

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA
CURSO DE MESTRADO EM ECONOMIA RURAL**

FRANCISCO GILNEY SILVA BEZERRA

**MODELO DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO EM UM SISTEMA
AGROFLORESTAL DO BIOMA CAATINGA: UMA APLICAÇÃO DA DINÂMICA
DE SISTEMAS**

**FORTALEZA
2011**

FRANCISCO GILNEY SILVA BEZERRA

**MODELO DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO EM UM SISTEMA
AGROFLORESTAL DO BIOMA CAATINGA: UMA APLICAÇÃO DA DINÂMICA
DE SISTEMAS**

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Economia Rural, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Economia Rural.

Área de concentração: Políticas Públicas e Desenvolvimento Rural Sustentável.

Orientador (a): Profa. Dra. Patrícia Verônica Pinheiro Sales Lima.

**FORTALEZA
2011**

B469m Bezerra, Francisco Gilney Silva

Modelo de apoio á tomada de decisão em um sistema agroflorestal do bioma caatinga: Uma aplicação da dinâmica de sistemas./ Francisco Gilney Silva Bezerra. Fortaleza, 2011.

144f. il. color. enc.

Orientadora: Profa. Dra. Patrícia Verônica Pinheiro Sales Lima
Área de concentração: Políticas Públicas e Desenvolvimento Rural Sustentável

Dissertação (Mestrado) – Em Economia Rural, Universidade Federal do Ceará, Departamento de Economia Agrícola, Fortaleza, 2011.

1. Desenvolvimento Sustentável. 2. Modelagem. 3. Serviços Ambientais. 4. Sistema Agrossilvipastoril. I. Lima, Patrícia Verônica Pinheiro Sales (Orient.) II. Título.

CDD 363.70526

FRANCISCO GILNEY SILVA BEZERRA

**MODELO DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO EM UM SISTEMA
AGROFLORESTAL DO BIOMA CAATINGA: UMA APLICAÇÃO DA DINÂMICA
DE SISTEMAS**

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Economia Rural, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Economia Rural. Área de concentração: Políticas Públicas e Desenvolvimento Rural Sustentável.

Aprovada em 29 / 04 / 2011.

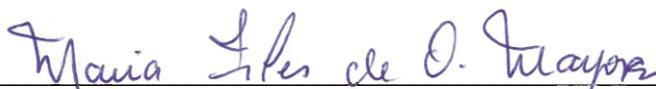
BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Patrícia Verônica Pinheiro Sales Lima (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará - UFC



Dr. Vinícius Pereira Guimarães (Coorientador)
Embrapa Caprinos e Ovinos



Profa. Ph.D. Maria Irlés de Oliveira Mayorga
Universidade Federal do Ceará - UFC

Aos meus pais Pedro e Fátima, portos seguros na minha caminhada.

A minha irmã Simone.

À Karine, esposa querida.

Aos amigos que conquistei em minha vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida, pela força e proteção que me conduziram durante essa caminhada.

À Universidade Federal do Ceará, em especial ao Departamento de Economia Agrícola, pelo acolhimento e oportunidade de realizar o Curso de Mestrado.

À Professora Patrícia Verônica Pinheiro Sales Lima, minha orientadora, conselheira e minha eterna mestra, por ter me apoiado sempre que precisei. Por ter, pro meio da sua sabedoria e experiência, me ajudado a perceber novos horizontes. Agradeço-lhe pela confiança e amizade a mim dedicadas.

À Embrapa Caprinos e Ovinos, por ter dado a oportunidade de desenvolver minha pesquisa em sua área experimental.

Aos amigos Vinícius Pereira Guimarães e Mônica Matoso Campanha, pela disponibilidade irrestrita dedicada ao estudo, além dos aconselhamentos e confiança.

Aos meus pais Pedro e Fátima, à minha irmã Simone e demais familiares que sempre me apoiaram e me incentivaram a ir mais além, mesmo quando em meu caminho os obstáculos se tornavam maiores.

A minha esposa Karine, companheira e amiga, por ter estado sempre ao meu lado dando-me força, carinho e amor sempre que precisei.

A meus sogros Ivaldo e Audenia que desde a graduação me apoiaram e tornaram-se desde então minha nova família.

Aos mestres e amigos aos quais rendo sentimentos de gratidão nas pessoas da Profª. Irles, do Prof. Saeed, Ivoneide, Carlos Eduardo e Eveline que, pela presença, pela palavra, pelo sorriso ou pela simples lembrança, me deram coragem e determinação para traçar um caminho em busca dos meus ideais.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram nessa etapa da minha vida.

“Se eu puder aliviar a aflição de uma vida ou aplacar uma dor, ou ajudar um frágil passarinho a retornar ao seu ninho, não terei vivido em vão”.

(Emily Dickinson)

RESUMO

Atualmente, a busca por soluções para reduzir as consequências da ação antrópica sobre o meio ambiente vem possibilitando o desenvolvimento de novos sistemas de produção limpa, bem como a compreensão de um modelo de desenvolvimento que atenda aos novos paradigmas da produção sustentável. Os Sistemas Agroflorestais (SAFs) mostram-se como uma alternativa social e econômica a esta realidade, uma vez que por meio dos serviços ambientais gerados nesses sistemas é possível, de maneira integrada, a produção de alimentos e de bens para uso humano e animal. Dentro de uma visão holística, o entendimento das funções sistêmicas, de forma a compreender como o ambiente, o solo, os animais, as plantas e o homem interagem entre si é vital ao desenvolvimento de um modelo economicamente viável, socialmente justo e ambientalmente correto. Nesse sentido buscou-se desenvolver por meio do emprego da Dinâmica de Sistemas um modelo que permitisse um melhor equilíbrio entre o desenvolvimento sócio-econômico das atividades produtivas e o ambiente natural em um sistema agroflorestal do bioma caatinga. O Sistema Agroflorestal (SAF) que serviu de base para este estudo encontra-se localizado na Fazenda Crioula, pertencente ao Centro Nacional de Pesquisa de Caprinos (CNPIC) da Embrapa, estando situada no município de Sobral – CE. Utilizou-se como ferramenta de elaboração do modelo o *software* Vensim, produzido pela Ventana Systems®. De posse do diagnóstico preliminar da área caracterizou-se o sistema em cinco subsistemas: Animal I, Animal II, Forragem, Agricultura e Serviços Ambientais (Carbono). As simulações basearam-se na determinação de cenários de opção de manejo reprodutivo do rebanho (número de estações de nascimento por ano) e pelos diferentes usos da terra (culturas agrícolas) e manejo da caatinga. Os resultados demonstraram que o sistema foi capaz de suprir a necessidade nutricional dos animais diante dos diferentes cenários, além de gerar renda por meio da venda dos produtos carne, leite e produtos agrícolas e a comercialização do CO₂ equivalente caso existisse um mercado específico para esse produtor. O leite produzido mostrou-se como uma importante fonte de renda para o produtor. O modelo desenvolvido para SAF oriundo desta pesquisa mostrou-se capaz de contribuir com as pesquisas já desenvolvidas atualmente, bem como para a sustentabilidade e viabilidade desse modelo de produção, por meio da diversificação de atividades e produtos, favorecendo uma geração de renda mais harmônica no tempo, ou seja, promovendo uma distribuição mais uniforme do serviço e da receita gerada, reduzindo, assim, os riscos de impacto econômico derivado da flutuação de preços no mercado e o de perda total da colheita, quando se tem uma única cultura. Esse contexto é muito adequado para a pequena produção familiar.

Palavras-chave: Desenvolvimento sustentável. Modelagem. Serviços ambientais. Sistema Agrossilvipastoril.

ABSTRACT

Currently, the search for solutions to reduce the consequences of human action on the environment has enabled the development of new clean production systems, as well as the understanding of a development model that meets the new paradigm of sustainable production. Agroforestry Systems are shown as an alternative to this social and economic reality, since through the environmental services generated in these systems is possible, in an integrated manner, the production of food and goods for human and animal. Within a holistic view, understanding of system functions in order to understand how the environment, soil, animals, plants and humans interact is vital to the development of a viable, socially just and environmentally sound. In this sense we sought to develop through the use of a system dynamics model that would allow a better balance between the socio-economic development of productive activities and the natural environment in an agroforestry system of the caatinga biome. Agroforestry System which formed the basis for this study is located in Fazenda Crioula belonging to Centro Nacional de Pesquisa de Caprinos (CNPIC) of Embrapa, is situated in the municipality of Sobral - CE. It was used as a tool for developing the model Vensim software produced by Ventana Systems®. Armed with the preliminary diagnosis of the area characterized the system into five subsystems: Animal I, Animal II, Fodder, Agriculture and Environmental Services (Carbon). The simulations were based on the determination of option settings reproductive management of the herd (number of stations by year of birth) and the different land uses (agricultural crops) and management of caatinga. The results showed that the system was able to meet the nutritional needs of animals on the different scenarios, and generate income by selling meat products, milk and agricultural products and the commercialization of CO₂ equivalent if there were a specific market for this producer. The milk produced proved to be an important source of income for the producer. The model developed for this research come from agroforestry system was able to contribute to the research already carried out today as well as to the sustainability and viability of this model of production through diversification of activities and products, promoting a more harmonious income generation in time, ie, promoting a more even distribution of service and the revenue generated, thereby reducing the risks of economic impact derived from the fluctuation of market prices and total crop loss when you have a single culture. This context is very suitable for small family farms.

Keywords: Sustainable Development. Modeling. Environmental services. Agrosilvopastoral system.

LISTA DE FIGURAS

1.	Representação gráfica simplificada da relação entre a degradação do solo e a qualidade de vida.....	16
2.	Metodologia para desenvolvimento de modelos para simulação.....	33
3.	Proposta de Sterman para modelagem de sistemas produtivos e econômicos utilizando a Dinâmica de Sistemas	34
4.	Fluxograma de execução do trabalho.....	39
5.	Localização e caracterização geográfica da área de estudo no município de Sobral - CE.....	40
6.	Sistema Agrossilvipastoril localizado na Fazenda Crioula – Sobral - CE.....	41
7.	Modelo conceitual resumido para planejamento e análise do Sistema Agroflorestal estudado, sintetizando os subsistemas e principais relações consideradas	44
8.	Diagrama causal das principais variáveis envolvidas na determinação do número de animais nascidos no SAF	45
9.	Parte do diagrama de fluxo do Subsistema Animal I referente às crias e à dinâmica das matrizes no mesmo.....	46
10.	Parte do diagrama de fluxo do Subsistema Animal I referente à transição e desmama dos animais que estavam em aleitamento	48
11.	Parte do diagrama de fluxo do Subsistema Animal I referente ao destino dado as fêmeas jovens do fluxo “Animais para reprodução”.....	49
12.	Diagrama de fluxo do Subsistema Animal I referente à produção e comercialização do leite de cabra	51
13.	Parte do diagrama de fluxo do Subsistema Animal I referente à dinâmica da demanda por reprodutores.....	52
14.	Diagrama de fluxo do Subsistema Animal I correspondente as fases de crescimento e desenvolvimento dos animais no rebanho	53
15.	Diagrama de fluxo do Subsistema Animal II apresentando a demanda por forragem no sistema	54
16.	Parte do Diagrama de fluxo do Subsistema Forragem apresentando a estrutura física do sistema	56

17.	Parte do Diagrama de fluxo do Subsistema Forragem apresentando a oferta de forragem na área pecuária	57
18.	Parte do Diagrama de fluxo do Subsistema Agricultura apresentando a dinâmica do Banco de Proteína	58
19.	Parte do Diagrama de fluxo do Subsistema Agricultura apresentando a dinâmica da cultura do milho.....	60
20.	Parte do Diagrama de fluxo do Subsistema Agricultura apresentando a dinâmica da cultura do feijão.....	62
21.	Parte do Diagrama de fluxo do Subsistema Agricultura apresentando a dinâmica da cultura da mandioca.....	64
22.	Parte do Diagrama de fluxo do Subsistema Agricultura apresentando a dinâmica da cultura do sorgo	65
23.	Diagrama de fluxo da oferta total de forragem produzida pelas as áreas pecuária e agrícola.....	66
24.	Diagrama de fluxo da dinâmica do Carbono na área	67

LISTA DE GRÁFICOS

1.	Número de animais nascidos por estação de nascimento segundo os cenários 1(a) e 2(b)	75
2.	Rendimento anual obtida com a venda de animais desmamados segundo os cenários 1(a) e 2(b).....	76
3.	Número de fêmeas jovens destinadas à reprodução segundo os cenários 1(a) e 2(b).....	77
4.	Comportamento anual da diferença entre fêmeas jovens disponíveis para reprodução e utilizadas segundo os cenários 1(a) e 2(b).....	77
5.	Produção mensal de leite do sistema (L mês ⁻¹) segundo os cenários 1(a) e 2(b).....	78
6.	Produção anual de leite do sistema (L ano ⁻¹) segundo os cenários 1(a) e 2(b)	79
7.	Demanda mensal de forragem pelo rebanho (Mg MS mês ⁻¹) segundo os cenários 1(a) e 2(b).....	81
8.	Demanda anual de forragem pelo rebanho (Mg MS mês ⁻¹) segundo os cenários 1(a) e 2(b).....	82
9.	Balanço entre oferta e demanda de forragem do sistema segundo as associações entre as culturas agrícolas e a caatinga raleada (Mg de MS ano ⁻¹)	84
10.	Balanço entre oferta e demanda de forragem do sistema segundo as associações entre as culturas agrícolas e a caatinga rebaixada (Mg de MS ano ⁻¹)	85
11.	Balanço entre oferta e demanda de forragem do sistema segundo as associações entre as culturas agrícolas e a caatinga enriquecida (Mg de MS ano ⁻¹)	86
12.	Quantidade produtos produzidos destinados à venda (Mg ano ⁻¹)	87
13.	Carbono equivalente acumulado segundo as associações entre as culturas agrícolas e a caatinga raleada (Mg de CO ₂ ano ⁻¹)	89
14.	Carbono equivalente acumulado segundo as associações entre as culturas agrícolas e a caatinga rebaixada (Mg de CO ₂ ano ⁻¹)	91
15.	Carbono equivalente acumulado segundo as associações entre as culturas agrícolas e a caatinga enriquecida (Mg de CO ₂ ano ⁻¹)	92

LISTA DE QUADROS

1.	Serviços ecossistêmicos segundo categorias da MEA	28
2.	Elementos utilizados na Dinâmica de Sistemas para compor um modelo	35
3.	Principais funções utilizadas na construção do modelo	71

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	Identificação e caracterização do problema	15
1.2	Hipótese.....	18
1.3	Objetivo Geral.....	18
1.4	Objetivos Específicos	18
1.5	Organização do trabalho	19
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	20
2.1	A busca pela operacionalização do conceito de Desenvolvimento Sustentável no Bioma Caatinga	20
2.2	Sistemas Agroflorestais – uma alternativa para o uso e manejo sustentável dos recursos naturais	25
2.3	Do Pensamento Analítico à Dinâmica de Sistemas (<i>System Dynamics</i>)	29
2.4	O processo de Modelagem Dinâmica	31
2.5	Entendendo a Simulação Dinâmica.....	32
2.5.1	Descrição dos elementos que compõem um modelo	34
2.6	A Construção de Cenários.....	36
3	METODOLOGIA	39
3.1	Abordagem geral do processo de concepção do modelo conceitual	39
3.2	Caracterização da área de estudo.....	40
3.2.1	Justificativa da escolha da área geográfica de estudo	42
3.3	Seleção das variáveis estudadas, origem dos dados e elaboração do modelo	43
3.3.1	Estabelecimento das relações causais e construção do banco de dados	44
3.3.1.1	Subsistema Animal I	46
3.3.1.2	Subsistema Animal II.....	54
3.3.1.3	Subsistema Forragem.....	55
3.3.1.4	Subsistema Agricultura	58
3.3.1.5	Subsistema Serviços Ambientais (Carbono).....	66
3.3.2	Ferramentas (<i>software</i>) utilizadas para elaboração do modelo.....	69
3.3.2.1	Principais funções utilizadas na construção do modelo.....	69
3.3.3	Desenvolvimento, análise e elaboração dos cenários	71

4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	74
4.1	Subsistema Animal I.....	74
4.2	Subsistema Animal II.....	80
4.3	Subsistemas Forragem e Agricultura.....	82
4.4	Subsistema Serviços Ambientais (Carbono).....	88
5	CONCLUSÕES.....	93
	REFERÊNCIAS.....	95
	APÊNDICES.....	103

1 INTRODUÇÃO

1.1 Identificação e caracterização do problema

Ao longo das últimas décadas o homem vem modificando de maneira mais profunda e preocupante a Terra, sendo, esse processo, intensificado a partir da revolução industrial (VITOUSEK *et al.*, 1997). No que diz respeito ao setor primário, isto ocorreu em parte devido a um modelo de desenvolvimento baseado no emprego da monocultura, além da substituição da mão-de-obra por máquinas e equipamentos. Práticas agrícolas inadequadas vêm contribuindo de forma significativa para a degradação dos ecossistemas no meio rural, aumentando, assim, a vulnerabilidade do meio ambiente, devido ao uso irracional e insustentável dos recursos naturais.

Não contrário a essa realidade, o semiárido brasileiro igualmente sofre devido a tal modelo de desenvolvimento. Segundo Araújo Filho e Silva (2008, p. 1) essa região encontra-se em degradação ambiental elevada, pela destruição da flora e da fauna, erosão dos solos e assoreamento dos mananciais, provocados por práticas agrícolas pastoris e madeireiras em uso pelos produtores. Os indicadores agropecuários situam-se muito aquém dos necessários para a geração da renda familiar capaz de manter no campo a população rural. Neste cenário, a conservação da biodiversidade torna-se peça fundamental para a manutenção da qualidade de vida. Afinal, é esta biodiversidade que proporciona a integridade dos ecossistemas.

Segundo Bezerra *et al.* (2009) o uso excessivo e extrativista dos recursos naturais contribui para o declínio acentuado da qualidade de vida, uma vez que ocasiona a exaustão dos recursos existentes, causando a inviabilidade de qualquer atividade produtiva e o aumento do nível de pobreza das comunidades beneficiadas com estas atividades (Figura 1).

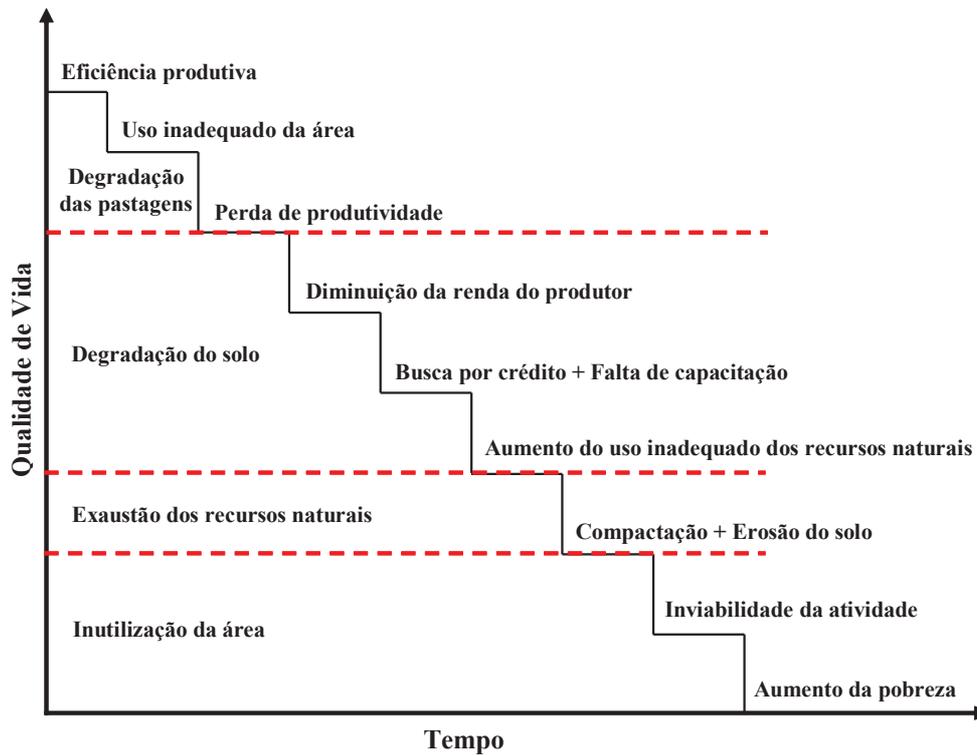


Figura 1 – Representação gráfica simplificada da relação entre a degradação do solo e a qualidade de vida
 Fonte: Bezerra *et al.*(2009)

Atualmente, a busca por soluções para reverter as consequências da ação antrópica no semiárido, vem possibilitando o desenvolvimento de novos sistemas de produção limpa, bem como a compreensão de um modelo de desenvolvimento que atenda aos novos paradigmas da produção sustentável. Os Sistemas Agroflorestais (SAFs) são um exemplo desta nova proposta de produção e mostram-se como uma alternativa importante na busca por melhores condições de vida e trabalho no campo, uma vez que por meio dos serviços ambientais gerados nesses sistemas é possível, de maneira integrada, a produção de alimentos e de bens para uso humano e animal.

Um exemplo concreto de iniciativa com este propósito é o Sistema Agroflorestal localizado na Fazenda Crioula, pertencente ao Centro Nacional de Pesquisa de Caprinos (CNPIC) da Embrapa e localizado no município de Sobral, semiárido cearense. O SAF mencionado direciona-se ao pequeno produtor rural e caracteriza-se como uma área onde são realizadas atividades diversificadas, mais especificamente atividades agrícolas, atividades pastoris e reserva florestal. Desde a sua concepção questionamentos recorrentes ressaltam a importância de se conhecer como se dá a dinâmica do SAF. Que decisão deve ser tomada

sobre a combinação de atividades capaz de maximizar a renda do produtor sem provocar os danos ambientais dos tradicionais sistemas de produção agropecuária?

O uso da modelagem pode ajudar a compreender esse processo, uma vez que contribui e auxilia a elaboração de novos cenários sustentáveis, bem como estima a repercussão dos diferentes cursos de ação do homem sobre esses novos sistemas de produção. Trata-se de inserir uma visão holística à análise dos sistemas que proporciona o entendimento das funções sistêmicas, de forma a compreender como o ambiente, o solo, os animais, as plantas e o homem interagem entre si com *feedbacks* positivos e negativos, fato este vital ao desenvolvimento de um modelo de produção economicamente viável, socialmente justo e ambientalmente correto.

Ao auxiliar na identificação de lacunas no conhecimento, na compreensão e quantificação dos processos que ocorrem durante a interação dinâmica entre os elementos estruturais dos ecossistemas os modelos sistêmicos servem como instrumento para planejamento estratégico (GUIMARÃES; TEDESCHI; RODRIGUES, 2009). Além disso, tais modelos suprem uma deficiência de uma parcela dos modelos de investigação científica que orientam a tomada de decisão pautados em modelos reducionistas e imediatistas que não consideram a transdisciplinariedade dos fenômenos e as mudanças de paradigma, podendo comprometer a sustentabilidade da atividade, uma vez que estes não consideram as inter-relações complexas existentes entre os componentes do sistema¹.

Ainda ressaltando a relevância do uso de modelos sistêmicos para a simulação de sistemas naturais coloca-se que estes estão cada vez mais presentes no planejamento das ações políticas. Os relatórios do IPCC (Painel Inter-Governamental de Mudanças Climáticas) apresentam muitos de seus resultados na forma de cenários construídos por meio de modelos, que vêm claramente redirecionando políticas ambientais em todo o mundo (SCARIOT, 2008).

