais categorias a partir dos indicadores zootécnicos utilizados em termos percentuais (taxas). São eles: taxa de mortalidade de leitões (*oes*); taxa de mortalidade na fase inicial *ial*, taxa de mortalidade na fase de crescimento *esc*, taxa de mortalidade na fase de terminação *erm*, taxa de mortalidade de porcas (*tmc*); taxa de natalidade das porcas (*tnp*); número de leitões nascidos por porca (*tsp*) e número de partos por porca por ano *npp*.

O número de leitões nascidos foi determinado por:

$$oes = GES \times tnp \times tsp$$

Na sequência foram determinadas as demais categorias originárias dos leitões procedendo-se a divisão de machos e fêmeas conforme as equações:

$$sul = tao \times (1 - OES) \times 0,5$$

$$nto = sul \times (1 - IAL)$$

$$sto = nto \times (1 - ESC)$$

Para as fêmeas é possível ainda definir um percentual de na fase de crescimento que podem ser futuras marrãs para reposição *REP* na propriedade ou venda *TMV*. Sendo assim tem-se:

$$sul = tao \times (1 - OES) \times 0,5$$

$$nto = sul \times (1 - IAL)$$

$$sft = [nto \times (1 - ESC)] - (nto \times TMV) - (nto \times REP)$$

O total de animais que podem ser abatidos é dado pela equação: *sft* + *scc*. Ainda podem ser abatidas as porcas descarte para consumo.

Ainda foi necessário definir a relação referente ao número de reprodutores (*tor*) por porca em função da variável principal.

6 Equídeos

A variável principal para elaborar o modelo que determinou a composição do plantel de equídeos foi o número de cavalos *CVL*. As demais variáveis (categorias animais) foram definidas em sua função.

Definiram-se a relação entre o número de éguas e muares em função dos cavalos (*cvl*).

$$EGU = \alpha \times CVL$$

$$MUA = \beta \times CVL, \text{ sendo } 50\% \text{ machos e } 50\% \text{ fêmeas.}$$

Definiram-se os índices zootécnicos necessários para gerar o modelo, sendo eles: taxa de natalidade (*teq*), taxa de mortalidade de potros (*tro*), taxa de mortalidade de animais adultos (*req*), número de potros nascidos por égua por ano (*ceq*) e taxa de descarte de animais (*seq*).

O número de crias, potros, potras, muares machos e muares jovens, foi definido, respectivamente, por:

$$PTR = EGU \times teq \times ceq \times (1 - tro) \times 0,5$$

$$PTA = EGU \times teq \times ceq \times (1 - tro) \times 0,5$$

$$ARJ = (UAR \times 0,5) \times teq \times ceq \times (1 - tro) \times 0,5$$

Determinaram-se os descartes de cavalos, éguas e muares:

$$CVS = CVL \times seq$$

$$CGS = EGU \times seq$$

$$MDS = UAR \times seq$$

Para reposição desses animais descartados, considerou-se a manutenção dos animais nascidos no rebanho. Portanto o número de potros, potras e muares nascidos na propriedade e que devem permanecer para reposição (*pop*, *pap*, *mrp*), foi semelhante ao número de animais descarte:

$$POP \cong CVS$$

$$PAP \cong CGS$$

$$MRP \cong MDS$$

O restante dos animais nascidos não utilizados para reposição foi considerado como disponíveis para venda. Sendo assim tem-se que:

$$POV = PTR - POP$$

$$PAV = PTA - PAP$$

$$MAV = ARJ - MDS$$

7 Aves de corte

O modelo de composição dos lotes de aves de corte foi simples e considerou apenas a mortalidade dos animais em cada fase produtiva. A variável principal foi ave de corte na fase inicial: *ACI*. Para isso foi necessário utilizar as taxas de mortalidade na fase inicial *tol* e de crescimento *toc*.

Descontou-se do número de pintos na fase inicial o número de aves mortas nessa fase gerando o número de aves que passaram para a fase de crescimento. Portanto tem-se:

$$ACC = ACI \times (1 - tol)$$

Fez-se o mesmo para determinar o número de aves na fase de terminação, sendo obtido pelo número de aves na fase de crescimento menos o número de aves mortas no período:

$$ACT = ACC \times (1 - toc)$$

É possível considerar um percentual *TAA* de aves para serem vendidas *atv*. O número de aves para venda é dado por:

$$ATV = ACO \times taa$$

8 Aves de postura

O modelo de composição dos lotes de aves de postura seguiu a mesma lógica das aves de corte. A variável inicial foi aves de postura em produção *APP*. Determinaram-se as taxas de mortalidade na fase inicial *tpl*, de crescimento *tpc* e de terminação *tpm*, bem como a taxa de descarte de aves em produção *tsd*.

Calculou-se o número de aves de postura em produção a serem descartadas multiplicando o total de aves por *tsd*: $APD = APT \times tsd$

Obteve-se o número de aves de postura em produção mortas: $apm = apt \times tpm$

Em seguida foi possível determinar o número de aves de postura em crescimento necessário para gerar as aves em produção. Para isso somou-se o número de aves em produção com o número de aves mortas na fase de crescimento e terminação e o número de aves descartadas na fase de terminação:

$$APC = (APD + APM) \times (1 + tpc)$$

E por fim obteve-se o número de aves de postura na fase inicial, dado pelo número de aves de crescimento acrescido da mortalidade na fase inicial.

$$API = APC \times (1 + tpl)$$

ANEXO A - Representação esquemática da Escola de Canuanã

Figura A1 – Representação esquemática da Escola de Canuanã