No contexto apresentado nesta introdução dois pontos merecem destaque para justificar a importância da pesquisa: a proposta de uma modelagem ainda não explorada nos processos decisórios que envolvem o SAF e a geração de informações úteis a um planejamento sistêmico considerando o contexto e o conjunto dos elementos do sistema, aceitando a existência de inter-relações que influenciam o resultado final. Além de possibilitar

¹ Apesar de inúmeras definições para sistema, pode-se defini-lo como sendo um conjunto de elementos inter-relacionados, conforme Meadows *et al.* (1992); Randers (1980) apud Guimarães, 2007. Ou ainda, um conjunto de elementos em interação dinâmica, organizados em função de um objetivo. (ROSNAY, 1975).

a concretização de cenários e estratégias com maior grau de significância e contextualização para a realidade do sistema.

1.2 Hipótese

É possível utilizar a dinâmica de sistemas para desenvolver um modelo capaz de analisar e determinar a dinâmica de um sistema agroflorestal, a partir do estudo das variáveis (biológicas e econômicas) que o compõe.

1.3 Objetivo Geral

Desenvolver um modelo para avaliar as relações econômicas, ambientais e produtivas de um sistema agroflorestal do bioma caatinga utilizando a Dinâmica de Sistemas.

1.4 Objetivos Específicos

- a) Identificar as principais variáveis que compõem o sistema agrossilvipastoril;
- b) Estabelecer as inter-relações existentes entre as variáveis identificadas;
- c) Modelar e simular as principais atividades oriundas do sistema agrossilvipastoril, tendo como base o comportamento dinâmico (fluxos) destas;
- d) Demonstrar o comportamento das inter-relações que compõem o sistema agrossilvipastoril;
- e) Avaliar a sensibilidade do modelo quando submetido a diferentes cenários produtivos e ambientais.

1.5 Organização do trabalho

Este trabalho encontra-se estruturado em cinco seções. Na primeira seção, a introdução, apresentou-se a justificativa mediante a relevância do assunto e o problema abordado, bem como a hipótese e os objetivos geral e específicos. Sequencialmente, o referencial teórico discorre sobre temas relacionados à conceituação do Desenvolvimento Sustentável, à caracterização do modelo de produção agroflorestal e, por fim, a abordagem teórica das técnicas utilizadas para o desenvolvimento do estudo. Na terceira seção foram abordados os procedimentos metodológicos empregados na elaboração do modelo, caracterização da área de estudo, além de descrever as variáveis utilizadas para as simulações. Na seção seguinte foram apresentados os resultados e as discussões obtidos a partir da construção de cenários capazes de prever a dinâmica do sistema. As conclusões e sugestões, última seção, destinou-se à análise de contemplação dos objetivos propostos, além de direcionar futuras pesquisas no intuito de complementar o presente estudo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A busca pela operacionalização do conceito de Desenvolvimento Sustentável no Bioma Caatinga

Devido à complexidade, à abstração, à grande amplitude muitas vezes conflitua do termo e da falta de implantação de metodologias capazes de medir o grau de sustentabilidade de um padrão de desenvolvimento, atualmente, pode-se encontrar uma grande diversidade de significados para o termo Desenvolvimento Sustentável.

A conceituação do desenvolvimento sustentável tem como marco o ano de 1987, quando a então presidente da Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, Gro Harlem Brundtland, apresentou para a Assembléia Geral da Organização das Nações Unidas - ONU, o documento "Nosso Futuro Comum", que ficou conhecido como Relatório Brundtland (VEIGA, 2005). Segundo este, o desenvolvimento sustentável pode ser definido como aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem a suas próprias necessidades. Para Setti (2001) esse conceito implica no uso racional dos recursos naturais de forma a evitar comprometer o capital ecológico do planeta.

Veiga (2008) enfatiza que se faz necessário entender os fatores biofísicos, psicológicos, econômicos e socioculturais que se entrelaçam na idéia de desenvolvimento sustentável. A partir desta compreensão será possível perceber que nenhuma nação poderá ingressar no caminho de desenvolvimento sustentável se não cumprir o seguinte requisito: melhorar a qualidade de vida de cada cidadão – tanto no presente quanto no futuro – com um nível de uso dos ecossistemas que não exceda a capacidade regenerativa e assimiladora de rejeitos do ambiente natural. Quando tal requisito for cumprido, o país certamente estará contribuindo para a manutenção dos processos evolutivos da biosfera.

Neste contexto, a elaboração de instrumentos que orientem e operacionalizem esses conceitos torna-se fundamental para a concretização de um modelo de Desenvolvimento Sustentável. A Agenda 21 brasileira, concluída em 2002 pela Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável apresenta-se como um instrumento de planejamento

participativo para esse modelo. A Agenda 21 tem como eixo central a sustentabilidade, compatibilizando a conservação ambiental, a justiça social e o crescimento econômico.

No objetivo 12 do documento “Agenda 21 Brasileira: ações prioritárias” (MMA, 2004) a idéia de uma agricultura sustentável revela o desejo social de novos métodos que conservem os recursos naturais e forneçam produtos mais saudáveis, sem comprometer os níveis tecnológicos já alcançados, de segurança alimentar. Dentre as ações e recomendações para se atingir esse objetivo merecem destaque:

1. Incentivar o manejo sustentável dos sistemas produtivos adotando as bacias hidrográficas como unidades de planejamento e gestão ambiental e promovendo a realização do zoneamento ecológico-econômico, inclusive com a utilização da vinculação de crédito;
2. Adotar práticas de manejo de solo que satisfaçam aos três princípios básicos de controle da erosão: evitar o impacto das gotas de chuva; dificultar o escoamento superficial e facilitar a infiltração de água no solo;
3. Identificar e sistematizar nos diferentes biomas e ecossistemas físicos, as principais experiências produtivas em bases sustentáveis, valorizando-as e disseminando-as por meio de diversificados mecanismos de difusão e sensibilização;
4. Desenvolver um conjunto de indicadores de sustentabilidade para a agricultura, para fins de monitoramento comparativo de diferentes categorias de sistemas produtivos e para estimular o gerenciamento ambiental de unidades de produção agrícola;
5. Identificar e sistematizar um conjunto de pesquisas necessárias à transição para a agricultura sustentável, contemplando, prioritariamente, aspectos relacionados à gestão ambiental, manejo sustentável dos sistemas produtivos, ampliação da diversidade biológica dos agroecossistemas, melhoria nas condições dos solos, redução do uso de agrotóxicos e de outros poluentes;
6. Fortalecer a base de conhecimento e desenvolvimento de sistemas de informação e monitoramento para as regiões suscetíveis à desertificação e à seca, incluindo os aspectos econômicos e sociais desses ecossistemas.

Experiências de base agroecológicas vêm se destacando como meio de implementação destas recomendações. No Nordeste brasileiro, como é o caso dos sistemas estudados em Pernambuco (SALIN; ALBUQUERQUE; GADELHA, 2009), Bahia (CAMPANHA *et al.*, 2007), Ceará (MAIA *et al.*, 2006; MAIA *et al.*, 2007; OLIVEIRA *et al.*, 2009) etc., os sistemas agroflorestais estão proporcionando um novo modo de produção promovendo melhorias tanto no tocante às atividades produtivas em si como na qualidade de vida e do meio ambiente, uma vez que orientam os tomadores de decisão a adotarem técnicas que permitem a manutenção dos recursos naturais existentes.

No contexto da sustentabilidade tais experiências geram grande expectativa principalmente por serem implementadas em um ambiente inóspito, porém com elevado potencial de regeneração, como colocado implicitamente no texto de Euclides da Cunha:

[...] o homem luta como as árvores, com as reservas armazenadas nos dias de abundância e, neste combate feroz, anônimo, terrivelmente obscuro, afogado na solidão das chapadas, a natureza não o abandona de todo. Ampara-o muito além das horas de desesperança, que acompanham o esgotamento das últimas cacimbas. (CUNHA, 2002).

O quadro descrito por Euclides da Cunha é decorrente, em grande parte, das condições climáticas existentes na maior parte da região Nordeste: baixa umidade e reduzida quantidade de chuvas, características do clima semiárido. O clima semiárido é um fator determinante do principal ecossistema local, o Bioma Caatinga, pois define não só a paisagem como os costumes da população aí residente.

De fato, o desenvolvimento sustentável do Bioma Caatinga se confronta com um conjunto significativo de vulnerabilidades associadas ao clima, tipo de solo, condições econômicas e educacionais da população, alto nível de degradação ambiental, entre outras propagadas debilidades. No entanto, existe uma incontestável capacidade de superação na região, muitas vezes relegada devido à falta de conhecimento sobre as potencialidades locais.

Ao sobrevir das chuvas, a terra, como vimos, transfigura-se em mutações fantásticas, contrastando com a desolação anterior. Os vales secos fazem-se rios. Insulam-se os cômodos escalvados, repentinamente verdejantes. A vegetação recama de flores, cobrindo-os, os grotões escancelados, e disfarça a dureza das barrancas, e arredonda em colinas os acervos de blocos disjuntivos — de sorte que as chapadas grandes, intermeadas de convas, se ligam em curvas mais suaves aos tabuleiros altos. Cai a temperatura. Com o desaparecer das soalheiras anula-se a secura anormal dos ares. Novos tons na paisagem: a transparência do espaço salienta as linhas mais ligeiras, em todas as variantes da forma e da cor. [...] E o sertão é um vale fértil. É um pomar vastíssimo, sem dono. (CUNHA, 2002).

Qualquer tentativa de intervenção no bioma deve estar focada no enfrentamento das questões econômicas, sociais, ambientais e institucionais que afligem os municípios aí inseridos. Assim, percebe-se claramente que a mera elaboração de políticas, planos e programas (PPPs) tendo como referencial as fragilidades pontuais não é suficiente para reduzir as desigualdades e vencer os desafios. Do mesmo modo, atribuições equivocadas de prioridades, sem a preocupação com a elaboração de ações integradas, propiciam condições desfavoráveis e mantenedoras do baixo nível de desenvolvimento atual.

O enfrentamento das vulnerabilidades locais, a identificação de prioridades e a elaboração de políticas integradas e consistentes devem ser os principais orientadores para a definição dos temas estratégicos relevantes ou vetores de desenvolvimento para o Bioma Caatinga.

A caatinga é o bioma menos conhecido do país conforme divulgado pelo Ministério do Meio Ambiente. Mesmo desconhecido, segundo MMA (2009) estima-se 932 espécies de plantas, 148 mamíferos, 510 aves o que refuta a condição de bioma homogêneo e sem importância biológica, injustamente atribuída à caatinga². Muitas das espécies encontradas são endêmicas, ocorrem somente na caatinga.

Além da riqueza de sua fauna e flora, a caatinga adquire uma grande importância econômica e social. De acordo com Castro *et al.* (2003) 45 milhões de brasileiros dependem direta ou indiretamente da caatinga para sobreviver. No entanto, o uso abusivo do bioma e a forte pressão sobre os recursos naturais vêm comprometendo a existência das espécies nativas. Os fatores que ameaçam a caatinga não são recentes. A caatinga possui características naturais que a predispõe à incidência de degradação ambiental (solo, clima, relevo). No entanto, a forte pressão demográfica e o modo de exploração dos recursos naturais são apontados como fatores de maior impacto negativo sobre a conservação e a preservação do bioma. Técnicas inadequadas de irrigação estão provocando a salinização do solo e comprometendo as práticas agrícolas, o corte ilegal da vegetação nativa para suprir a demanda energética de olarias é responsável por grande parte do desmatamento local.

A natureza não cria normalmente os desertos. Combate-os, repulsa-os. [...] Esqueçemo-nos, todavia, de um agente geológico notável — o homem. [...] É que o mal é antigo. Colaborando com os elementos meteorológicos, com o nordeste, com a sucção dos estratos, com as canículas, com a erosão eólica, com as tempestades subitâneas — o homem fez-se uma componente nefasta entre as forças daquele

² Tabarelli e Vicente (2004) especulam que o número real de espécies na Caatinga é ainda maior já que em 2004 apenas 59% da região foi investigada e 80% permaneciam subamostrada.

clima demolidor. Se o não criou, transmudou-o, agravando-o. Deu um auxiliar à degradação das tormentas, o machado do caatingueiro; um supletivo à insolação, a queimada. (CUNHA, 2002).

A pobreza e a falta de alternativas de geração de renda fazem com que o caatingueiro³ utilize de forma intensiva os recursos naturais da caatinga. Além disso, hábitos cultivados ao longo de séculos, como a caça de animais para suprir a demanda protéica (agravada nos períodos de estiagem quando a produção agrícola é perdida) estão levando à extinção de espécies da flora e da fauna. Outra vulnerabilidade do bioma ocorre em relação às mudanças climáticas. De acordo com IPCC (2007) as mudanças climáticas provocarão a substituição de terras semiáridas por terras áridas, a perda de biodiversidade nas áreas tropicais da América Latina (Caatinga), mudanças no padrão das chuvas com enchentes e secas, a queda na produtividade das culturas agrícolas e conseqüente ameaça à segurança alimentar da população.⁴

Apesar de fortemente ameaçada a caatinga é o bioma brasileiro menos protegido. Nas palavras de Carlos Minc, Ex-Ministro do Meio Ambiente, a caatinga tem apenas 7% de sua área protegida. Sendo que destes, 6% correspondem a unidades de conservação de uso sustentável (onde se podem explorar os recursos naturais) e 1% corresponde à área de unidade de conservação integral, parque ou estação ecológica.

O Bioma Caatinga costuma ser descrito como uma região com solos pouco profundos e de baixa permeabilidade, com irregularidade das chuvas e com um meio natural não que favorece as práticas agrícolas. O manejo inadequado da terra, que destrói o solo por meio da erosão, compactação e decomposição da matéria orgânica, compromete gradualmente a camada fértil do solo e, conseqüentemente, a produtividade das culturas. Os agricultores, muitas vezes, abandonam as terras quando estas perdem sua capacidade produtiva e deixam para trás um solo degradado, em processo de desertificação.

O desafio, então, é descobrir uma maneira de conciliar as necessidades do homem com a preservação da natureza, ou seja, alcançar um relacionamento harmonioso entre o homem e a natureza que evite a ameaçadora e temida degradação ambiental.

³ Termo utilizado para denominar os habitantes de regiões dominadas pelo Bioma Caatinga.

⁴ Domingues, Magalhães e Ruiz (2008) realizaram estudo para prever os impactos das mudanças climáticas na agricultura do Nordeste e estimaram um elevado potencial de perdas econômicas, especialmente nos estados mais pobres. No Ceará a disponibilidade de terras para a agricultura cairia em 79,6% entre 2005 e 2050, no caso da ausência de políticas de mitigação e de controle de emissões de gases.

2.2 Sistemas Agroflorestais – uma alternativa para o uso e manejo sustentável dos recursos naturais

Os Sistemas Agroflorestais (SAFs), como técnica alternativa de uso da terra, tentam proporcionar um rendimento sustentável ao longo do tempo. Atualmente, muitos dos sistemas implantados baseiam-se na experiência prática de produtores, técnicos e pesquisadores, que ao longo dos anos, se familiarizaram com as espécies possíveis de consórcio e com as necessidades de arranjos específicos para cada região, estando assim de acordo com a definição de King e Chandler (1978) que definiram o SAF como sendo um sistema de manejo sustentável do solo que aumenta a sua produtividade total e que combina a produção de culturas agrícolas, florestas e/ou animais de forma simultânea ou sequencialmente, na mesma área, onde são aplicadas técnicas de manejo compatíveis com as tradições culturais da população local.

Para Altieri (1995) SAF é o nome genérico usado para descrever um sistema de uso da terra em que as árvores são combinadas espacialmente e ou temporalmente com culturas agrícolas e/ou animais. Ele combina elementos da agricultura com os elementos da silvicultura em sistemas sustentáveis de produção no mesmo pedaço de terra.

Os sistemas agroflorestais podem ser classificados segundo ARAÚJO FILHO (2010) em:

1. **Agrossilviculturais:** caracterizados pela associação de espécies florestais com culturas agrícolas anuais ou perenes;
2. **Agropastoris:** caracterizam-se pela combinação de cultivos agrícolas, anuais e perenes, com plantas forrageiras e animais;
3. **Silvopastoris:** caracterizam-se por meio da combinação de árvores ou arbustos com plantas forrageiras herbáceas e animais;
4. **Agrossilvipastoris:** combinam cultivos, essências florestais e animais, em uma mesma área ou em uma sequência temporal.

Por ser um modelo que preconiza a sustentabilidade pautada pela harmonia dos princípios ecológicos, econômicos e sociais, os SAFs têm se tornado referência para políticas

públicas em vários países como o Brasil, Costa Rica, África, Índia, Nepal, Sri Lanka, dentre outros (KUMAR; MIAH, 2004; SADIO; DAGAR, 2004).

Em regiões semiáridas o sistema agrossilvipastoril, por exemplo, ajuda na manutenção da agricultura, com a eliminação das queimadas e do desmatamento, promove a adequação do manejo pastoril, por meio do ajuste da taxa de lotação, melhora o manejo da vegetação nativa e causa a racionalização da extração de madeira, por meio do corte seletivo e manejo das rebrotações e a redistribuição dos nutrientes no agroecossistema.

Os SAFs se inspiram na dinâmica cíclica das florestas onde a diversidade biológica possibilita o maior aproveitamento dos recursos naturais (luz, solo, água e nutrientes) em função das diferentes características e necessidades nutricionais de cada espécie dentro de uma determinada área.

Segundo Oliveira (2003) os SAFs apresentam vantagens e desvantagens que se seguem descritas abaixo:

a) Vantagens

Em termos ecológicos, a experiência mostra que os SAFs são capazes de controlar a erosão dos solos. As diferentes arquiteturas de copas reduzem o impacto da chuva e a insolação direta, promovem o acúmulo de matéria orgânica na superfície e contribuem com a melhoria da fertilidade.

A presença de diferentes espécies de plantas faz com que camadas diversas de solo sejam exploradas pelos diferentes sistemas radiculares, otimizando a absorção de nutrientes e água.

Por promoverem uma ciclagem de nutrientes eficientes, gerada por seus diversos componentes, os SAFs são responsáveis pela manutenção da capacidade produtiva da terra ao longo do tempo. De acordo com Araujo Filho (2002), esta ciclagem é de extrema importância para a manutenção da fertilidade dos solos tropicais, devido estas regiões apresentarem uma rápida mineralização da matéria orgânica, o que exige um aporte contínuo.

Sob aspecto econômico, os SAFs oferecem diversidades de produtos, gerando várias fontes de renda para o produtor ao mesmo tempo em que contribuem para minimizar os prejuízos com a quebra de safra. A maior diversidade e a distribuição de trabalho no campo durante o ano ocupam a mão-de-obra familiar, proporcionando melhoria da qualidade de vida e contribuindo para reduzir a taxa de êxodo rural.

b) Desvantagens

A primeira diz respeito ao conhecimento técnico com relação às melhores combinações (atividades produtivas e práticas de manejo) para cada região. Pesquisas da Embrapa Acre indicam que os modelos de SAFs devem ser dinâmicos possibilitando, assim, seu emprego em diferentes realidades, neste caso não deve existir um modelo padrão. Para tanto, pesquisadores, técnicos e produtores precisam trocar conhecimentos e testar modelos que otimizem os recursos naturais existentes, garantindo a conservação do meio ambiente, rentabilidade e ganhos sociais.

A segunda é a falta de tradição em SAFs que gera desconfiança no produtor, dificultando a adoção do sistema. Por fim, a interação de várias espécies numa mesma área torna o manejo mais complexo, exigindo mais conhecimento e habilidade técnica.

Além disso, Caveness e Kurtz (1993 apud DANIEL *et al.*, 2000) acrescentam que o maior uso de mão-de-obra em alguns sistemas também é uma das desvantagens que tem dificultado a adoção desta tecnologia.

O entendimento destas relações permite a construção de um modelo de apoio à tomada de decisão no momento em que se opta pela adoção do SAF. Para tanto, faz-se necessário um esforço para mapear as potencialidades de exploração desse sistema o que contribui para o seu aprimoramento.

Mais recentemente, e ainda sem muitos estudos sobre o tema, percebeu-se uma nova exploração possível nos SAFs: os serviços ambientais gerados a partir das funções ecossistêmicas.

As chamadas funções ecossistêmicas podem ser definidas como o conjunto de elementos estruturais de um sistema que interagem entre si, como exemplo tem-se a transferência de energia, ciclagem de nutrientes, regulação de gás, regulação climática e do ciclo da água (DALY; FARLEY, 2004).

O conceito de funções ecossistêmicas é relevante no sentido de que por meio delas se dá a geração dos chamados serviços ecossistêmicos ou ambientais, que são os benefícios diretos e indiretos obtidos pelo homem a partir dos ecossistemas. De modo geral, uma função ecossistêmica gera um determinado serviço ecossistêmico quando os processos naturais subjacentes desencadeiam uma série de benefícios direta ou indiretamente apropriáveis pelo ser humano, incorporando a noção de utilidade. Em outras palavras, uma

função passa a ser considerada um serviço ambiental quando ela apresenta possibilidade/potencial de ser utilizada para fins humanos (HUETING *et al.*, 1998).

Segundo Millennium Ecosystem Assessment - MEA (2003) os serviços ambientais podem ser agrupados em quatro categorias: i) serviços de provisão (ou serviços de abastecimento); ii) serviços de regulação; iii) serviços culturais; e iv) serviços de suporte. No Quadro 1 são apresentados os serviços ambientais de acordo com sua categoria.

Categoria	Serviços	Exemplos
Provisão	Alimentos, água, madeira para combustível, fibras, bioquímicos, recursos genéticos.	Milho, mandioca, alimentos oriundos de micróbios, Melhoramento genético animal e vegetal etc.
Regulação	Regulação climática, regulação de doenças, regulação biológica, regulação e purificação de água, regulação de danos naturais, polinização.	Sequestro de CO ₂ , Mudanças na cobertura vegetal podem influenciar na temperatura e precipitação etc.
Culturais	Ecoturismo e recreação, espiritual e religioso, estético e inspiração, educacional, senso de localização, herança cultural.	Parques florestais, paisagens culturais (históricas), arquitetura de determinadas sociedades etc.
Suporte	Formação do solo, produção de oxigênio, ciclagem de nutrientes, produção primária.	Decomposição de serrapilheira, controle de erosão etc.

Quadro 1 - Serviços ecossistêmicos segundo categorias da MEA

Fonte: Adaptado de MEA (2003).

A manutenção destes serviços, isto é, da capacidade dos ecossistemas de manter as condições ambientais apropriadas, depende da implementação de práticas humanas que minimizem o impacto negativo nesses ecossistemas.

A análise dos serviços ambientais bem como das interações intrínsecas ao sistema é uma tarefa complexa, pois requer a compreensão das interconexões existentes entre os seus

componentes. Neste sentido, deve ser adotada para o estudo destas relações uma técnica que possibilite trabalhar essa complexidade.

O conceito de Pensamento Sistêmico vem possibilitando trabalhar essa complexidade de forma holística. Isso permite entender e descrever melhor como se dá as relações existentes no sistema e como estas influenciam e se deixam influenciar pelo meio em que atuam.

2.3 Do Pensamento Analítico à Dinâmica de Sistemas (*System Dynamics*)

Para Acroff (1981 apud KASPER, 2000) o enfoque analítico ou convencional está baseado na análise das partes, no reducionismo, no determinismo e mecanicismo, conceitos, estes, que serviram como fundamentação para o desenvolvimento do conhecimento clássico. De acordo com Bertalanffy (2010):

[...] só recentemente se tornou visível a necessidade e a exequibilidade da abordagem dos sistemas. A necessidade resultou do fato do esquema mecanicista das séries causais isoláveis e do tratamento por partes terem se mostrado insuficientes para atender aos problemas teóricos, especialmente nas ciências biossociais, e aos problemas práticos propostos pela moderna tecnologia. A viabilidade resultou de várias novas criações – teóricas, epistemológicas, matemáticas, etc. – que, embora ainda no começo, tornaram progressivamente realizável o enfoque dos sistemas.

Cria-se, então, nos anos 60 o conceito de Pensamento Sistêmico pelo biólogo e filósofo Ludwing von Bertalanffy na tentativa de integrar diferentes ciências para uma avaliação holística de toda a biosfera, que trata de generalidades ao invés de conceitos específicos (MULEJ *et al.*, 2004).

O autor admite que algumas considerações devem ser feitas sobre o enfoque sistêmico quando comparado ao convencional. No enfoque sistêmico ao contrário do enfoque convencional ou analítico, as interações são não-lineares, trabalha-se com interações dinâmicas e não estáticas, o sistema é tido como complexo, existe uma flexibilidade e uma adaptabilidade, o sistema é considerado aberto, considera-se os efeitos das interações ao invés

de se apoiar somente na natureza dessas, e como dito anteriormente, a principal diferença está no fato da tomada de decisão estar fundamentada na percepção global, evitando se basear na observação de detalhes isolados.

Essa nova abordagem permitiu o impulsionamento de novas tecnologias, principalmente durante a Segunda Guerra Mundial. Passa-se então a um novo conceito onde máquinas isoladas são substituídas por sistemas.

Diante deste fato a comunidade científica busca novas técnicas e metodologias para explicar e compreender a complexidade dos sistemas. Podemos citar como exemplo a Dinâmica de Sistemas originalmente desenvolvida nos anos 50 pelo professor Jay Forrester do *Massachusetts Institute of Technology*, para auxiliar gerentes corporativos a melhorar seu entendimento de processos industriais, dinâmica de sistemas esta atualmente sendo utilizada nos setores públicos e privados para análise de políticas e projetos.

A Dinâmica de Sistemas é uma metodologia e técnica de modelagem⁵ que utiliza conceitos de simulação dinâmica e que possui como objetivos principais, o entendimento e discussão de modelos complexos, visando ao conhecimento e detecção de pontos frágeis e fortes dos modelos na solução de problemas. Na Dinâmica de Sistemas foram adaptados conceitos aplicados à engenharia de controle de *feedback*, na análise de problemas ligados à economia, à sociedade, e às organizações empresariais (FORRESTER, 1961).

O emprego da Dinâmica de Sistemas possibilita a construção de um modelo da realidade, um micromundo, com suas variáveis essenciais visíveis e o resultado de suas inter-relações podendo ser acompanhado graficamente, ao longo do tempo, por simulação (ZAMBOM, 2000a). Isso torna possível a experimentação de alternativas e seu acompanhamento por meio da visualização do comportamento das variáveis (ZAMBOM, 2000b).

A partir dos modelos criados podem ser testados diversos cenários baseados em mudanças de variáveis-chaves, resultando em diferentes comportamentos do sistema. Assim, pode-se concluir que a finalidade principal desta metodologia é contribuir com a gestão e organização dos sistemas complexos para que estes obtenham sucesso (STERMAN, 2000).

No Brasil a aplicação da dinâmica de sistemas em sistemas ambientais ainda é muito pequena. Dentre os principais trabalhos na área podem-se citar Angelis e Delgado (2005); Scariot (2008); Zanetti (2009).

⁵ O termo modelagem é utilizado quando se faz uso de modelos para ilustrar uma situação ou objeto, ou o simplesmente a prática do ato de modelar (BEZERRA *et al.*, 2009).

2.4 O processo de Modelagem Dinâmica

Um modelo é uma tentativa de descrição de uma situação real para tornar possível o estudo e o entendimento do objeto modelado.

Segundo Sampaio (1998) um aspecto importante dos modelos e do processo de modelagem é que uma mesma realidade pode ser modelada de diferentes maneiras, representando diferentes aspectos do problema ou diferentes visões do modelador. Portanto, em um processo de modelagem o objetivo é perceber as diferentes faces de um problema. A simulação geralmente envolve algum tipo de modelo ou representação simplificada. No decorrer de uma simulação, o modelo fornece elementos importantes do que está sendo simulado.

Williams (2002) afirma, citando Schultz e Sullivan (1972), que durante a construção de um modelo são verificadas quatro vantagens que implicarão em uma quinta; são elas:

1. Confrontação: ao invés de apenas generalizações vagas, as suposições serão testadas para garantir que elas são credíveis.
2. Explicação: necessidade de explicar os pressupostos estabelecidos.
3. Envolvimento: o processo gera lacunas de conhecimento que estimulam o modelador a preenchê-las.
4. Diálogo: a criação do modelo necessita do envolvimento de um grupo multidisciplinar.
5. Aprendizado: o processo contínuo de conceitualização, quantificação, experimentação e aplicação acarretarão no aprendizado do modelador sobre o sistema sendo capaz de extrapolar este aprendizado para o sistema real.

A construção de um modelo e a sua interpretação necessita da aplicação de um entendimento sistêmico. O pensamento sistêmico é um processo mental que envolve: uma análise das inter-relações em vez de cadeias lineares de causa e efeito e uma análise dos processos de mudança ao longo do tempo em vez de análises estáticas. Essa análise temporal, segundo Sampaio (1998) é uma importante dimensão dos sistemas de modelagem. Sistemas de modelagem que permitem a construção de modelos que se modificam (evoluem) com o

tempo são conhecidos como ferramentas de modelagem dinâmica. Caso contrário estes ambientes são ditos estáticos. Neste estudo será empregado um modelo de simulação dinâmico por ser uma importante ferramenta no processo de decisão.

Sendo assim, uma das formas do uso do pensamento sistêmico é a linguagem de Dinâmica de Sistemas, uma vez que muitas das ferramentas utilizadas no Pensamento Sistêmico como retroalimentações circulares (*feedback loops*) e modelagem de fluxos e estoques são também princípios da Dinâmica de Sistemas.

2.5 Entendendo a Simulação Dinâmica

Para Richardson (1991) o objetivo principal de um modelo não é a simulação exata do comportamento dos sistemas organizacionais, mas, sim, a possibilidade de avaliar os padrões de comportamento do sistema como um todo, seus inter-relacionamentos e influências, visando melhorar o entendimento dos responsáveis pela tomada de decisão. Não interessa o indivíduo em particular e sim um grupo de indivíduos com características semelhantes. Essa característica é reforçada por Sonawane (2004) quando afirma que a simulação dinâmica, baseada na dinâmica dos sistemas, assume uma visão do todo em uma organização focando no comportamento dos projetos e suas relações com estratégias gerenciais e ainda por Vennix (1996) que ressalta que o método é bastante adequado quando os problemas são dinamicamente complexos, devido aos processos de *feedbacks* e soluções que requerem uma visão em longo prazo.

Dentre as principais aplicações dos modelos de simulação dinâmica Sgrillo e Sgrillo (2006) destacam:

- **Entendimento do sistema:** Modelos podem ser desenvolvidos para aumentar a compreensão sobre sistema em estudo. Podem auxiliar consideravelmente na organização das informações disponíveis e no planejamento experimental, por meio da identificação das variáveis mais importantes para amostragem, frequência de amostragem, precisão necessária etc.;

- **Projeções:** Um objetivo comum de modelos de simulação é o de realizar projeções, ou seja, avaliar as tendências de variáveis do sistema em diferentes cenários;
- **Previsões:** As previsões têm como objetivo gerar resultados futuros, como perdas, por exemplo, mais exatos possíveis, em diferentes cenários;
- **Otimização:** Os modelos podem também ser utilizados para encontrar alternativas que maximizem ou minimizem o valor de certas variáveis em determinadas condições.

A metodologia dos modelos de simulação dinâmica pode ser sintetizada no diagrama proposto por Sgrillo e Araújo (1996), Figura 2.

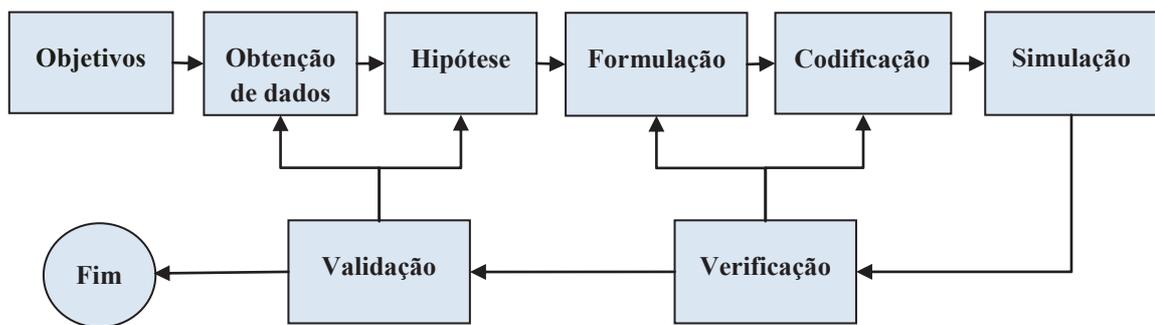


Figura 2 – Metodologia para desenvolvimento de modelos para simulação
Fonte: Adaptado de Sgrillo e Araújo (1996).

Sterman (2000) afirma que quando se trabalha com dados de sistemas produtivos (caso desta proposta) e sistemas econômicos, há um grande número de relações entre variáveis, diferentes interações e a possibilidade de visualizar *feedback loops* essenciais para modelar a estrutura do sistema, servindo efetivamente de ferramenta aos tomadores de decisão. Neste sentido, o autor propõe o processo de modelagem apresentado na Figura 3.

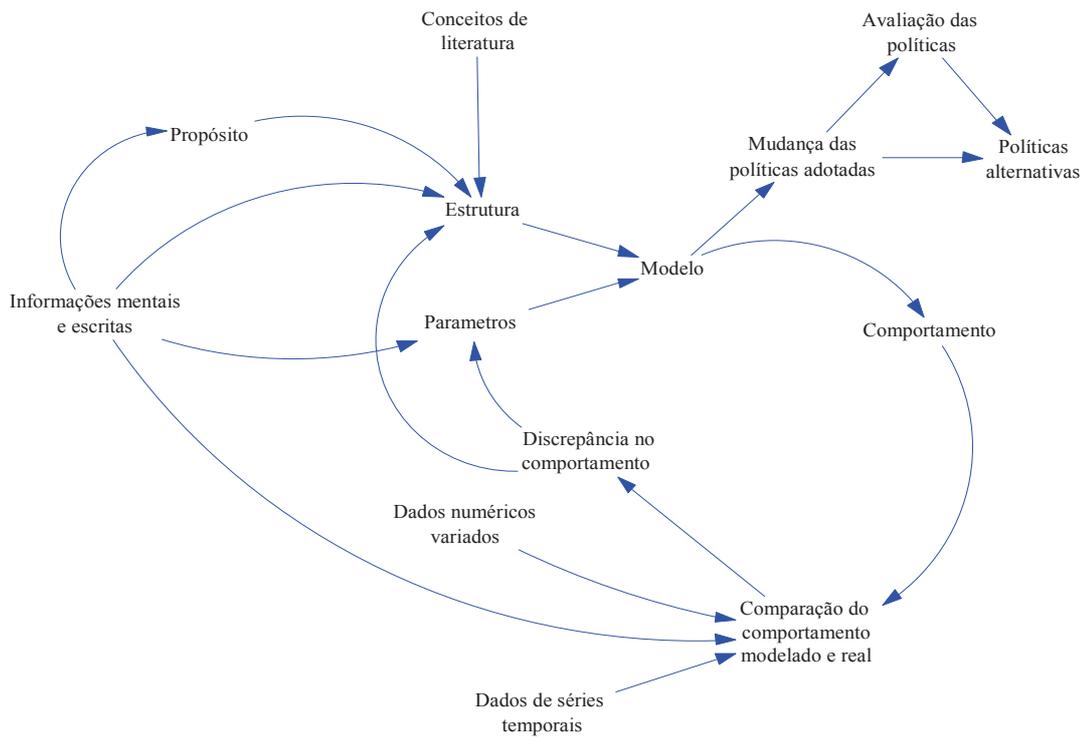


Figura 3 – Proposta de Sierman para modelagem de sistemas produtivos e econômicos utilizando a Dinâmica de Sistemas

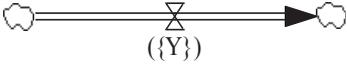
Fonte: Sierman (2000).

2.5.1 Descrição dos elementos que compõem um modelo

Modelos construídos a partir da Dinâmica de Sistema constituem-se basicamente dos elementos descrito a seguir.

Elemento	Descrição	Simbologia
Variáveis estoque	São consideradas variáveis de estado ⁶ que permitem acumular informações referentes ao sistema em dado período de tempo. É abastecido pelos fluxos.	<div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 100px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin: 0 auto;"> {{X}} </div>

⁶ As variáveis de estado referem-se ao estado momentâneo do sistema.

Fluxos	São variáveis que permitem o movimento de informações dentro do modelo. Estabelecem com os demais componentes um caráter de sequencialidade.	
Variáveis auxiliares	Contribuem com informações (banco de dados) que permitem a construção das equações que alteraram os fluxos, estoques e outras variáveis auxiliares. Geralmente são valores constantes, todavia, podem apresentar diversas funções em sua composição.	<p style="text-align: center;">{{Z}}</p>
Conectores	Responsáveis por representar as inter-relações existentes entre as variáveis estudadas. Permitindo ao modelador o melhor entendimento de quais exercem maior influência dentro do sistema.	

Quadro 2 – Elementos utilizados na Dinâmica de Sistemas para compor um modelo

Fonte: Autor da pesquisa (2011).

Nota: As letras X, Y e Z representam variáveis que compõe o modelo.

A partir do entendimento de cada componente do modelo é possível modelar os diagramas de fluxos do sistema, possibilitando ao tomador de decisão verificar, por meio da análise do comportamento do sistema, qual a melhor estratégia para a atividade. Para tanto faz-se necessário o emprego de técnicas de construção de cenários.

2.6 A Construção de Cenários

[...] cenários constituem um conjunto de futuros razoavelmente plausíveis, mas estruturalmente diferentes, concebidos por meio de um processo de reflexão mais causal que probabilístico, usado como meio para a reflexão e a formulação de estratégias para atuar nos modelos de futuros (VAN DER HEIJDEN, 2004).

As técnicas de construção de Cenários para a prospecção do futuro são antigas e passaram a ser formalizadas, do modo como as praticamos atualmente, no início dos anos 50. Em 1967 Khan e Wiener publicaram um estudo de grande impacto prospectando cenários para o ano 2000. Desde então as publicações sobre o tema são extremamente frequentes.

Para Schwartz (2000) cenário é uma ferramenta que permite ordenar as percepções sobre as alternativas de futuro que poderiam ser alcançadas com decisões tomadas no presente. Técnicas como *Brainstorming* (tempestade cerebral), Técnica de Grupo Nominal (*Nominal Group Technique* – NGT), Método *Delphi* e *Interpretative Structural Modelling* (ISM) podem ser utilizadas na construção de cenários (CHRISPINO, 2001).

- ***Brainstorming***: possibilita produzir idéias livremente em torno de um tema para, depois, ordená-las de forma coerente;
- **Técnica de Grupo Nominal - NGT**: seu objetivo é impedir que a discussão venha a ser direcionada, favorecida ou monopolizada. Segundo esta metodologia, as ideias devem ser escritas, apresentadas ao coordenador que as colocará no "quadro", após isso, o autor das ideias terá oportunidade de defendê-las. A atividade é encerrada com uma votação das ideias pelo grupo;
- **Método *Delphi***: é um método em que os especialistas não têm contato direto entre si. As ideias são apresentadas ao coordenador, que as sintetizará em um relatório, realçando as convergências e as divergências, passando-o novamente a todos os membros do grupo. A retroalimentação de ideias, a autocrítica dos membros e a capacidade do coordenador para sintetizar ideias são importantes peças no bom desempenho da atividade. Uma variável infeliz que deve ser considerada é a dificuldade que as pessoas em geral demonstram para cumprir os prazos de leitura, elaboração de ideias e resposta;

- ***Interpretative Structural Modelling (ISM)***: é uma técnica dirigida onde os participantes recebem uma lista de sugestões contendo elementos tidos como importantes para o entendimento dos problemas a serem estudados, relacionando estes elementos num processo sequencial lógico e racional.

Para Buarque (2003) os estudos de cenários têm sido crescentemente utilizados na área de planejamento estratégico, tanto de grandes empresas quanto de governos, por oferecer um referencial de futuros alternativos em face dos quais decisões serão tomadas. O autor complementa ainda que a construção de cenários lida, normalmente, com sistemas altamente complexos o que caracteriza sistemas não-lineares e dinâmicos. Esses tipos de sistemas caracterizam-se por processos de retroalimentação que estabelecem condições de auto-organização e de mudança.

Neste contexto, a utilização de Dinâmica de Sistemas (DS) pode trazer grandes contribuições à construção dos cenários quando comparadas as técnicas anteriormente apresentadas, uma vez que essa metodologia possibilita compreender como o sistema em foco evolui no tempo e como as mudanças em suas partes afetam todo o seu comportamento quando desejamos analisar os impactos das interações simultâneas entre os elementos estruturais do sistema, quando desejamos analisar a consistência de cenários, quando desejamos projetar o impacto de percepções e de hipóteses e quando desejamos quantificar certas análises.

O interesse da DS pelos comportamentos dinâmicos numa visão de "floresta em vez de árvore" é bem apropriado às metodologias de construção de cenários (EHRlich, 2005) por trabalhar com o conjunto de elementos do sistema e não com parte isoladas que podem não responder pelo real comportamento das decisões tomadas.

Moretti (2002 apud BLOIS; SOUZA, 2008) salienta que, no Brasil, a prática de elaboração de cenários é recente. As primeiras empresas a utilizarem tal prática foram a Eletrobrás, em 1987, e a Petrobrás, em 1989, em razão de operarem com projetos de longo período de maturação, o que exigia visão de longo prazo. Também no final dessa década, o trabalho elaborado pelo BNDES em 1989, de conteúdo mais econômico, teve grande impacto e abriu grande discussão política sobre os cenários do Brasil.

Recentemente foi lançado um estudo abordando a construção de cenários para o Nordeste Brasileiro, com o intuito de apontar os severos impactos econômicos, sociais,

ambientais e demográficos das mudanças climáticas sobre o Nordeste do país (CEDEPLAR; FIOCRUZ, 2008).

Algumas medidas devem ser tomadas ao optar pelo uso de cenários prospectivos. Ehrlich (2005) apresenta algumas armadilhas a serem evitadas, são elas:

1. Tratar cenários como se fossem previsões;
2. Diferenciar os Cenários de modo excessivamente simplista, do tipo: otimista e pessimista;
3. Restringir a abrangência do trabalho e ater-se ao "Cenário Oficial";
4. Perda de objetividade. Falta de focalização na utilidade do trabalho sendo desenvolvido. A armadilha é restringir-se a meras especulações. Desejamos identificar pontos de decisão;
5. Leviandade ao tratar o processo como um mero exercício e não atribuir-lhe a importância do aprendizado e da preparação para o futuro;
6. Falta de comprometimento dos participantes;
7. Falta de criatividade e de imaginação para a criação de cenários;
8. Furtar-se a quantificações, apesar da natureza essencialmente qualitativa da metodologia de cenários;

Mau uso da equipe de facilitadores do processo. Os facilitadores devem evitar condicionar as percepções dos participantes.

A seguir serão apresentados os métodos que foram empregados na elaboração do modelo que permitiu analisar a dinâmica de um sistema agroflorestral do Bioma Caatinga, bem como na elaboração dos cenários.

3 METODOLOGIA

Esta seção tem como objetivo descrever os procedimentos metodológicos empregados no estudo. A mesma encontra-se estruturada em: apresentação da área de estudo; elaboração do modelo, variáveis estudadas e origem dos dados e métodos de análise.

3.1 Abordagem geral do processo de concepção do modelo conceitual

O modelo conceitual desenvolvido neste trabalho procurou integrar diferentes áreas do conhecimento para que fosse possível uma representação fiável do sistema agrossilvipastoril estudado. Para a construção do modelo foram seguidos os passos descritos no fluxograma a seguir (Figura 4).

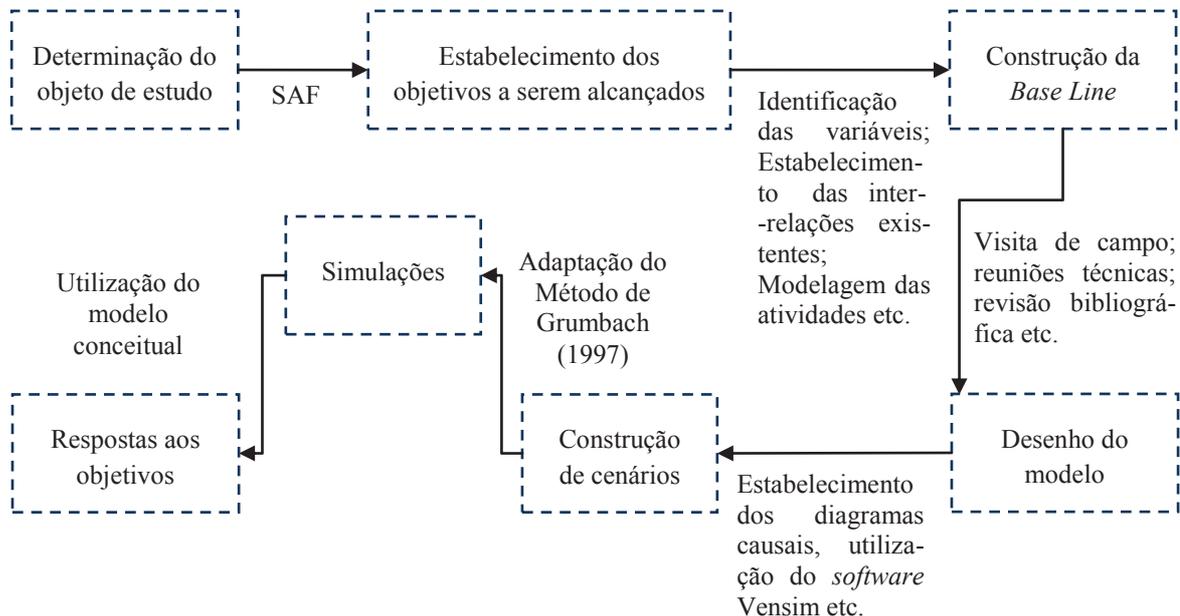


Figura 4 – Fluxograma de execução do trabalho
Fonte: Autor da pesquisa (2011).

Desta forma o modelo construído apresenta-se como um conjunto de inter-relações de diferentes subsistemas que objetivam representar as partes que compõem o

sistema observado, possibilitando analisar e caracterizar como essas inter-relações se comportam para formar o todo.

3.2 Caracterização da área de estudo

O Sistema Agroflorestal (SAF) que serviu de base para este estudo encontra-se localizado na Fazenda Crioula, pertencente ao Centro Nacional de Pesquisa de Caprinos (CNPIC) da Embrapa, estando situada no município de Sobral – CE. O município se encontra na região semiárida cearense, cujo bioma predominante é a Caatinga e está a 3° 41' S e 40° 20' W, com altitude de 69 m (Figura 5). A temperatura média anual é de 30 °C e a precipitação média anual de 798 mm com chuvas distribuídas de janeiro a maio.

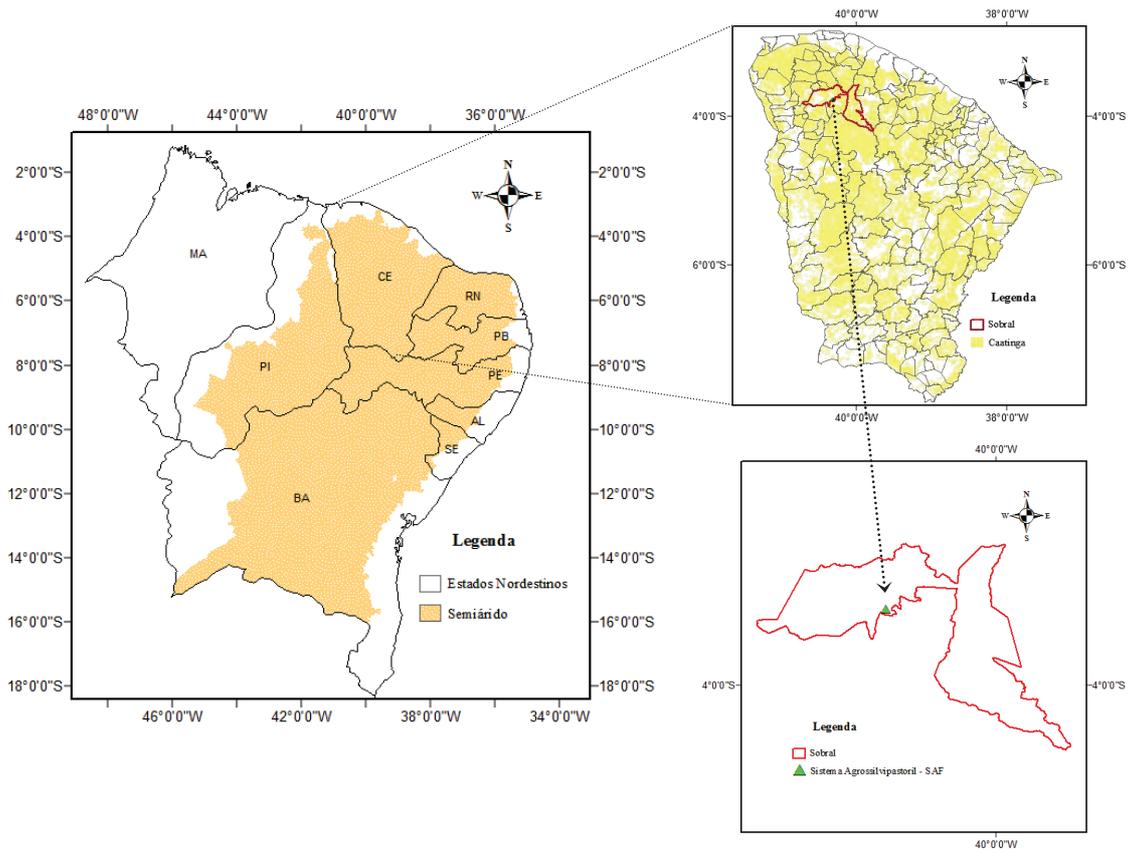


Figura 5 – Localização e caracterização geográfica da área de estudo no município de Sobral - CE
Fonte: Autor da pesquisa (2011).

O SAF da Fazenda Crioula está dividido em três áreas (parcelas): 20% para as atividades agrícolas, 60% para as atividades pastoris (incluindo as áreas de transição) e 20% como reserva florestal (Figura 6). O sistema é proposto para unidades produtivas de áreas a partir de três hectares.

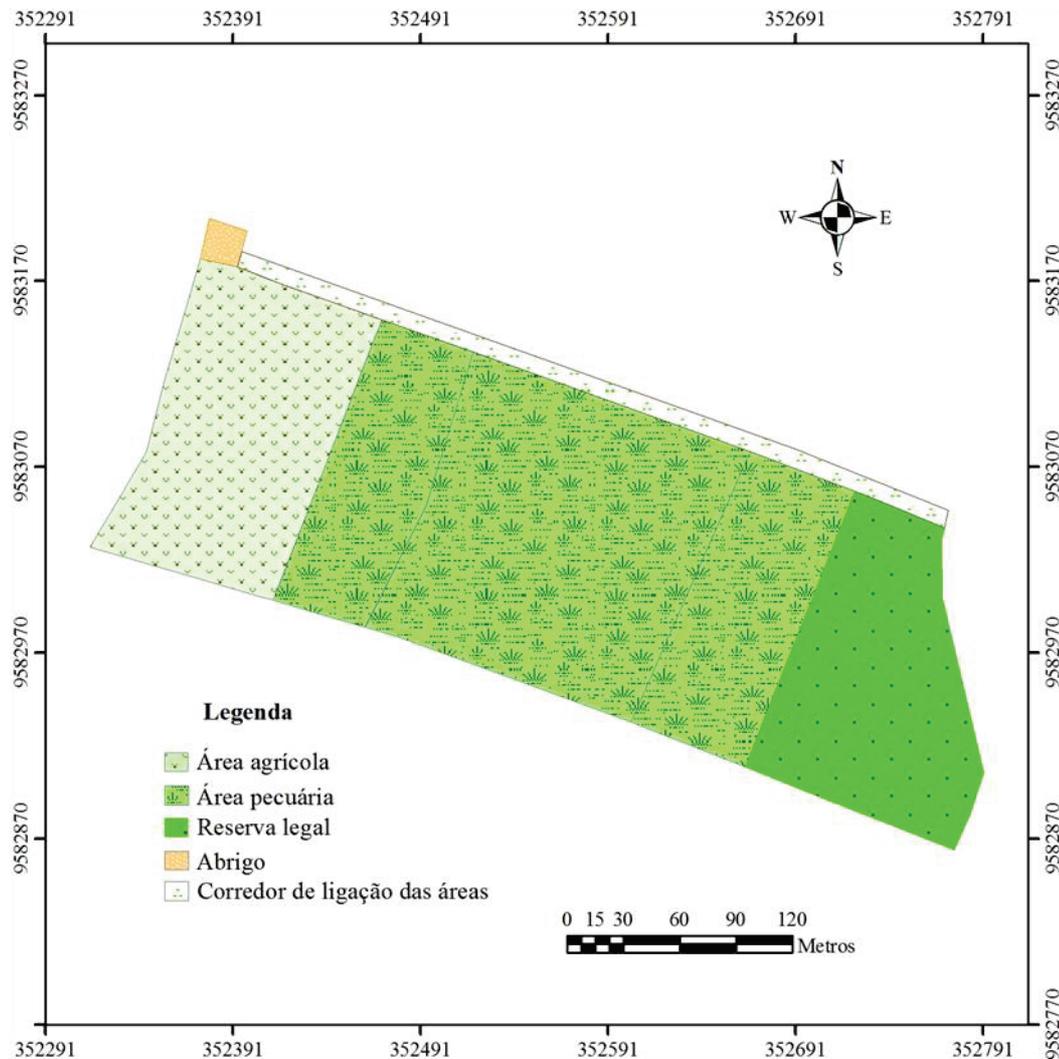


Figura 6 – Sistema Agrossilvipastoril localizado na Fazenda Crioula – Sobral - CE
Fonte: Autor da pesquisa (2011).

Neste sistema entende-se que o preparo da área destinada à agricultura é feito no período seco (verão), tendo início com o raleamento da vegetação lenhosa da caatinga, preservando a mata ciliar dos riachos e nascentes e tendo ao final, valores em torno de 200 árvores por hectare. A madeira útil é retirada para uso ou venda e os garranchos “enleirados” em cordões de 0,5 m de largura, distanciados de 3,0 m e perpendiculares ao declive do terreno, evitando o aumento da erosão do solo, reduzindo assim a perda de matéria orgânica e erosão hídrica (ARAÚJO FILHO; SILVA, 2008). Essa manutenção da qualidade do solo

contribui para a diminuição da emissão de CO₂ para atmosfera, ressaltando a contribuição ambiental do SAF.

O início das chuvas é o momento em que os produtores realizam o plantio das culturas agrícolas (principalmente o milho e o feijão) nas faixas entre os cordões. De cada lado destes é plantada uma leguminosa forrageira perene (leucena, gliricídia), para fertilização do solo (adubação verde) e alimentação dos animais (feno) e, no período seco, banco de proteína (ARAÚJO FILHO; SILVA, 2008).

Na área destinada à pecuária (60%), a vegetação lenhosa é raleada com a preservação de cerca de 400 árvores/ha e da mata ciliar. A madeira útil é retirada e os garranchos picotados no local. Quando os animais em produção são caprinos, é feito ainda o rebaixamento das espécies forrageiras lenhosas, a uma altura de 20 cm, para aumentar a rebrotação e disponibilidade de forragem, que será a pastagem de manutenção de um rebanho de 20 cabras ou ovelhas.

Periodicamente, na estação das chuvas, é feito o roço das rebrotações para controlar as ervas ou plantas invasoras e manter a pastagem produtiva. Esta prática, bem como as expostas acima, contribui significadamente para a manutenção da matéria orgânica no solo, que por sua vez terá papel importantíssimo no controle do nível de CO₂ emitido, uma vez que há o favorecimento da estocagem de CO₂ neste material.

3.2.1 Justificativa da escolha da área geográfica de estudo

O Nordeste brasileiro encontra-se em processo de degradação ambiental generalizada, ocasionada pela destruição desordenada da flora e da fauna, pelo uso de práticas agrícolas e pastoris que contribuem para a erosão do solo, assoreando os mananciais que ainda resistem, e salinização de áreas produtivas. O que ocasiona perda de produtividade fazendo com que o homem do campo busque alternativas para o sustento da família, como por exemplo, o êxodo para os centros urbanos, inchando cada vez mais estes promovendo, desta forma, o aumento da pobreza e da miséria.

A fim de mitigar os impactos deste “círculo vicioso”, foi desenvolvido pela Embrapa Caprinos e Ovinos, Sobral-CE, o Sistema Agrossilvipastoril. Este sistema integra atividades agrícolas, pastoris e florestais, e objetiva contribuir para a redução dos impactos

negativos sobre a Caatinga, além de garantir a estabilidade da produção, elevando a produtividade da terra, sem que seja necessário o preparo de novas áreas, possibilitando a fixação do homem no campo, criando meios para que esse desenvolva sua atividade baseada nos princípios do Desenvolvimento Sustentável.

Desta forma, a área de estudo foi definida por concentrar nos seus fundamentos, alternativas sustentáveis de convivência com o bioma Caatinga necessitando, assim, de estudos que compreendam melhor a dinâmica deste sistema e que sejam capazes de contribuir para o aperfeiçoamento desta técnica.

3.3 Seleção das variáveis estudadas, origem dos dados e elaboração do modelo

Com o intento de se obter um modelo confiável capaz de representar o Sistema Agrossilvopastoril, realizou-se visita de campo à área a fim de determinar as atividades produtivas presentes e potenciais, estabelecendo, a partir da compreensão e entendimento do funcionamento do sistema, um modelo genérico por meio da identificação de suas variáveis (Figura 7).

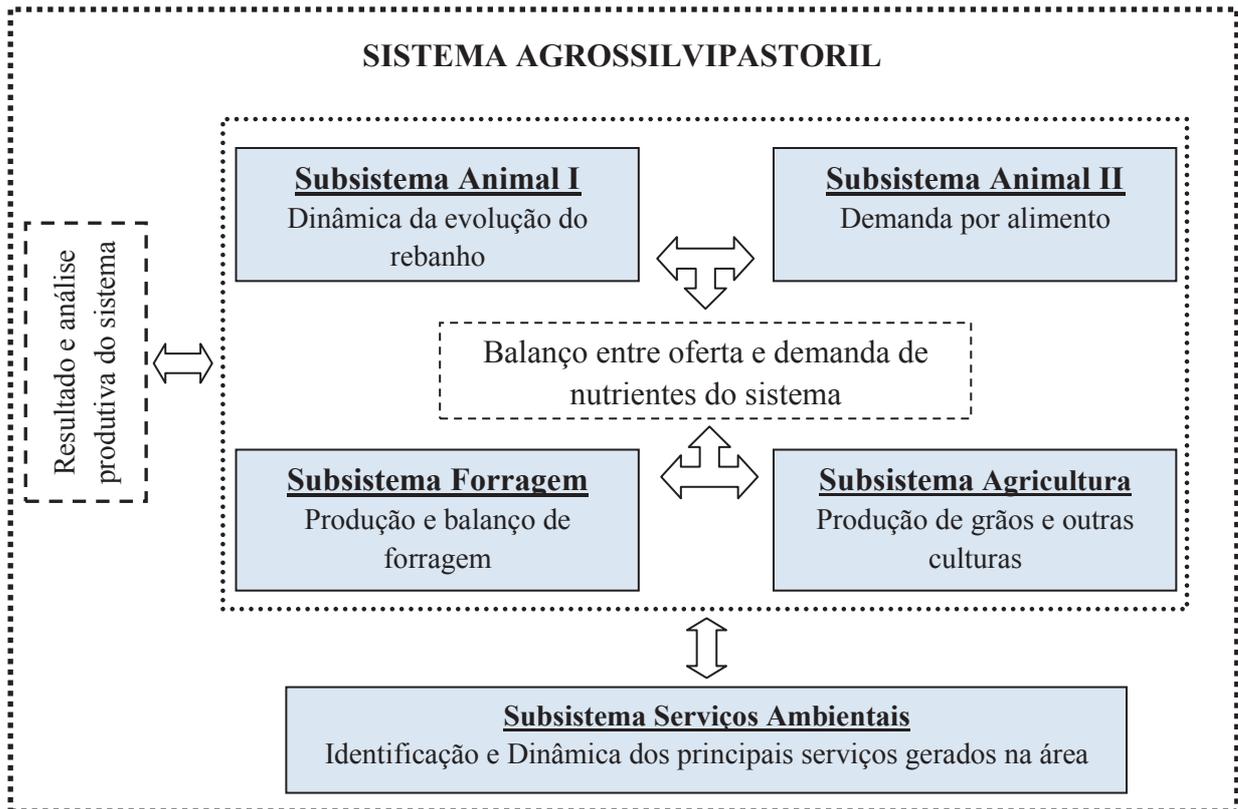


Figura 7 – Modelo conceitual resumido para planejamento e análise do Sistema Agroflorestal estudado, sintetizando os subsistemas e principais relações consideradas

Fonte: Autor da pesquisa (2011).

3.3.1 Estabelecimento das relações causais e construção do banco de dados

De posse do diagnóstico preliminar da área desenvolveram-se os Diagramas causais⁷ objetivando representar os elementos a serem estudados e as relações que ocorrem entre eles, desta forma foi possível determinar as variáveis integrantes do modelo (Apêndices A ao E). Como ilustração, a Figura 8 apresenta o diagrama causal das variáveis adotadas na determinação do número de animais. Além deste, foram elaborados os diagramas causais para a oferta e demanda de alimentos e o estoque CO₂, ou seja, para os quatro componentes adotados na composição do SAF. Em seguida, coletaram-se as informações (dados⁸) necessárias à criação do banco de dados utilizados na construção do modelo de simulação por

⁷ Um diagrama causal consiste em variáveis conectadas por setas, criando causalidade entre elas (GUIMARÃES, 2007).

⁸ Fazem parte destes dados os índices zootécnicos e produtivos utilizados no modelo e apresentados no Apêndice F.

meio de visita de campo, reuniões com técnicos e produtores rurais, além de consulta a dados secundários originados em pesquisas anteriores desenvolvidas na área de estudo e informações obtidas de literaturas relacionadas às variáveis analisadas.

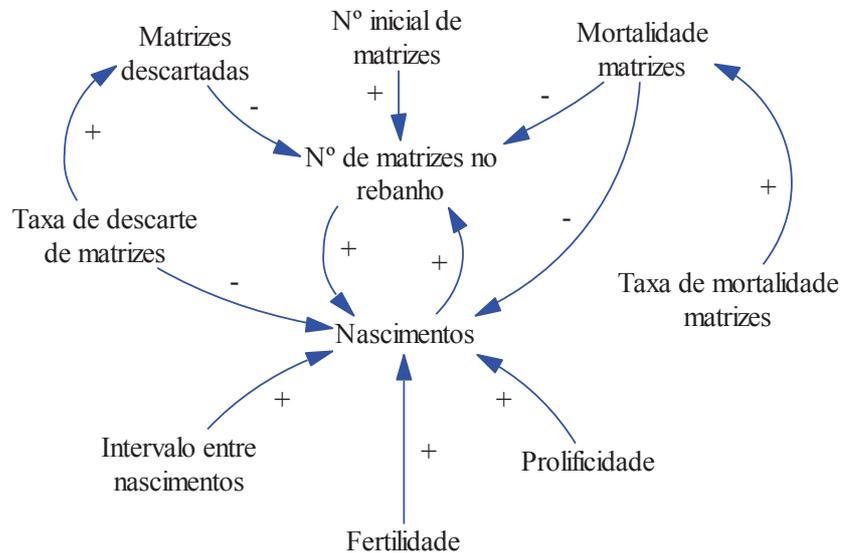


Figura 8 – Diagrama causal das principais variáveis envolvidas na determinação do número de animais nascidos no SAF

Fonte: Autor da pesquisa (2011).

Percebem-se na Figura 8 relações positivas e negativas entre as variáveis. Estas relações são estabelecidas por meio dos *links* causais (setas) com polaridade positiva (+) ou negativa (-). Esta representação implica dizer que uma variável atua sobre as demais, sendo a recíproca verdadeira, ou seja, quando uma variável está relacionada à outra com um link positivo, corresponde dizer que a mesma terá impacto direto sobre a variável influenciável. Por exemplo, um aumento nos valores de fertilidade, por meio do melhoramento do manejo reprodutivo do rebanho, tende a elevar o número de animais nascidos.

Já as variáveis que apresentam polaridade negativa, estabelecem entre si uma condição inversa, ou seja, à medida que se aumenta ou diminui seus valores a resposta da variável influenciável será contrária à ação. Um exemplo dentro do diagrama acima apresentado é o impacto negativo que a variável “Mortabilidade de matrizes” causa no estoque “Nº de matrizes no rebanho”, ou seja, quanto maior a mortalidade, menor será o número de matrizes disponíveis para a reprodução.

Uma vez determinadas as relações existentes, foi possível caracterizar as variáveis que compõem o sistema possibilitando descrevê-las a fim de representar o sistema agrossilvipastoril por meio da linguagem computacional.

A seguir são definidas conceitualmente as variáveis utilizadas no modelo, bem como as relações estabelecidas entre essas de acordo com os subsistemas apresentados na Figura 7.

3.3.1.1 Subsistema Animal I

Responde pela estrutura do rebanho caprino no sistema, sua produção e venda (carne e leite). Desta forma, esse subsistema foi subdividido em cinco diagramas de fluxo capazes de representar a dinâmica das variáveis relacionadas a esse subsistema. O primeiro diagrama de fluxo apresentado refere-se à dinâmica das matrizes e aos nascimentos (Figura 9).

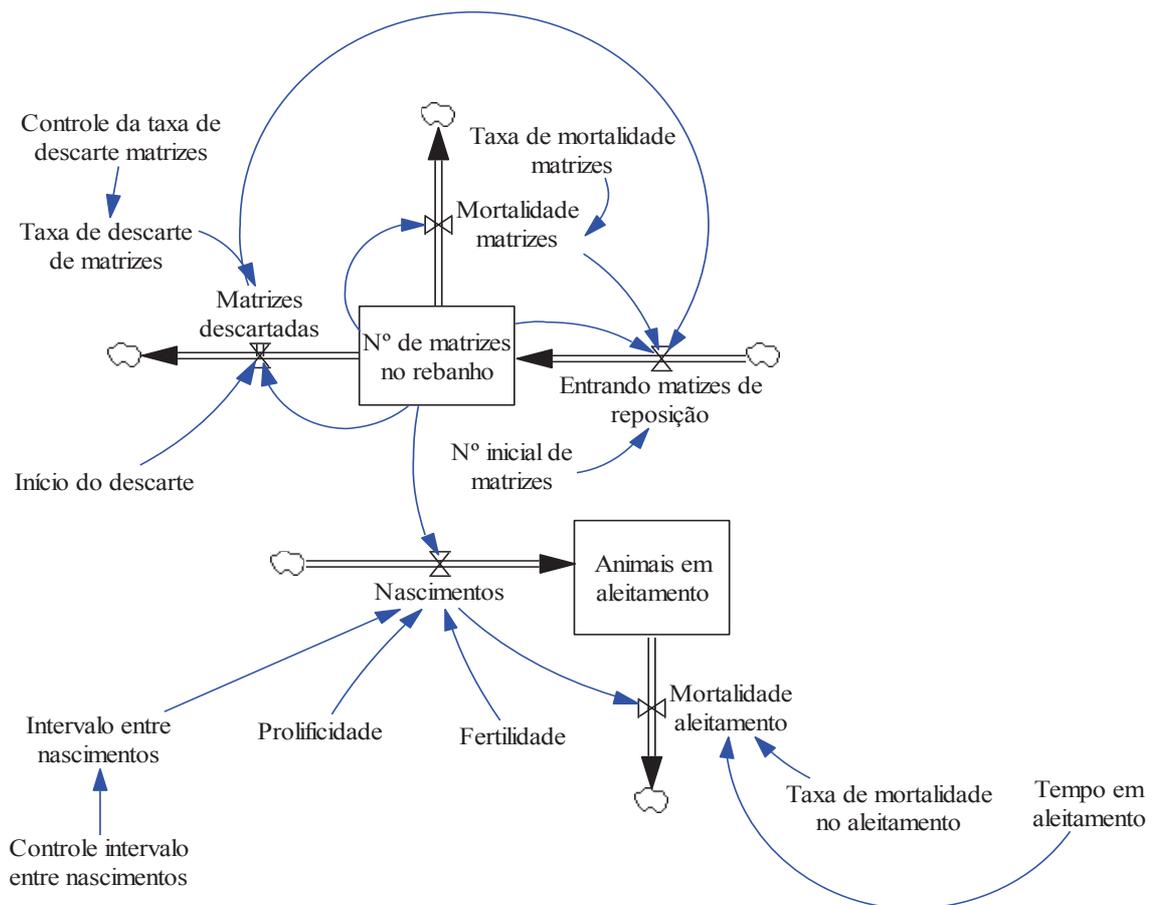


Figura 9 – Parte do diagrama de fluxo do Subsistema Animal I referente às crias e à dinâmica das matrizes no mesmo

Fonte: Autor da pesquisa (2011).

Como pode ser observado no diagrama de fluxo acima os nascimentos são influenciados diretamente por quatro variáveis “Número de matrizes no rebanho”, que corresponde ao número de fêmeas em reprodução estabelecido pelo produtor para compor o plantel, determinado a partir da observação da capacidade de suporte da área; à “Intervalo entre nascimentos”, estabelecendo assim os períodos em que ocorrem ou não nascimentos de acordo com o número de estações de monta e as características fisiológicas dos animais; à prolificidade que determina o número de animais nascidos por matriz por parto; e a fertilidade que indica para o modelo a proporção de fêmeas que devem ser contabilizadas para a determinação do número de animais nascidos.

Nota-se ainda que as matrizes do rebanho têm um diagrama de fluxo próprio o que permite o acompanhamento do comportamento produtivo destes animais por parte do produtor. Este número pode variar de acordo com a mortalidade das matrizes e seu descarte. Ambas podem ser consideradas como saídas (*outputs*) do sistema uma vez que retiram do modelo as matrizes que vem a óbito e as que, teoricamente, apresentam problemas de saúde, aprumos, diminuição da produção etc., sendo necessária a retirada das mesmas do rebanho. Estas são influenciadas pelas taxas de mortalidade e descarte das matrizes que permitem informar para o modelo os percentuais de matrizes que saem para cada situação descrita.

Diferentemente da mortalidade o descarte orientado iniciará somente quando o produtor estabelecer qual o melhor período para iniciar este manejo o que deverá ocorrer com 24 meses. Desta forma outra variável importante neste processo é o controle da taxa de descarte das matrizes uma vez que regula a ocorrência dos descartes.

No intuito de balancear essa relação entre o número inicial de matrizes e o retirado do rebanho, incorporou-se ao modelo a variável “Entrando matrizes de reposição” que corresponde à entrada (*input*) das matrizes no grupo oriundas das fêmeas destinadas para reposição.

Os animais nascidos permanecem durante o período de aleitamento na variável estoque denominada “Animais em aleitamento”. Essa permanência é regulada pela variável auxiliar “Tempo em aleitamento” que por meio de um “*Delay fixed*” indica para o modelo o tempo de “atraso” (72 dias) que o estoque de animais nascidos seguirá para a fase da desmama, ou seja, é o tempo que os animais permanecem no sistema até serem desmamados, tempo este determinado pelo produtor.

Esse estoque sofre influência do fluxo “Mortalidade aleitamento”, que por sua vez relaciona-se com a “Taxa de mortalidade no aleitamento”. Assim como ocorre com as

matrizes, estas variáveis representam a saída de animais em aleitamento que vem a óbito por alguma razão e o seu percentual, respectivamente. Assim, possibilita ao produtor acompanhar as perdas geradas nesta fase, conferindo-se, assim, como uma estratégia para oferta de animais destinados às vendas.

Os animais que permanecem em aleitamento seguem para etapa da produção seguinte, conforme demonstra a Figura 10.

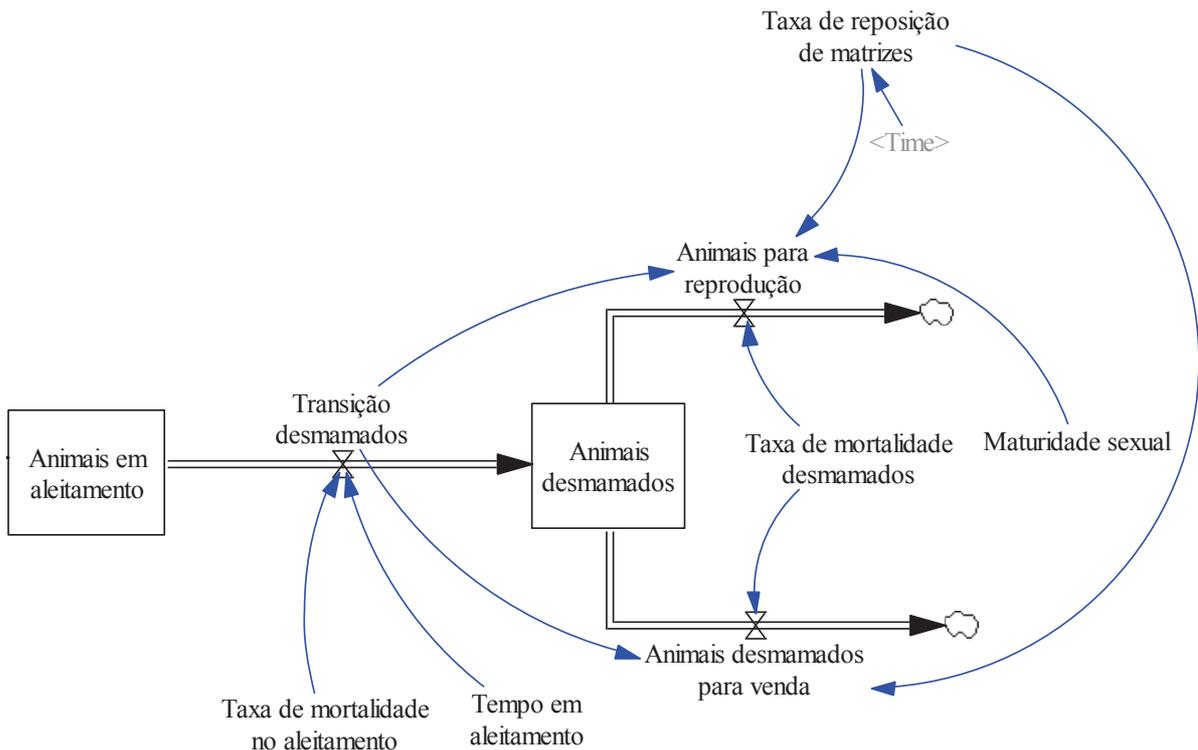


Figura 10 – Parte do diagrama de fluxo do Subsistema Animal I referente à transição e desmama dos animais que estavam em aleitamento

Fonte: Autor da pesquisa (2011).

Os animais que completam o período de aleitamento seguem para a próxima fase por meio do fluxo “Transição dos desmamados”. Uma vez desmamados os animais seguem para um novo estoque chamado “Animais desmamados”. Neste estoque os animais que serão destinados à reprodução permanecem até atingirem a idade de maturidade sexual. Os demais animais ao chegarem nesta fase são vendidos. Os animais desmamados para venda são destinados principalmente para produção de carne. Preconizou-se que todos os machos oriundos do rebanho seguem para esse fluxo.

Já o fluxo “Animais para reprodução” determina o número de fêmeas que serão destinadas à reposição das matrizes no rebanho, assim, o produtor poderá verificar se o

número de animais nascidos que chegam a esta fase é suficiente para manter a estabilização do rebanho quanto ao número de matrizes. Esse fluxo é controlado por meio das variáveis auxiliares “Maturidade sexual”, uma vez que sua função será determinar a saída dos animais do estoque “Animais desmamados” e a “Taxa de reposição de matrizes” que influencia diretamente o número de fêmeas jovens que o produtor deverá reter para a manutenção da quantidade e qualidade do rebanho. Indica para o modelo o percentual que deve ser mantido na simulação para repor possíveis diferenças no número estabilizado de matrizes.

A partir do momento em que as fêmeas jovens seguem para o fluxo “Animais para reprodução” o produtor poderá tomar a decisão de permanecer com todos os animais para usufruir futuramente destes ou destinar uma parte para a venda de matrizes jovens. Desta forma, são estabelecidos dois novos fluxos descritos por meio de suas variáveis (Figura 11):

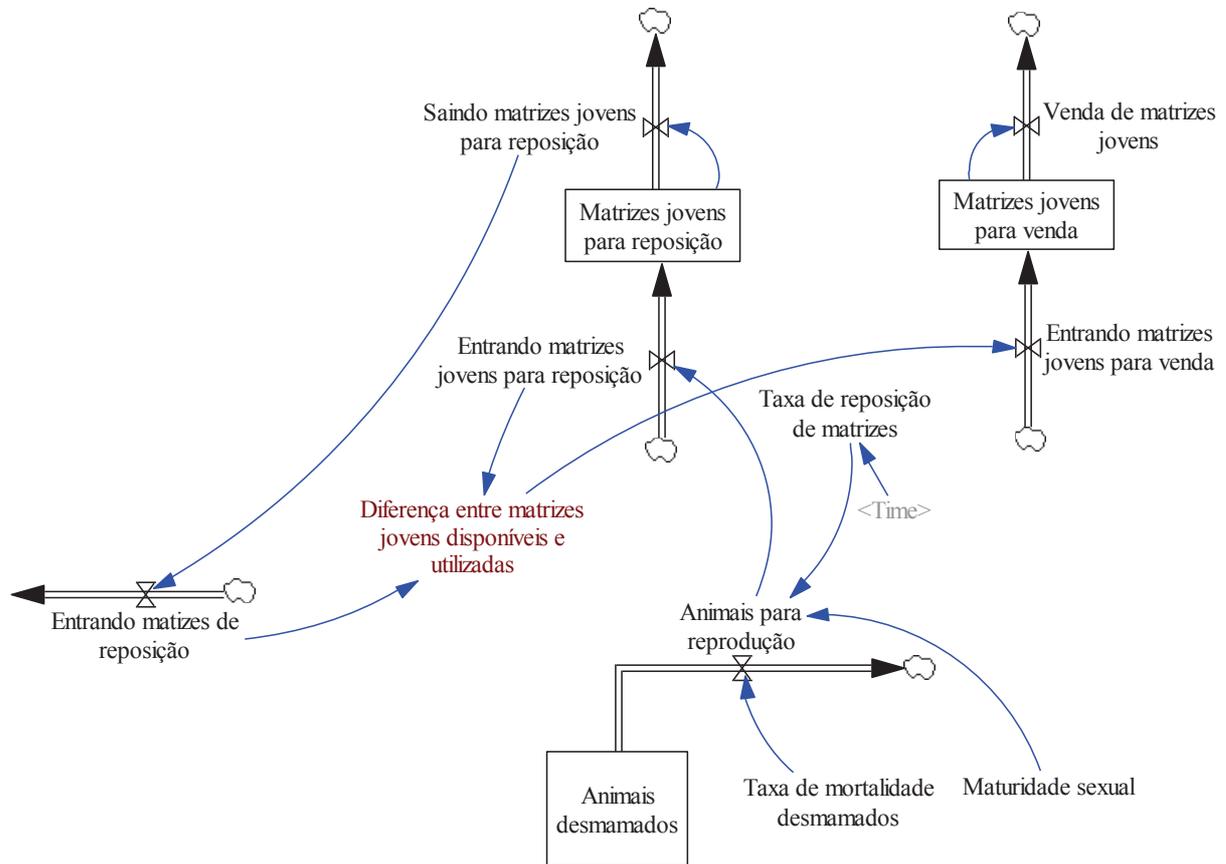


Figura 11 – Parte do diagrama de fluxo do Subsistema Animal I referente ao destino dado as fêmeas jovens do fluxo “Animais para reprodução”

Fonte: Autor da pesquisa (2011).

Por meio do fluxo “Entrando matrizes jovens para reposição” é possível observar o comportamento do número de matrizes destinadas a tal fim. As matrizes que entram neste fluxo seguem para o estoque “Matrizes jovens para reposição” que determina o número de

matrizes remanescentes para reprodução. Estas matrizes permanecerão neste estoque até que seja necessária a reposição do plantel. Esta saída será possibilitada por meio do fluxo “Saindo matrizes jovens para reposição”. A incorporação desses animais no rebanho será representada por meio do *input* “Entrando matrizes de reposição”.

Outra variável importante dentro deste modelo é a “Diferença entre matrizes jovens disponíveis e utilizadas”, esta variável compreende o número de matrizes “ociosas” no rebanho, permitindo ao produtor acompanhar a dinâmica das fêmeas para reposição que não estão sendo utilizadas, cabendo, então, analisar se é mais viável permanecer com as mesmas ou destiná-las para venda como matrizes jovens.

Caso o produtor opte por vender tais matrizes esses animais seguem para o fluxo “Entrando matrizes jovens para venda”, por conseguinte, para o estoque “Matrizes jovens para venda” onde permanecem até saírem do sistema por meio do fluxo “Venda de matrizes jovens”. Este fluxo demonstra o número de matrizes jovens que foram vendidas. Permite ao tomador de decisão a análise imediata de quanto ele geraria de receita com a venda desses animais.

Outro fluxo que está compreendido nesse subsistema corresponde ao valor da produção e venda do leite produzido por esse sistema. Assim como os demais, é fundamental na tomada de decisão, uma vez que o produtor poderá verificar o que será considerado produto ou subproduto do sistema, em relação à produção de carne ou leite. A Figura 12 apresenta este diagrama.

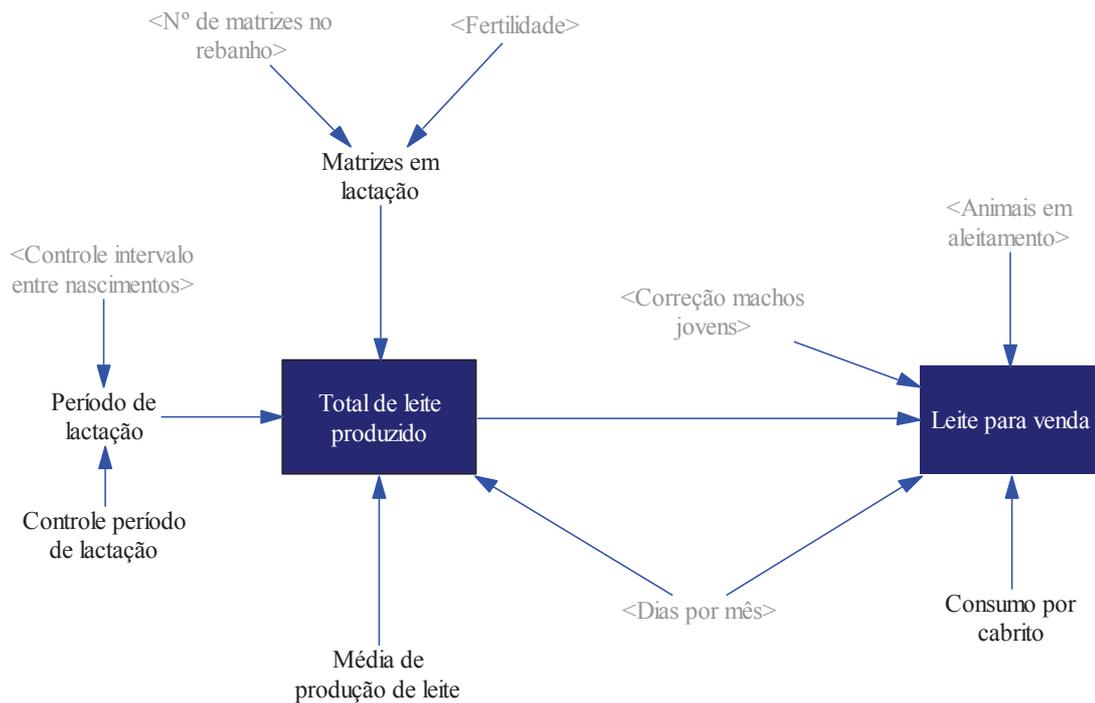


Figura 12 – Diagrama de fluxo do Subsistema Animal I referente à produção e comercialização do leite de cabra
Fonte: Autor da pesquisa (2011).

São consideradas variáveis determinantes para a composição deste diagrama de fluxo o “Período de lactação” determinado por um pulso que estabelece os períodos em que as matrizes se encontram em lactação de acordo com as características fisiológicas dos animais, ou seja, indica para o modelo o período que deve ser contabilizada a produção de leite; a “Média de produção de leite” que corresponde à quantidade média de leite produzida por dia por cabra e o “Consumo por cabrito”.

O total de leite produzido - litros de leite produzido por mês - é resultado da interação entre as variáveis “Matrizes em lactação” e a “Média de produção de leite”. O número de matrizes em lactação por sua vez determina a quantidade de matrizes que gestaram e estão amamentando. Relaciona-se com esta variável o “Nº de matrizes no rebanho” e a “Fertilidade”.

O período que as matrizes permanecem em lactação é influenciado pela variável auxiliar “Controle do período de lactação” que corresponde a um pulso que determina a quantidade de meses em que as matrizes estão lactando, de acordo com o modo de produção adotado pelo produtor.

Do total de leite produzido no sistema, parte seguirá para venda. Esta quantidade está relacionada, principalmente, com o número de animais que estão na fase de aleitamento, o consumo *per capita* de leite por parte destes.

A Figura 13 complementa os diagramas anteriores, estabelecendo a demanda por reprodutores no sistema. Apesar de simples, essa estrutura orienta o produtor quando da necessidade de aquisição de novos machos.

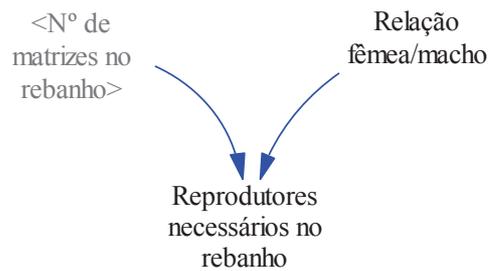


Figura 13 – Parte do diagrama de fluxo do Subsistema Animal I referente à dinâmica da demanda por reprodutores

Fonte: Autor da pesquisa (2011).

Por meio da interação entre as variáveis “Número de matrizes no rebanho” e a “Relação fêmea/macho” (neste trabalho adotou-se a relação 30 fêmeas/1 macho de acordo com as práticas de manejo reprodutivo adotados no SAF) é possível determinar o número de reprodutores no rebanho, permitindo que o modelo mantenha no sistema somente o número necessário de machos, contribuindo, assim, para a redução dos gastos com o rebanho.

A Figura 14 demonstra de forma completa o diagrama de fluxo desde o nascimento, passando pela fase de aleitamento chegando finalmente aos destinos estabelecidos no modelo (reprodução e venda).

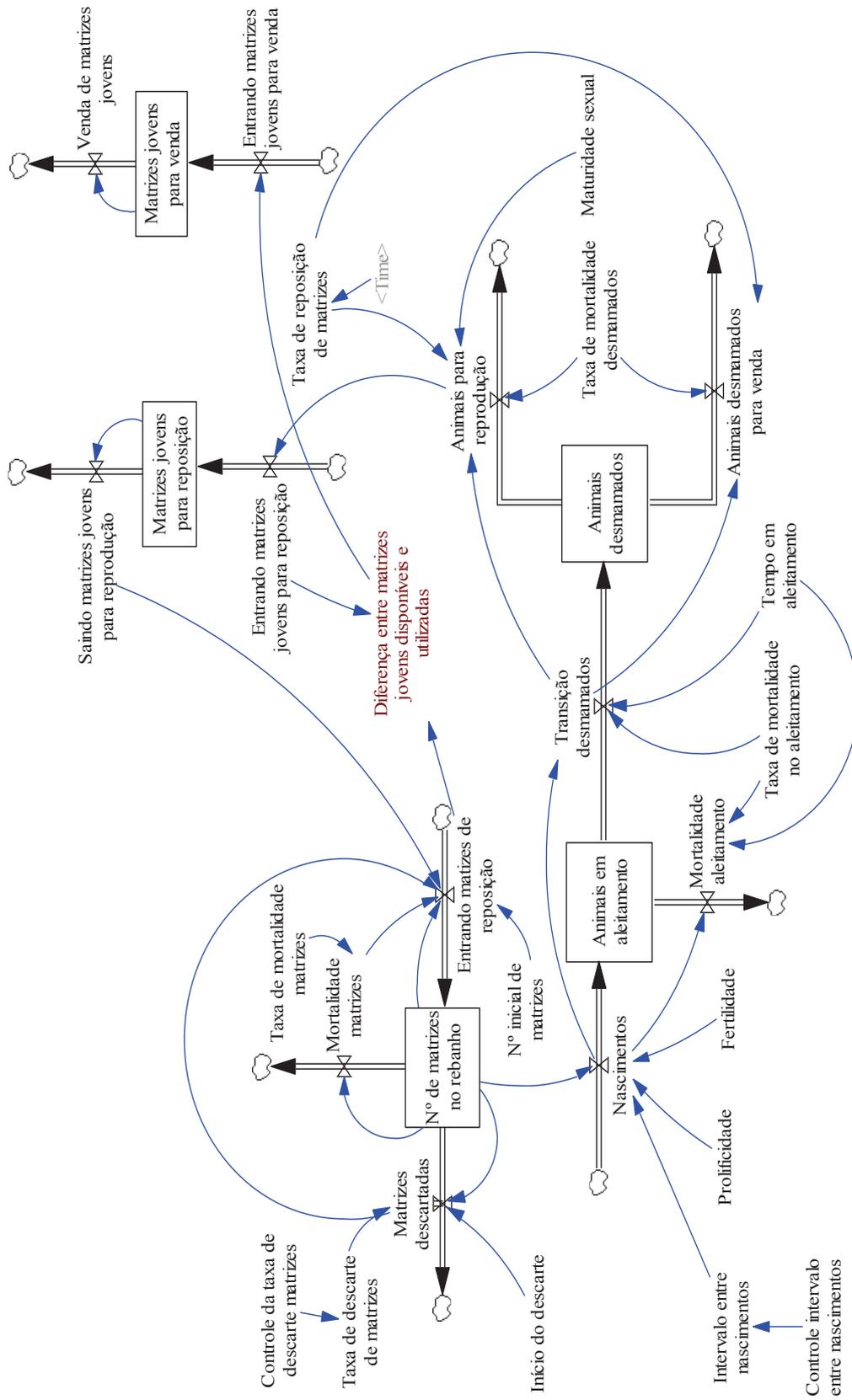


Figura 14 – Diagrama de fluxo do Subsistema Animal I correspondente as fases de crescimento e desenvolvimento dos animais no rebanho
 Fonte: Autor da pesquisa (2011).

3.3.1.2 Subsistema Animal II

Corresponde à necessidade por alimento por parte do rebanho relacionando-se diretamente ao Subsistema Animal I, tem como produto final a determinação do total de forragem necessária. É composto pelo Diagrama de fluxo abaixo (Figura 15).

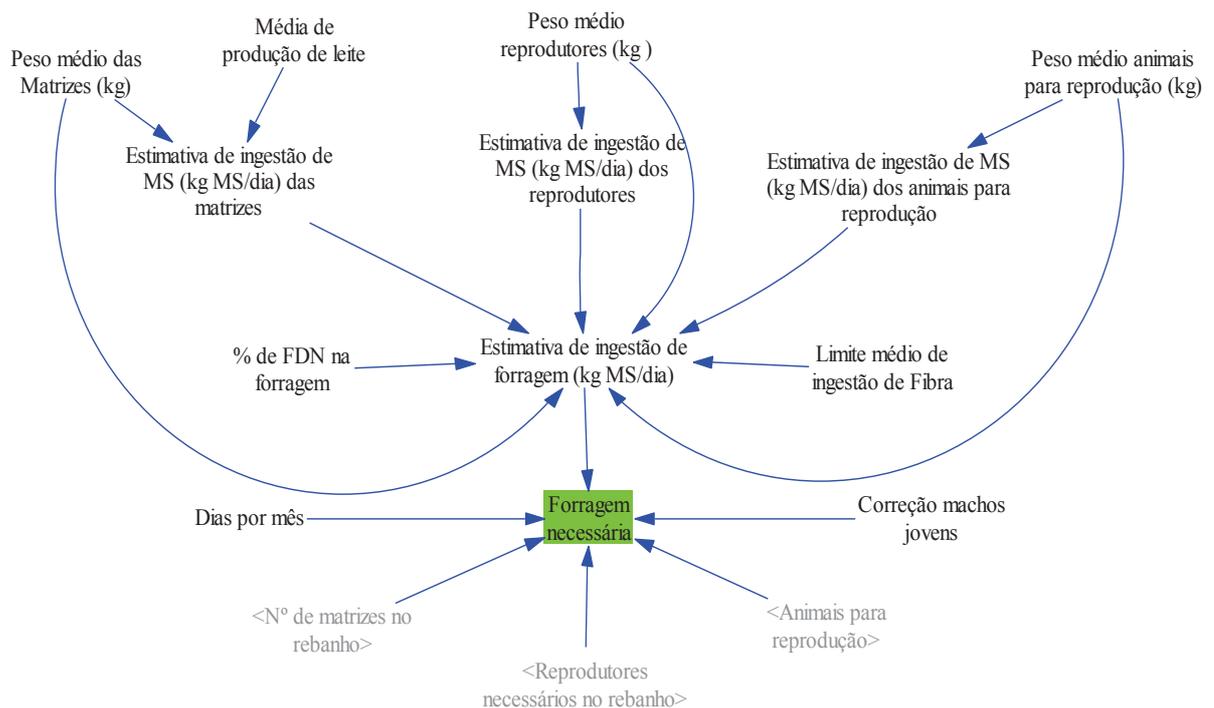


Figura 15 – Diagrama de fluxo do Subsistema Animal II apresentando a demanda por forragem no sistema
Fonte: Autor da pesquisa (2011).

A demanda por forragem no sistema foi determinada levando-se em consideração as exigências específicas de cada categoria (matrizes, reprodutores e animais jovens). Essa estruturação do modelo permite uma melhor estimativa da demanda de forragem permitindo que as diferenças nutricionais existentes entre as categorias sejam atendidas.

Inicialmente determinou-se a estimativa de ingestão de forragem para cada categoria em base de matéria seca (MS) considerando o peso médio dos animais. Observa-se que em relação às matrizes considerou-se, ainda, a média de produção de leite no intuito de determinar a quantidade necessária de forragem para a manutenção e produção de leite.

Uma vez determinada a estimativa individual procurou-se calcular a necessidade total do rebanho, relacionando-se, para tal fim, a variável “% de FDN na forragem” que indica

para o modelo o percentual médio de Fibra em Detergente Neutro (FDN) presente na forragem e a variável “Limite médio de ingestão de Fibra”. Segundo Mertens (1992) este limite está em torno de 1,2% do peso corporal do animal, valor este quando ultrapassado, implica na restrição de ingestão pelo efeito do enchimento do trato gastrointestinal. Vale ressaltar, ainda que assim como o limite médio de ingestão a FDN tem um papel importante na determinação da ingestão de MS uma vez que à medida que seu percentual na forragem aumenta a ingestão de matéria seca tende a diminuir (BRANCO *et al.*, 2010);

A partir destas relações foi possível determinar a quantidade de forragem necessária para atender às necessidades do rebanho, possibilitando ao produtor acompanhar o comportamento da demanda por forragem no sistema.

A variável “Correção dos machos jovens” foi inserida no modelo com o objetivo corrigir o número de animais para reprodução, ou seja, para que o modelo contabilize os machos e fêmeas nascidos. Neste subsistema ainda são relacionadas outras cinco variáveis já descritas anteriormente no Subsistema Animal I, são elas: “Número de matrizes no rebanho”, “Reprodutores necessários no rebanho”, “Animais para reprodução”, “Média de produção de leite” e “Dias por mês”. Esta última transforma a demanda diária em mensal.

3.3.1.3 Subsistema Forragem

Estabelece como produto final a oferta de forragem de acordo com as áreas estruturadas dentro do sistema agrossilvipastoril. Este subsistema é complementado pelo subsistema seguinte, Subsistema Agricultura. A Figura 16 apresenta o diagrama da distribuição das áreas a fim de permitir o entendimento da estruturação do sistema agrossilvipastoril.

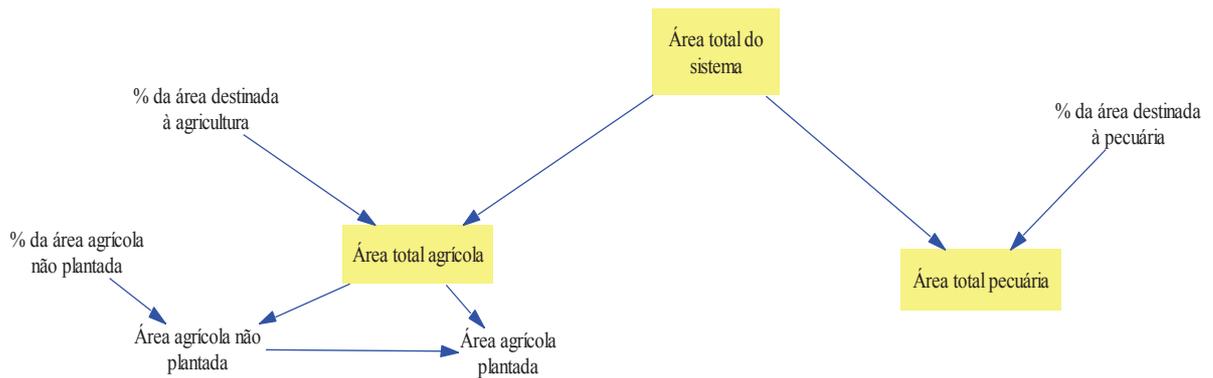


Figura 16 – Parte do Diagrama de fluxo do Subsistema Forragem apresentando a estrutura física do sistema
Fonte: Autor da pesquisa (2011).

O primeiro passo para a determinação da oferta de forragem pelo SAF foi indicar para o modelo o limite da propriedade, em hectares. Em seguida, foram definidas as parcelas correspondentes às áreas agrícola, pecuária e reserva legal, de acordo com a área total do sistema, em hectares. A “Área total pecuária” que se destina ao pastejo dos animais foi determinada por meio da interação das variáveis auxiliares “Área total do sistema” e “% da área destina à pecuária”.

Semelhante processo ocorreu para determinação da “Área total agrícola”, ou seja, total de hectares destinados à produção das culturas agrícolas como: o milho, o feijão, o sorgo, a mandioca, dentre outras que o produtor venha a adotar.

Todavia, segundo as práticas adotadas no SAF parte dessa área está ocupada com árvores remanescentes, banco de proteína e leiras (cordões) de garranchos, desta forma criou-se a variável auxiliar “Área agrícola não plantada” com o objetivo de indicar para o modelo a proporção da área já ocupada e que não pode ser contabilizada para fins de estabelecimento de culturas agrícolas. A “Área agrícola não plantada” está em função da variável “% da área agrícola não plantada” que se relaciona com a área total determinando, assim, a proporção da área agrícola ocupada com outros usos que não culturas agrícolas.

Na Figura 17 é possível observar o diagrama de fluxo correspondente a oferta de forragem gerada na área pecuária, por meio do emprego de técnicas de manipulação da caatinga nativa. Esta estrutura permite ao modelador definir qual técnica de manejo será empregada no momento da simulação.

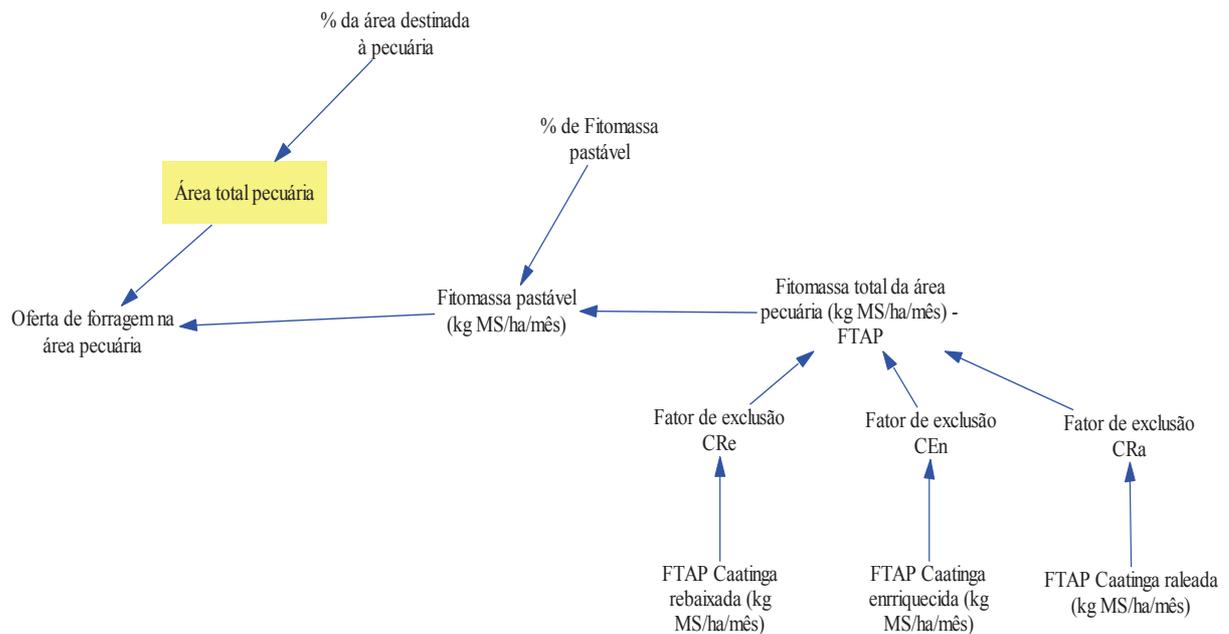


Figura 17 – Parte do Diagrama de fluxo do Subsistema Forragem apresentando a oferta de forragem na área pecuária

Fonte: Autor da pesquisa (2011).

A oferta de forragem é uma relação entre a produção total de fitomassa produzida pela caatinga e o percentual pastável da mesma, ou seja, do total que a caatinga fornece apenas parte deste total poderá ser contabilizado como alimento para o rebanho. Sendo assim, foram criadas primeiramente três variáveis auxiliares chamadas “FTAP⁹ Caatinga rebaixada (kg MS/ha/mês)”, “FTAP Caatinga enriquecida (kg MS/ha/mês)” e “FTAP Caatinga raleada (kg MS/ha/mês)” com o objetivo de fornecer ao modelo o volume de MS gerado pela caatinga de acordo com o manejo florestal adotado.

Essas variáveis se relacionam com seus respectivos Fatores de exclusão que funcionam como uma “chave liga/desliga” permitindo a entrada da produção de fitomassa oriunda de um ou mais dos manejos da caatinga (CRe – caatinga rebaixada, CEn – caatinga enriquecida e CRa – caatinga raleada) adotado pelo produtor, alimentando dessa forma a variável auxiliar “Fitomassa total da área pecuária (kg MS/ha/mês)” - FTAP.

De posse do total produzido de MS o modelo relaciona a produção total com a variável “% de Fitomassa pastável” condicionando a variável anterior por meio da determinação da proporção de fitomassa total que deve ser contabilizada como fonte de alimento para o rebanho. Dessa relação são originados os valores de fitomassa pastável.

⁹ Sigla que representa a Fitomassa Total da Área Pecuária – FTAP.

Por fim, o modelo relaciona a produção de matéria seca por hectare e a “Área total pecuária” obtendo dessa relação a oferta de forragem na área pecuária.

3.3.1.4 Subsistema Agricultura

Estima a produção vegetal da área destinada a cada cultura (leguminosa, milho, feijão, mandioca e sorgo) e o quanto esse subsistema contribui para a oferta total de forragem. O mesmo é composto pelos diagramas referentes ao banco de proteína e a cada cultura agrícola simulada.

Na Figura 18 é apresentada a estrutura correspondente ao Banco de Proteína estabelecido na área agrícola. Além de contribuir com a oferta de forragem, promove a fixação de nutrientes no solo, principalmente o Nitrogênio.

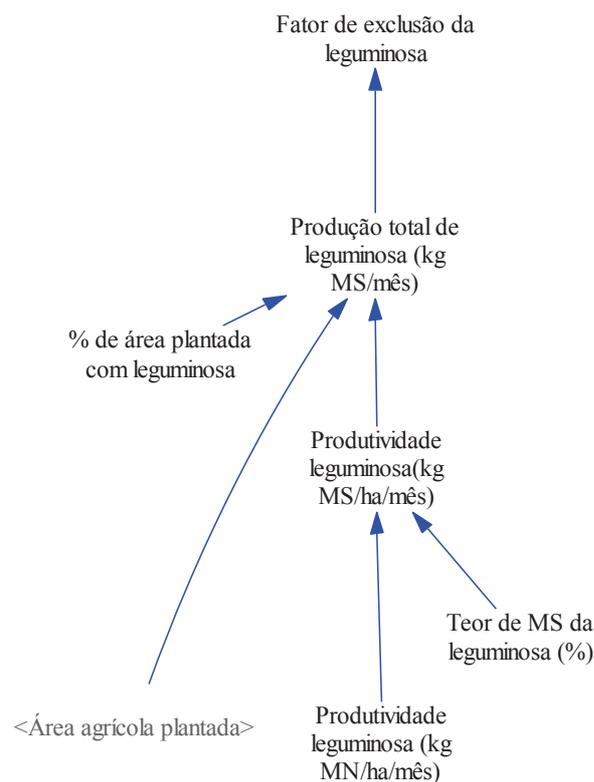


Figura 18 – Parte do Diagrama de fluxo do Subsistema Agricultura apresentando a dinâmica do Banco de Proteína

Fonte: Autor da pesquisa (2011).

A leguminosa escolhida para compor o banco de proteína foi a leucena (*Leucaena ssp*) por apresentar boa adaptabilidade à área e ser considerada uma excelente fonte de proteína na alimentação animal.

Para determinação da contribuição do banco de proteína para a oferta de forragem foram selecionadas as variáveis “Produtividade leguminosa (kg MN/ha/mês)” que correspondente à quantidade de biomassa da parte aérea produzida pela cultura; a variável “Teor de MS da leguminosa (%)”, variável que determina para o modelo o percentual de MS encontrado na biomassa da parte aérea produzida, o que torna possível a conversão da matéria natural (MN) em matéria seca e a “Área agrícola plantada” para que fosse possível quantificar a “Produtividade leguminosa (kg MS/ha/mês)” por hectare para posteriormente ser relacionada à variável “% de área plantada com leguminosa”

A partir dessas interações gerou-se a “Produção total de leguminosa (kg MS/mês)” que estabelece a quantidade de MS da parte aérea produzida pela cultura na área total destinada a agricultura.

A variável “Fator de exclusão da leguminosa” determina a entrada da produção de forragem oriunda do banco de proteína no sistema. Indica ao modelo quando as informações referentes ao banco de proteína deverão ser contabilizadas.

A Figura 19 apresenta as relações estabelecidas para a cultura do milho, possibilitando ao produtor verificar a dinâmica da produção de milho em grão e espiga, além da produção de biomassa que contribuirá para a alimentação animal e os rendimentos oriundos da venda destes produtos caso o produtor opte por vender parte ou totalidade da produção.

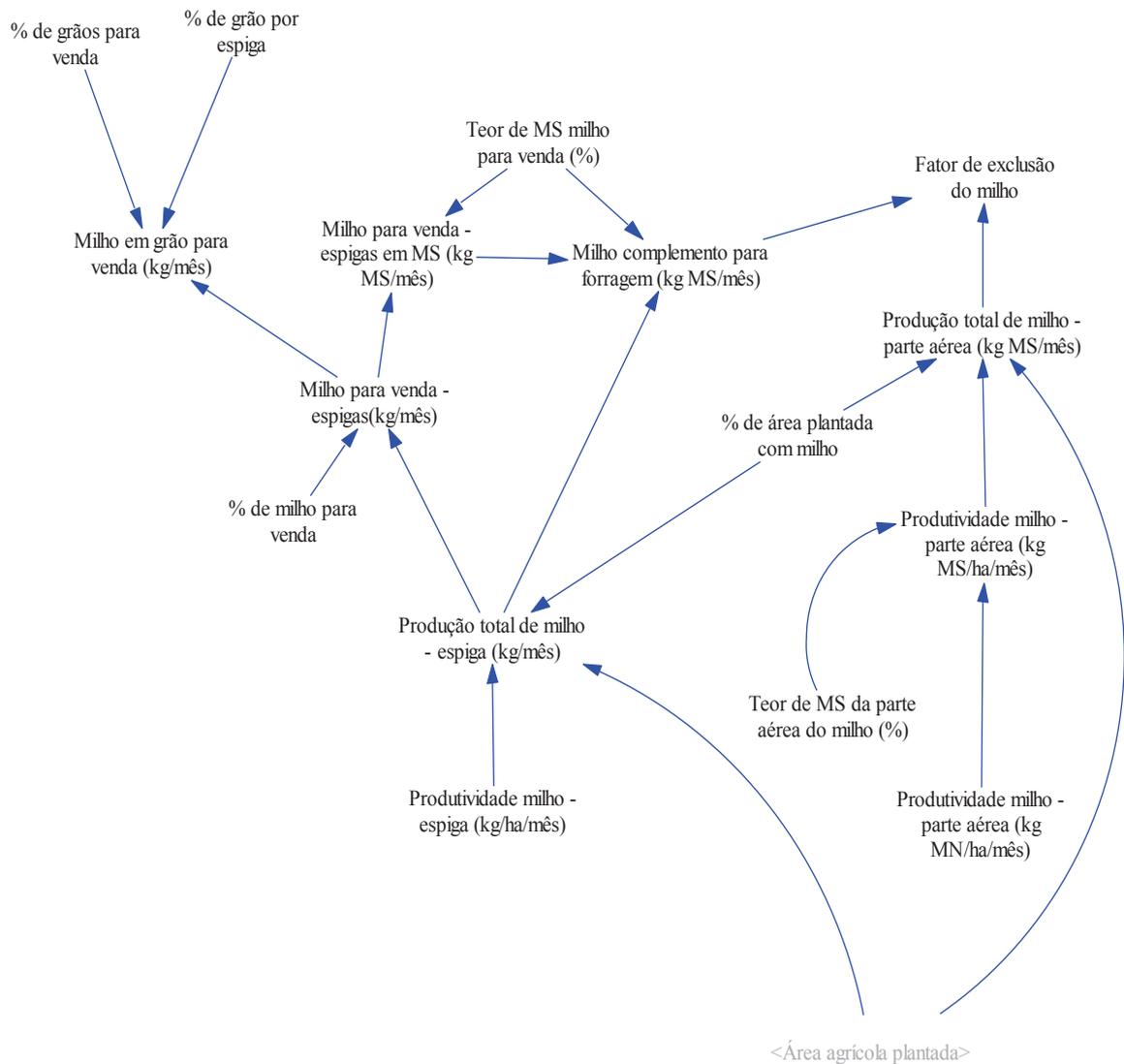


Figura 19 – Parte do Diagrama de fluxo do Subsistema Agricultura apresentando a dinâmica da cultura do milho
Fonte: Autor da pesquisa (2011).

Os dois principais fluxos observados neste diagrama correspondem, primeiramente, à produção de forragem por meio da biomassa produzida pela cultura, principalmente devido ao aproveitamento da parte aérea da planta, e o segundo corresponde à produção de grãos.

Inicialmente compõem esse diagrama as variáveis auxiliares “Produtividade milho - parte aérea (kg MN/ha/mês)” que indica para o modelo a produtividade média em termos de matéria natural verificada durante a construção do banco de dados; a “Produtividade milho - parte aérea (kg MS/ha/mês)” que relacionada à variável “Teor de MS da parte aérea do milho (%)” permite a conversão da MN em MS. Essa conversão é de fundamental importância, pois a demanda do rebanho foi estabelecida com base na MS.

A “Produção total de milho - parte aérea (kg MS/mês)” está diretamente relacionada à variável “% de área plantada com milho” que delimita, da área total agrícola, o percentual ocupado com esta cultura.

Além da parte aérea, o modelo procurou simular a produção de milho em espiga. Assim como para determinação da biomassa da parte aérea, buscou-se informação na literatura a cerca da “Produtividade do milho - espiga (kg/ha/mês)” para que fosse indicado para o modelo o total de espigas produzidas em média, em quilograma por hectare por mês. De posse do percentual plantado criou-se a variável “Produção total de milho - espiga (kg/mês)” com o objetivo de converter o valor por hectare em valor total da área.

O total de espigas produzidas pode seguir dois destinos, ou seja, poderá seguir para alimentação dos animais e/ou destinado à venda. Dessa forma, o modelo foi desenvolvido para que fosse possível simular tais destinos. Para tanto se criaram as variáveis “Milho para venda - espigas (kg/mês)” que é influenciada pela “% de milho para venda” capaz de condicionar o percentual da produção total de milho que será destinada à venda caso seja esta a decisão do produtor.

Do milho destinado para a venda o produtor poderá optar, ainda, pela venda do milho em grão ou espiga. Neste sentido, fez-se necessária a determinação de uma variável que pudesse indicar para o modelo a proporção de grão gerada segundo a quantidade de espiga produzida. Assim, incluiu-se no modelo as variáveis “Milho em grão para venda (kg/mês) e o “% de grão por espiga”. A partir dessa relação o volume produzido relaciona-se, por conseguinte, ao “% de grãos para venda”.

Caso o produtor opte por destinar a produção de espigas para a alimentação animal a quantidade produzida deverá ser convertida em base de MS. A variável “Milho para venda - espigas em MS (kg MS/mês)” possibilitou ao modelo desenvolver essa transformação do milho em espigas para milho em termos de MS, a partir do estabelecimento da relação entre essa variável e o “Teor de MS milho para venda (%)” que indica o percentual a ser considerado no momento da conversão do grão em MN para MS.

Por fim, a variável “Fator de exclusão do milho” determina a entrada da produção de milho no sistema.

Outra cultura agrícola igualmente inserida no modelo foi o feijão (Figura 20). Ela foi incluída no modelo por se tratar, segundo Andrade Júnior *et al.* (2007), de uma cultura bastante explorada na região e caracterizar-se como um dos produtos da agricultura familiar contribuindo para segurança alimentar e o incremento da receita.

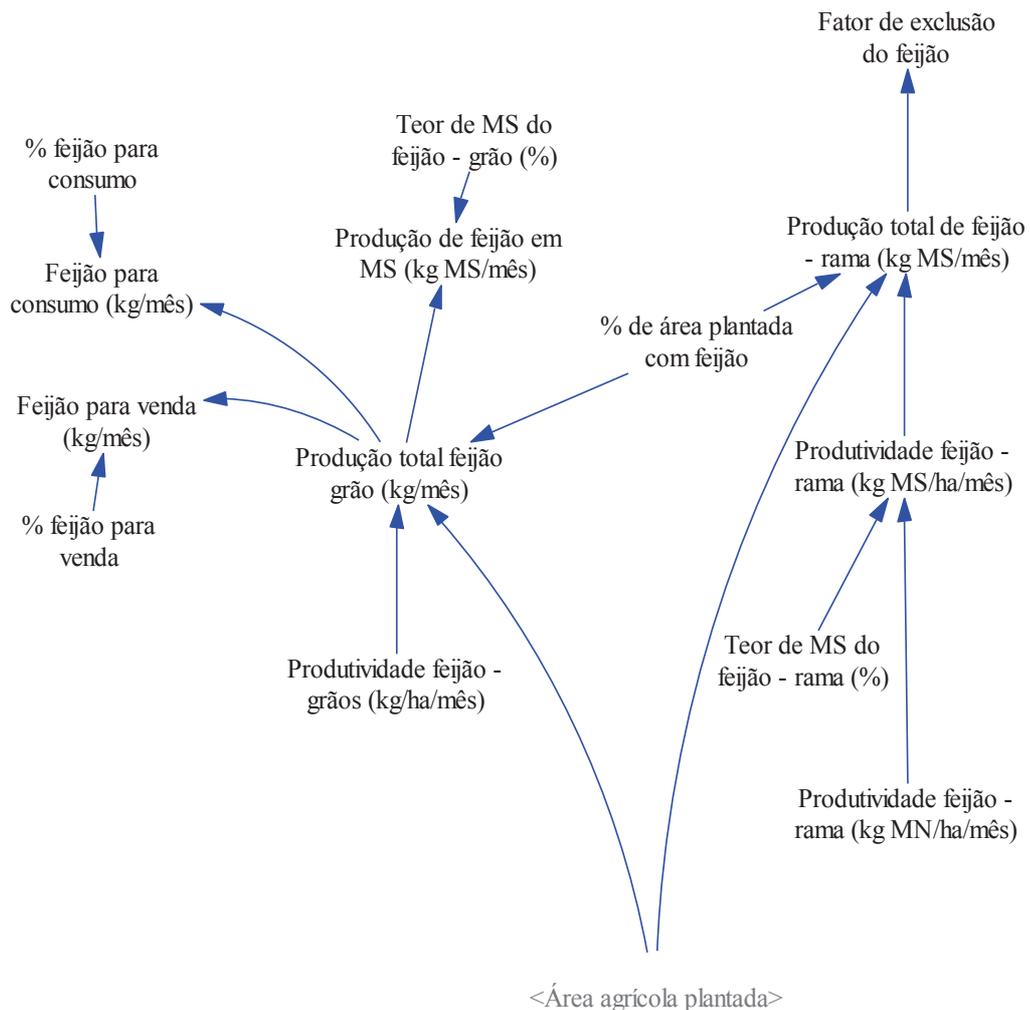


Figura 20 – Parte do Diagrama de fluxo do Subsistema Agricultura apresentando a dinâmica da cultura do feijão
Fonte: Autor da pesquisa (2011).

Assim como na cultura do milho buscou-se representar a produção de biomassa por meio da rama e a produção de grãos. A rama do feijão pode ser caracterizada como um resíduo da agricultura, assim como a palhada do milho. Atualmente pesquisas vêm sendo desenvolvidas com o intuito de incluir estes e outros tipos de resíduos da agricultura na alimentação animal (FERREIRA *et al.*, 2009; NEIVA *et al.*, 2006; PEREIRA *et al.*, 2008). Esse tipo de resíduo pode ainda ser aproveitado como adubo verde o que lhe confere um papel importante dentro do sistema tanto no que se refere à manutenção da qualidade do ambiente como pela produção de alimento.

A “Produção de feijão em MS (kg MS/mês)” foi determinada relacionando-se as variáveis “Produtividade feijão - rama (kg MN/ha/mês)” e “Teor de MS do feijão - rama (%)”

para determinação da “Produtividade feijão - rama (kg MS/ha/mês)” que por sua vez está diretamente relacionada à “Área agrícola plantada” e o “% de área plantada com feijão”.

Já a “Produção total feijão grão (kg/mês)” foi determinada relacionando-se as variáveis “Produtividade feijão - grãos (kg/ha/mês)” - que indica para o modelo o total de grãos produzidos em média, em quilograma por hectare por mês -, a variável “Área agrícola plantada” e o “% de área plantada com feijão”, assim como na determinação da produção de biomassa da parte aérea da cultura.

Os grãos produzidos poderão seguir dois destinos, ou seja, o consumo familiar ou a venda. Assim, foram acrescentadas ao modelo a variável “Feijão para consumo (kg/mês)” que está condicionada ao “% feijão para consumo” e a variável “Feijão para venda (kg/mês)” que relaciona-se com o “% feijão para venda”.

O “Fator de exclusão do feijão” indicará para o modelo quando deverão ser consideradas as informações referentes a esta cultura.

A cultura da mandioca constitui-se como uma das fontes mais importantes de alimento para o homem e para os animais e geração de renda, não só por ser uma cultura resistente e adaptável a diversas regiões, mas pelos seus múltiplos usos. Esta cultura é desenvolvida, basicamente, por agricultores familiares. Neste contexto a inclusão desta atividade no modelo torna-se fundamental. Na Figura 21 é apresentado o diagrama correspondente à cultura da mandioca.

Caso o produtor opte por direcionar parte ou a totalidade da produção para a alimentação animal essa produção deverá ser convertida em base de MS. Dessa forma, a produção destinada a tal fim será relacionada com a variável “Teor de MS da raiz de mandioca (%)” e influenciará a variável “Mandioca raiz para complementação forragem (kg MS/mês)”.

A quantidade de mandioca destinada para venda, representada pela variável “Mandioca raiz para venda (kg/mês)” foi determinada pela relação entre a “Produção total de mandioca - raiz (kg/mês)” e o “% mandioca raiz para venda”.

O sorgo por sua vez, constitui-se como outra importante fonte de oferta de forragem (Figura 22). Sua palhada ou restolho, bem como suas panículas podem ser utilizados para complementar a alimentação para a manutenção do rebanho.

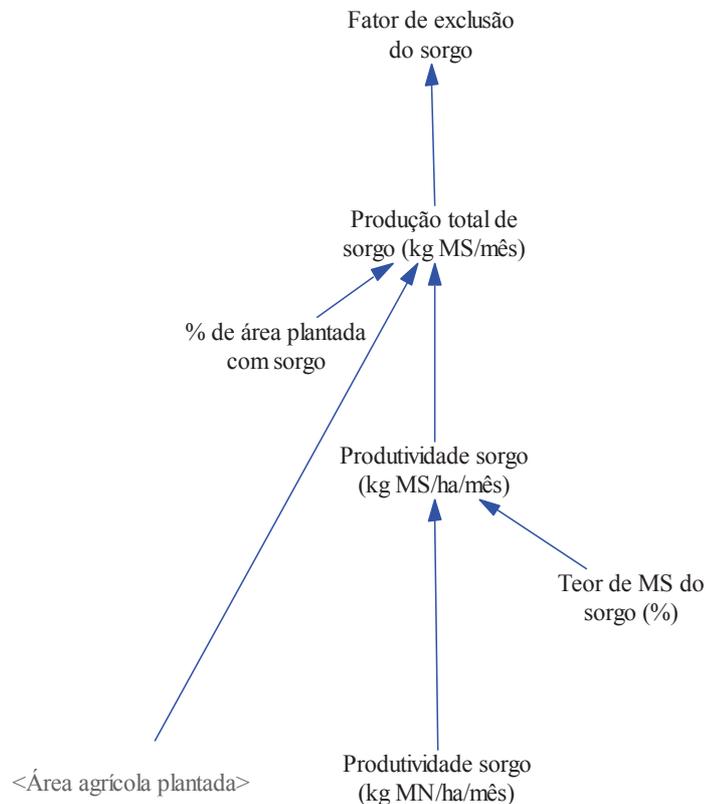


Figura 22 – Parte do Diagrama de fluxo do Subsistema Agricultura apresentando a dinâmica da cultura do sorgo
Fonte: Autor da pesquisa (2011).

A “Produção total de sorgo (kg MS/mês)” é determinada por meio da função entre a “Produtividade do sorgo (kg MS/ha/mês)” e o “% de área plantada com sorgo” em relação a “Área agrícola plantada”. Para que os valores de biomassa produzidos fossem transformados em MS relacionou-se a “Produtividade sorgo (kg MN/ha/mês)” com o “Teor de MS do sorgo (%)”, teor esse baseado em dados da literatura.

Depois de estabelecidas as estruturas referentes às culturas agrícolas criou-se o diagrama capaz de determinar a produção total de forragem ofertada (Figura 23).

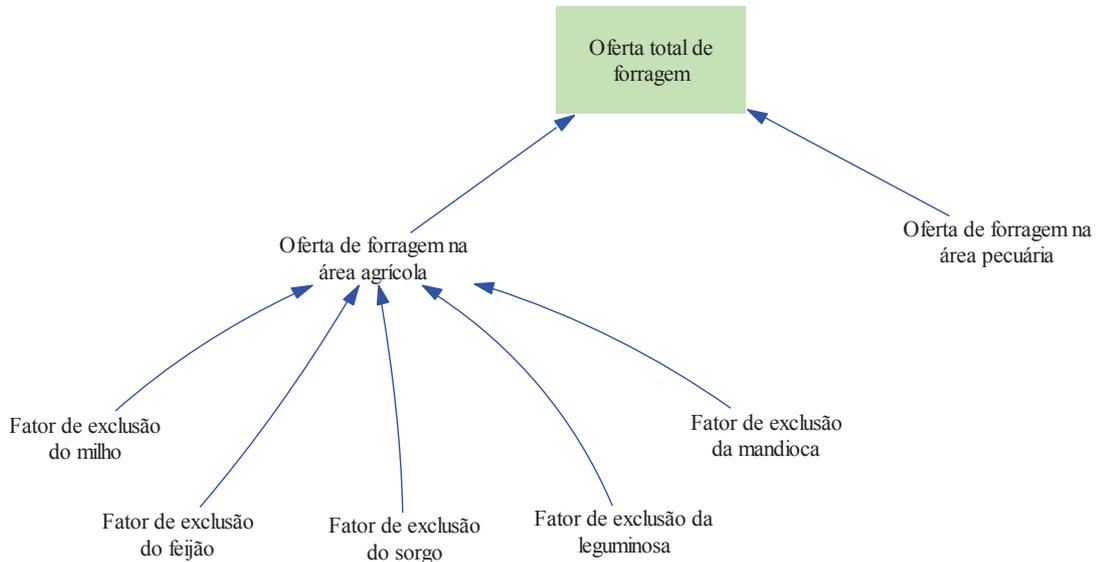


Figura 23 – Diagrama de fluxo da oferta total de forragem produzida pelas áreas pecuária e agrícola
Fonte: Autor da pesquisa (2011).

A “Oferta total de forragem” compreende o total de matéria seca oriunda da área pecuária e a agrícola permitindo o acompanhamento da quantidade de forragem em base de MS ofertada, possibilitando ao produtor verificar se a oferta supre a demanda do rebanho.

3.3.1.5 Subsistema Serviços Ambientais (Carbono)

Responde pela dinâmica de acúmulo de carbono na área. Neste estudo preconizou-se o estudo do ciclo deste elemento, visto que o mercado de Carbono já se encontra mais desenvolvido, o que pode complementar a renda do produtor que adote esta técnica de manejo conservacionista. Na Figura 24 pode-se observar o diagrama de fluxo desse subsistema.

Foram desenvolvidos dois principais fluxos. O primeiro permite determinar quanto de carbono está sendo retirado da atmosfera e o segundo possibilita converter o CO₂ acumulado em CO₂ equivalente, que corresponde à forma de comercialização praticada nesse mercado.

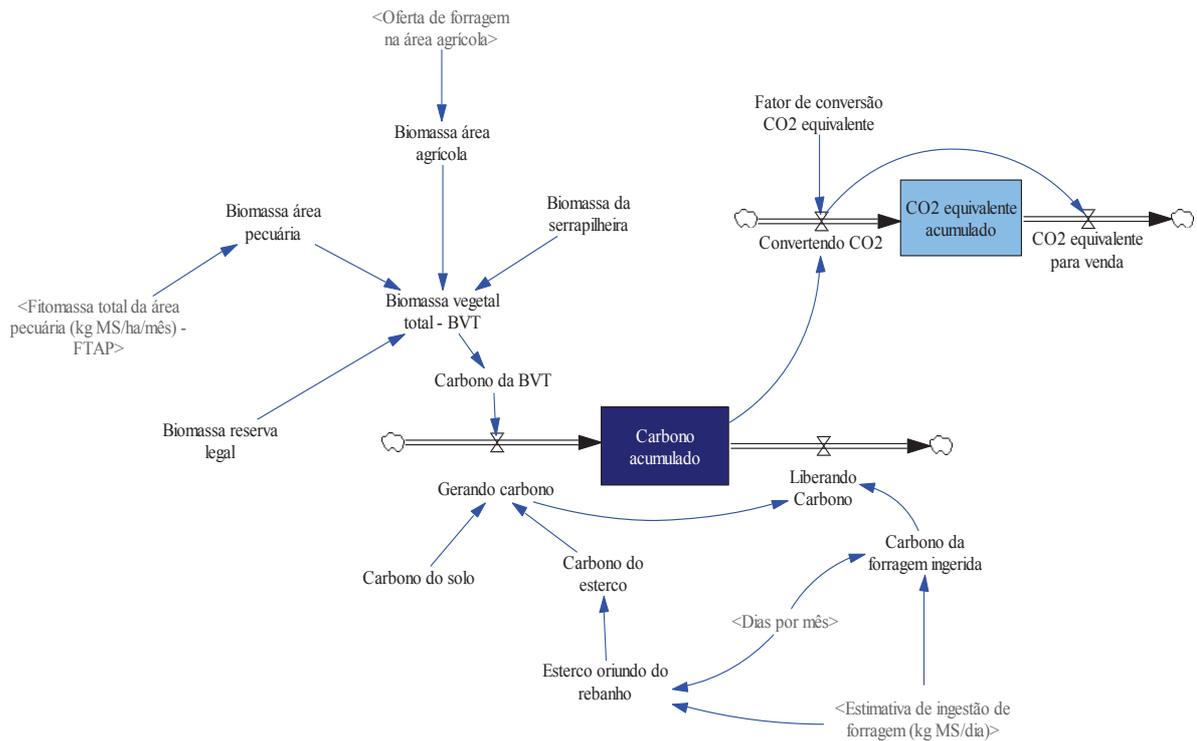


Figura 24 – Diagrama de fluxo da dinâmica do Carbono na área
 Fonte: Autor da pesquisa (2011).

Considerou-se para fins de estabelecimento das inter-relações desse subsistema o conceito que as árvores e o solo, principalmente, podem ser tanto reservatórios como fontes de carbono. Isto vai depender de como e com que propósito são manejados e como são utilizados seus produtos. As árvores atuam como reservatórios ao absorver o carbono atmosférico por meio da fotossíntese, retendo-o na biomassa, principalmente, na forma de madeira.

Para estimar o fluxo de carbono tomou-se como base a metodologia proposta por Arevalo, Alegre e Vilcahuaman (2002) para estimar o estoque de carbono em diferentes sistemas de uso da terra.

Dessa forma definiram-se as diferentes fontes de C (elemento carbono) que contribuem para o estoque de C no sistema, são elas: Carbono da Biomassa Vegetal Total (BVT), carbono do solo e carbono do esterco.

A BVT está relacionada à produção de biomassa da área agrícola (que corresponde à quantidade de biomassa produzida nessa área, é determinada por meio da variável “Oferta de forragem na área”), da área pecuária (oriunda das variáveis “Área total

pecuária” e “Fitomassa total da área pecuária (Kg MS/ha/mês) – FTAP”), da área de reserva legal e da serrapilheira¹⁰.

A variável “Carbono do solo” se relaciona diretamente com a “Área total do sistema” e indica ao modelo a contribuição do solo para o acúmulo total de carbono. Por fim, a variável “Carbono do esterco” indica o percentual de carbono existente no esterco gerado pelos animais presentes no sistema. O esterco oriundo do rebanho constitui-se com uma fonte de retorno ao sistema de parte da biomassa ingerida.

O carbono gerado entra no modelo por meio do fluxo “Gerando carbono”. Em seguida segue para o estoque “Carbono acumulado” que determinará a quantidade de carbono gerada no SAF, permitindo ao modelador verificar os níveis de carbono no sistema em um instante t da simulação.

O fluxo “Liberando Carbono” relaciona-se com o estoque “Carbono acumulados” como um fluxo de saída do sistema uma vez que representa as perdas de carbono pelo mesmo. Esse fluxo corresponde basicamente à perda por meio da ingestão da biomassa ingerida pelos animais, visto que neste sistema são adotadas práticas que minimizam as fontes de perda de C, como, por exemplo, as queimadas e práticas que ocasionem a erosão do solo.

Uma vez determinada a quantidade de C estocada necessita-se converter esse estoque em CO₂ equivalente, ou seja, quantidade de gás sobre o qual é valorado o serviço do sistema agrossilvipastoril de fixar carbono e que deve servir de base para os cálculos do fluxo de caixa para um possível projeto.

Essa conversão ocorre por meio da relação entre a variável auxiliar “Fator de conversão CO₂ equivalente” que indica para o modelo o valor que deve ser multiplicado ao peso atômico do carbono utilizado para converter molécula de C para a de CO₂ e o fluxo “Convertendo CO₂”, fluxo de entrada para conversão do carbono em CO₂ equivalente.

Após a conversão é possível verificar a quantidade de CO₂ produzida pelo SAF verificando os valores da variável “CO₂ equivalente acumulado”. Caso exista um mercado ativo para a condição deste produtor esse estoque segue para o fluxo “CO₂ equivalente para venda” que demonstrará a quantidade de CO₂ equivalente destinado à venda.

¹⁰ Serrapilheira ou serapilheira é a camada formada pela deposição e acúmulo de matéria orgânica morta em diferentes estágios de decomposição oriunda da biota que reveste superficialmente o solo. Esta matéria orgânica corresponde às folhas, os galhos, os frutos, às flores que senescem e caem da copa da plantas e também as raízes que morrem e entram em processo de decomposição no próprio solo, além de resíduos de origem animal. É considerada como uma importante via de retorno de nutrientes ao solo. (MANSON, 1980; DIAS; OLIVEIRA FILHO, 1997).

3.3.2 Ferramentas (*software*) utilizadas para elaboração do modelo

Existem diversos *softwares* desenvolvidos para a simulação dinâmica de sistemas: Powersim, Stella, Vensim, Ithink, o que possibilita a aplicação em diversas áreas como engenharia, biologia, agricultura, saúde, economia, ciências sociais. Para Sgrillo e Sgrillo (2006) estes *softwares* possuem uma interface gráfica que permite o desenho do modelo e a introdução das equações necessárias. Do pesquisador é exigido somente um conhecimento básico de matemática, não sendo necessário nenhum conhecimento de programação.

Neste estudo adotou-se o *software* Vensim, produzido pela Ventana Systems® por ser de fácil manipulação, com funções suficientes para desenvolvimento do trabalho e gratuito. O programa utiliza uma satisfatória interface gráfica e símbolos que representam elementos do processo. Os símbolos são usados para gerar rapidamente modelos de simulação dinâmica, pela criação de relacionamentos que representem algum processo.

3.3.2.1 Principais funções utilizadas na construção do modelo

As funções disponíveis no *software* Vensim, utilizado neste estudo para compor o modelo, permitem ao modelador programar por meio de expressões matemáticas as relações entre as variáveis (Apêndices G ao K). No Quadro 3 são descritas as principais funções utilizadas para estabelecer tais relações.

Função	Descrição/Exemplo
<i>INTEGER</i> ({ <i>x</i> })	Utilizada geralmente em variáveis estocásticas onde são gerados números inteiros aleatórios, ou seja, valores discretos e não contínuos. Ex.: <i>Nº de matrizes no rebanho = INTEG (Entrando matrizes de reposição - Matrizes descartadas - Mortalidade matrizes, Nº inicial de matrizes)</i>

<p><i>IF THEN ELSE</i>(<i>{cond}</i>,<i>{ontrue}</i>, <i>{onfalse}</i>)</p>	<p>Considerada como uma variável de decisão onde a condição é avaliada; caso verdade lê-se o comando estabelecido como verdadeiro, caso contrário lê-se o comando falso. Observa-se que é possível relacionar outras variáveis dentro desta função.</p> <p>Ex.: <i>Reprodutores necessários no rebanho = IF THEN ELSE((Nº de matrizes no rebanho/"Relação fêmea/macho")<=1 , 1 , Nº de matrizes no rebanho/"Relação fêmea/macho")</i></p>
<p><i>DELAY FIXED</i>(<i>{in}</i>,<i>{dtime}</i>,<i>{init}</i>)</p>	<p>A variável <i>Delay Fixed</i> promove um retardo (atraso) da relação entre as variáveis seguintes, ou seja, quanto tempo levará para se obter a resposta desta relação.</p> <p>Ex.: <i>Transição desmamados = DELAY FIXED (Nascimentos*(1-Taxa de mortalidade no aleitamento) , Tempo em aleitamento, 0)</i></p>
<p><i>PULSE</i>(<i>{start}</i>,<i>{duration}</i>)</p>	<p>Função utilizada para alterar o valor de uma variável durante um único período no tempo.</p> <p>Ex.: <i>Início do descarte = PULSE(24, 1^{e+010})</i></p>
<p><i>PULSE TRAIN</i>(<i>{start}</i>,<i>{duration}</i>, <i>{repeattime}</i>,<i>{end}</i>)</p>	<p>Função utilizada para alterar o valor de uma variável durante uma quantidade determinada de “ciclos”, retomando seu valor original a cada novo ciclo. No exemplo seguinte, verifica-se que o pulso está relacionado à variável controle de intervalo entre nascimentos, que estabelece quando este deve retomar sua condição inicial.</p> <p>Ex.: <i>Intervalo entre nascimentos = PULSE TRAIN(8, 1 , Controle de intervalo entre nascimentos, 1^{e+010})</i></p>

$RANDOM\ NORMAL(\{min\}, \{max\}, \{mean\}, \{stdev\}, \{seed\})$	<p>Fornece ao modelo valores aleatórios compreendidos dentro dos valores estabelecidos. Diferentemente do RANDOM UNIFORM possui uma maior variação.</p> <p>Ex.: $Fertilidade = RANDOM\ NORMAL(0.85, 0.95, 0.9432, 0.5, 1234)$</p>
$RANDOM\ UNIFORM(\{min\}, \{max\}, \{seed\})$	<p>Assim como a variável RANDOM NORMAL fornece ao modelo valores aleatórios compreendidos dentro dos valores estabelecidos, todavia sua variação está condicionada simplismente pelos valores mínimo e máximo e desvio padrão.</p> <p>Ex.: $Prolificidade = RANDOM\ UNIFORM(1, 2, 1234)$</p>

Quadro 3 – Principais funções utilizadas na construção do modelo.

Fonte: Autor da pesquisa (2011).

Associadas a estas variáveis estão algumas constantes do modelo como o *Initial e Final Time* que correspondem, respectivamente, ao início e ao fim do período simulado, ou seja, o horizonte de tempo total; e o *Time Step* ou intervalo de tempo entre cada simulação (para esta simulação adotou-se um *Time step* de 0,03125 meses).

3.3.3 Desenvolvimento, análise e elaboração dos cenários

O processo de construção dos cenários deu-se por meio da adaptação do Método de Grumbach (1997) em quatro etapas, sendo elas: identificação do Sistema, diagnóstico estratégico, visão estratégica e consolidação.

a) Fase 1 - Identificação do Sistema

A identificação do sistema trata-se do conjunto de informações que caracterizam e individualizam o sistema, no ambiente em que se encontra inserido, e que orientam a

realização de todo o seu Planejamento Estratégico, uma vez que, nesses dados, está definido o propósito do sistema.

Com base nessas informações alimentou-se o *software* para a elaboração do modelo e simulações que foram realizadas. Esses dados fundamentais do Sistema constituíram os parâmetros que orientaram a fase seguinte, o Diagnóstico Estratégico.

b) Fase 2 - Diagnóstico Estratégico

Esta fase constou de um diagnóstico detalhado do SAF e do Ambiente (Bioma) em que ele se insere, visando extrair de ambos, respectivamente, os pontos de estrangulamento, as oportunidades e as ameaças do Ambiente, que comporão, por sua vez, estratégias de Futuro.

Com relação ao Sistema, foram realizadas análises de natureza estrutural, funcional e de recursos. Quanto ao Ambiente, estudaram-se os comportamentos das ações antrópicas ao longo do processo de exploração do mesmo.

A utilização do *software* Vensim, para modelagem das informações coletadas nessa fase, possibilitará o acompanhamento e monitoramento das estratégias a serem estabelecidas na próxima fase. É com base nesse diagnóstico dinâmico da situação atual, que se extraem as informações relevantes do Sistema e do Ambiente. Uma vez concluído o Diagnóstico Estratégico, deverá ter um conjunto de estratégias de futuro.

c) Fase 3 - Visão Estratégica

A identificação do sistema trata-se do conjunto de informações que caracterizam e individualizam o sistema, no ambiente em que se encontra inserido, e que orientam a realização de todo o seu Planejamento Estratégico, uma vez que, nesses dados, está definido o propósito do sistema.

A partir das Estratégias de Futuro, conduziu-se, inicialmente, em paralelo, duas etapas, denominadas, respectivamente, modelagem presente e modelagem futura. A primeira buscou o estabelecimento de medidas de curto e médio prazos, com base em uma visão atual do sistema e do ambiente. A segunda visou o estabelecimento de medidas de médio e longo prazos, a partir de uma visão de futuro do ambiente, com base na geração e interpretação de Cenários Prospectivos.

A seguir, conduziu-se uma terceira Etapa, a Avaliação dos Cenários, observando as causas e consequências das estratégias (medidas) sugeridas no Diagnóstico Estratégico.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A necessidade de analisar, de forma mais integrada, os modelos produtivos existentes, compreendendo sua dinâmica, as interações de seus componentes, torna-se cada vez mais necessária aos tomadores de decisão. Este novo método de estudo busca descobrir, analisar e prever as falhas que impedem a otimização da performance e qualidade desses modelos.

Desta forma, neste item, são descritos os resultados encontrados a partir das análises feitas por meio do estudo das inter-relações que compõem a estrutura do Sistema Agrossilvipastoril, aqui descrito por meio de seus subsistemas, visando elucidar seus efeitos sistêmicos e identificando barreiras ao seu melhor funcionamento e pontos de sinergia.

4.1 Subsistema Animal I

Com o objetivo de atender o propósito deste subsistema em demonstrar a dinâmica do rebanho, segundo as decisões do produtor, criaram-se cenários que permitissem observar a sensibilidade do sistema à tomada de decisão do produtor durante o período de 10 anos.

No Cenário 1 tem-se a representação do diagnóstico inicial da área estudada onde o número de matrizes inicial foi de 20 fêmeas da raça anglo nubiana manejadas de forma a obter-se uma estação de nascimento¹¹ por ano. Neste modo de produção prioriza-se a produção de leite uma vez que o intervalo entre partos aumenta, permitindo, assim, um maior período de lactação. No Cenário 2 o número de matrizes permanece o mesmo, todavia o intervalo entre partos diminui com o objetivo de proporcionar uma estação de nascimento a cada 8 meses, computando três partos a cada dois anos. Esta prática é possível devido o Nordeste apresentar pouca variação no ciclo anual do fotoperíodo.

Segundo Simplício *et al.* (2001) em regiões com estas características as cabras apresentam estro e ovulam ao longo de todos os meses, estando a atividade reprodutiva mais

¹¹ O conceito de Estação de Nascimento consiste em um período onde há ocorrências de partos concentrados. Essas ocorrências são referentes às práticas reprodutivas estabelecidas pelo produtor.

relacionada com a disponibilidade e qualidade de forragens e o estado de saúde dos animais, bem como conhecimento e acompanhamento técnico, o que pode onerar ainda mais a atividade. Neste modo de produção prioriza-se a produção de carne ao leite, uma vez que a produção de leite diminui em detrimento ao aumento do número de animais nascidos. A partir destas informações foi possível visualizar a dinâmica dos nascimentos de acordo com os descritos cenários (Gráfico 1).

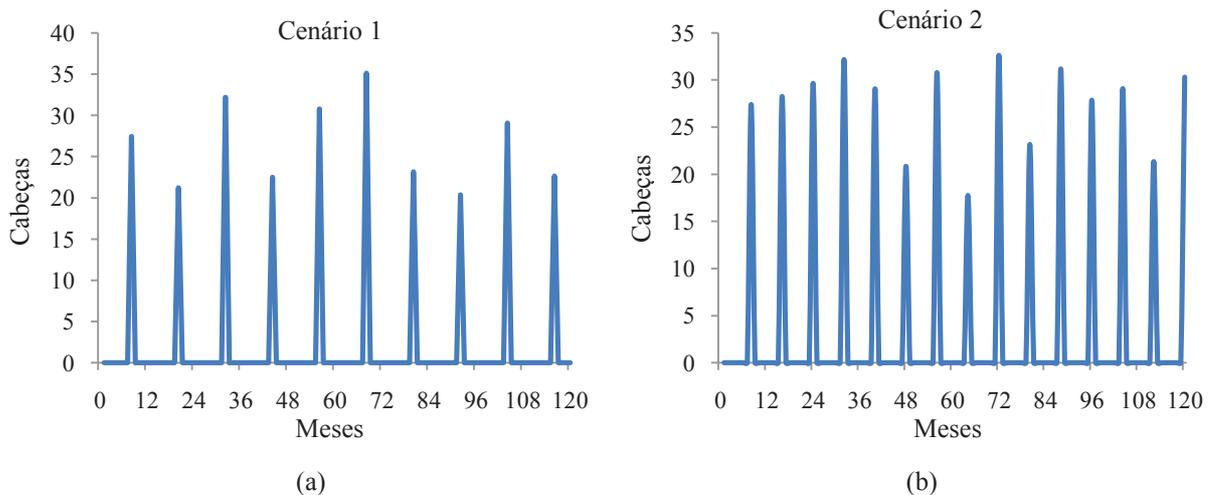


Gráfico 1 – Número de animais nascidos por estação de nascimento segundo os cenários 1(a) e 2(b)
Fonte: Resultados da pesquisa (2011).

O número médio de animais nascidos por ano no Cenário 1 permaneceu em torno de 26 animais, enquanto no Cenário 2 este número teve um incremento de 63,41%, totalizando 41 cabeças. Nesta simulação, considerou-se que 50% dos animais nascidos são machos e o restante fêmeas. Os machos oriundos do sistema, em ambos os cenários, são todos destinados à venda logo após o desmame (72 dias) com aproximadamente 8 kg de Peso Vivo (PV).

As fêmeas, diferentemente dos machos, são manejadas de acordo com a finalidade de aproveitamento, ou seja, após desmamadas algumas serão destinadas para reprodução, e, posteriormente, irão para reposição do plantel, as demais são vendidas juntamente com os machos. No Gráfico 2 é possível verificar o total da receita com a venda de animais demamados por ano.

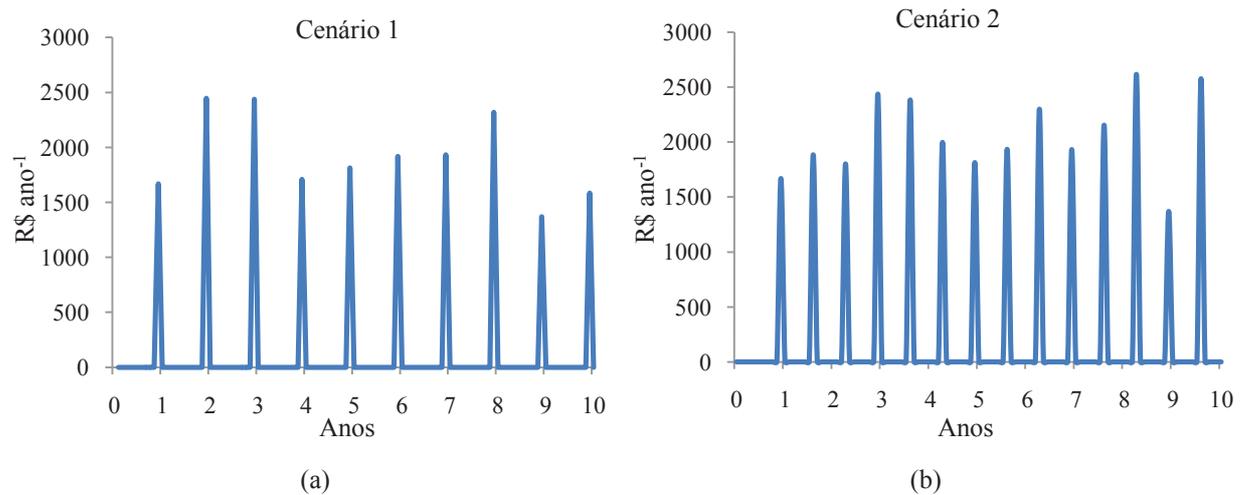


Gráfico 2 – Rendimento anual obtida com a venda de animais desmamados segundo os cenários 1(a) e 2(b)
 Fonte: Resultados da pesquisa (2011).

De acordo com o Cenário 1 o valor médio recebido pelo produtor com a venda dos animais desmamados (fêmeas + machos) fica em torno de R\$ 768,00 ano⁻¹ ($\bar{X} = 24$ cabeças ano⁻¹), enquanto no Cenário 2 o valor é de R\$ 1.152,00 ano⁻¹ ($\bar{X} = 36$ cabeças ano⁻¹), aproximadamente (considerando R\$ 4,00 kg PV⁻¹ e Peso médio por cabeça ao desmame de 8 kg). Cerca de 54,17% e 55,55% do *input* (entrada) anual da renda obtidos nos Cenários 1 e 2, respectivamente, correspondem à venda do machos. Diante do exposto observou-se que 92,31% dos animais nascidos seguiram o fluxo para venda direta no Cenário1, enquanto no Cenário 2 esta porcentagem foi de 87,80%.

O Gráfico 3 apresenta o comportamento das fêmeas jovens que seguiram para a reprodução quando atingiram maturidade sexual o que ocorre aproximadamente entre 8 a 12 meses de idade quando atingem 60 a 70% do peso vivo de um animal adulto, dependendo do fornecimento nutricional e dos cuidados gerais com as cabritas (ANDRIOLI *et al.*, 2006). Segundo a simulação, a média de fêmeas jovens para reposição do plantel por ano foi de duas cabeças no Cenário 1 e três no Cenário 2.

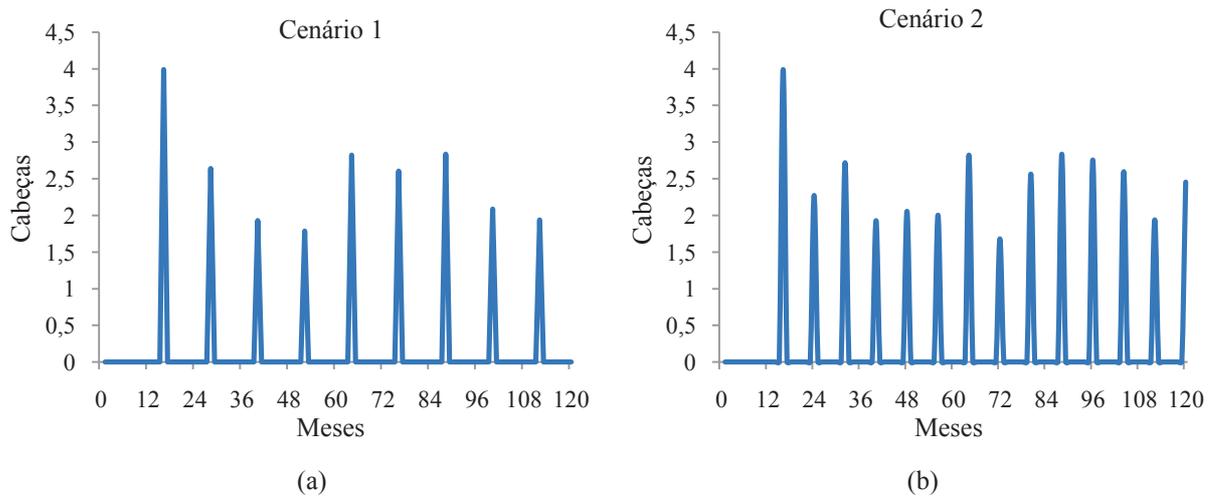


Gráfico 3 – Número de fêmeas jovens destinadas à reprodução segundo os cenários 1(a) e 2(b)
Fonte: Resultados da pesquisa (2011).

As fêmeas destinadas à reprodução, segundo a taxa de reposição adotada, podem seguir dois fluxos: reposição do plantel ou venda. Assim, caso o produtor opte por permanecer no sistema apenas as fêmeas necessárias para repor as matrizes descartadas ou que morreram (resguardando a manutenção do número inicial de matrizes), o excedente poderá ser vendido como animais para reposição/reprodução em outro plantel. O Gráfico 4a demonstra a dinâmica desta relação no Cenário 1 onde cerca de 97,08% das fêmeas permanecem ociosas. Em contra partida, 65,68% das fêmeas do Cenário 2 não são utilizadas (Gráfico 4b).

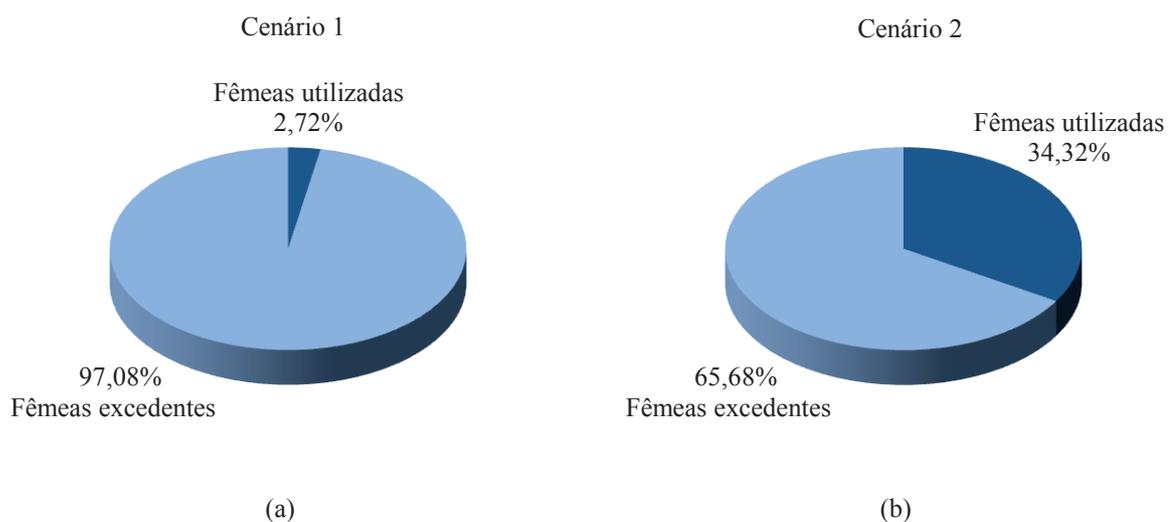


Gráfico 4 – Comportamento anual da diferença entre fêmeas jovens disponíveis para reprodução e utilizadas segundo os cenários 1(a) e 2(b)
Fonte: Resultados da pesquisa (2011).

Esta redução no número de fêmeas excedentes encontrada entre os cenários pode ser explicada, em parte, pelo fato de que no sistema de produção proposto no Cenário 2, as matrizes são utilizadas com maior intensidade, fazendo-se necessária uma maior rotatividade do plantel, seja devido a problemas reprodutivos e/ou produtivos. Além desse fato, devido ao maior número de fêmeas jovens no Cenário 2 o produtor tem uma maior capacidade de renovação do plantel.

Analisando as simulações referentes a produção de leite, verificou-se uma produção média de $571,29 \text{ L mês}^{-1}$ para o Cenário 1 (Gráfico 5a) e cerca de $508,50 \text{ L mês}^{-1}$ para o Cenário 2 (Gráfico 5b). Destes, cerca de $331,12 \text{ L mês}^{-1}$ e $123,25 \text{ L mês}^{-1}$ do total de leite produzido nos Cenários 1 e 2, respectivamente, são destinados para venda o que gera uma renda mensal de R\$ 397,34 no Cenário 1 e de R\$ 147,90 no Cenário 2 (considerando que o produto receba R\$ 1,20 por litro). O restante do leite produzido é destinado para a alimentação dos animais, o que corresponde a 54,94% e 65,40% do total produzido nos Cenários 1 e 2, respectivamente.

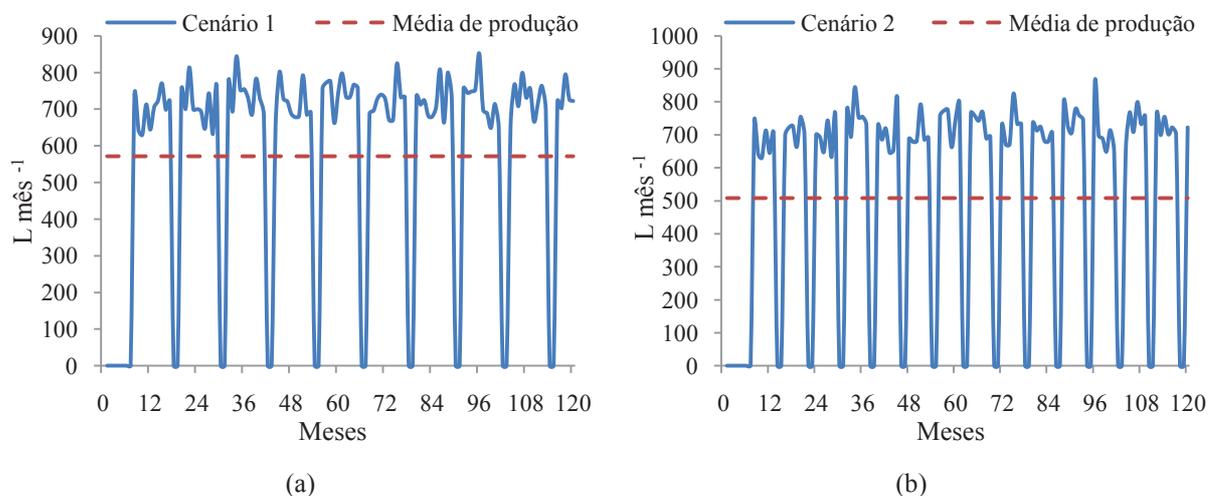


Gráfico 5 – Produção mensal de leite do sistema (L mês^{-1}) segundo os cenários 1(a) e 2(b)

Fonte: Resultados da pesquisa (2011).

Caso o produtor opte por substituir o leite de cabra fornecido aos cabritos por leite de vaca, o produtor terá um incremento de R\$ 144,10 mensais para as condições do Cenário 1 e de R\$ 231,15 para o Cenário 2 (considerando o preço R\$ 0,60 pago por litro de leite de vaca).

No Gráfico 6 são apresentadas as quantidades da produção anual de leite de acordo com os Cenários. A quantidade média produzida por ano no Cenário 1 ficou em torno

de 6.881,35 L ano⁻¹ (Gráfico 6a), enquanto no Cenário 2 esta foi de 6.127,89 L ano⁻¹ (Gráfico 6b). Observa-se uma diferença de 753,46 L ano⁻¹ na produção média anual de leite quando comparados os Cenário 1 e 2.

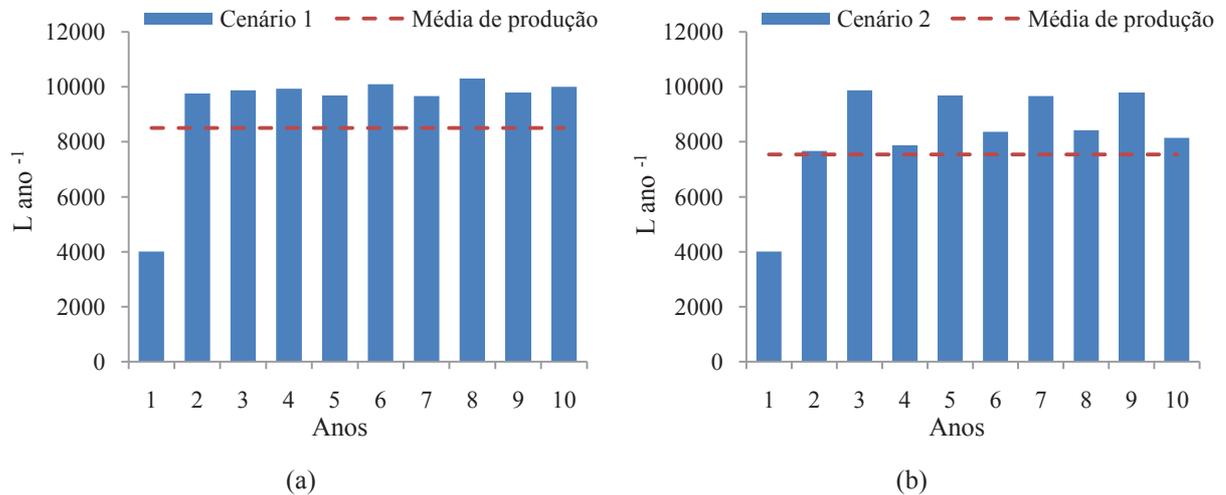


Gráfico 6 – Produção anual de leite do sistema (L ano⁻¹) segundo os cenários 1(a) e 2(b)

Fonte: Resultados da pesquisa (2011).

Observa-se, ainda, que há uma maior variação na produção de leite no Cenário 2. Isso pode ocorrer, em parte, devido a maior utilização das matrizes. Segundo Gonçalves (2001) esta produção pode sofrer influência da estação ou época do parto, ou seja, as alterações climáticas, as quais podem ter efeito direto ou indireto sobre os animais. Os efeitos diretos são os que alteram o comportamento dos animais, por exemplo o consumo de alimento. Já os indiretos estariam associados às ofertas qualitativa e quantitativa dos alimentos volumosos oferecidos aos animais nas diferentes épocas.

No intuito de melhorar a renda do produtor, outro destino que poderá ser dado ao leite produzido é a fabricação de derivados, o que para alguns produtores tem sido uma alternativa aos entraves encontrados pelos pequenos produtores rurais no momento da comercialização do leite “*in natura*”. Algumas experiências exitosas podem ser citadas como, por exemplo, a produção de derivados produzidos na mini indústria da associação dos produtores no sítio Lagoa do Carmo, em Campos Sales – Ceará. Onde o iogurte produzido está sendo inserido na merenda escolar estimulando, assim, a produção familiar e a criação de um novo mercado. Em Flores, Distrito de Russas – Ceará, a produção de queijo de cabra tem contribuído para o incremento da renda de produtores. Além destes, pode ser citado ainda o caso dos colaboradores da Cooperativa de Produtores de Pequenos Animais de Santana do

Ipanema (Copasil) e da Cooperativa de Agricultores Familiares do Sertão (Cafisa), Alagoas, que já produzem coalhada com mel e o leite pasteurizado.

Este processo possibilita uma maior diversificação da produção, fazendo com que o produtor tenha maior controle sobre a comercialização dos seus produtos. Além desta estratégia ainda é possível agregar a estes produtos o valor referente a emprego de investimentos em *marketing* e melhoramento da apresentação do produto. Para Wander e Martins (2008) antecipar as tendências e adequar-se da melhor forma possível pode significar a sobrevivência do produtor na atividade.

Apesar de representar uma alternativa para aumentar a estabilidade econômica e social dos agricultores familiares do semiárido a fabricação desses produtos ainda sofre restrições de mercado, principalmente, por causa dos seus elevados preços (HOLANDA JÚNIOR *et al.*, 2005).

4.2 Subsistema Animal II

Existem vários fatores, dentro e fora da propriedade, que limitam o aumento da produtividade e da oferta de leite ou de carne caprina no Brasil: o potencial genético dos rebanhos, a sazonalidade da produção, a qualidade das forrageiras tropicais, o clima, o manejo, o intervalo de partos, a idade ao primeiro parto, o controle das enfermidades, o gerenciamento dos rebanhos, a nutrição e a alimentação dos rebanhos, entre outros (GONÇALVES *et al.*, 2008).

Para Pereira *et al.* (2010) a escassez de alimentos volumosos para ruminantes, principalmente durante o período de baixa densidade pluviométrica, é um problema que se repete anualmente, refletindo na baixa produtividade dos rebanhos manejados em regime de pastejo, causando transtornos econômicos e gerando insegurança entre os pecuaristas.

Neste sentido a determinação da quantidade adequada de forragem para suprir as exigências de manutenção e produção do rebanho torna-se fundamental para a maximização da capacidade produtiva dos animais e do sistema.

O consumo mensal de forragem em base de matéria seca em ambos os Cenários 1 e 2 definidos no subsistema anterior, permaneceu próximo a $0,59 \text{ Mg}^{12} \text{ MS ano}^{-1}$ (Gráfico 7), considerando, segundo as simulações, estimativas de exigências por forragem das matrizes em torno de $0,98 \text{ kg MS dia}^{-1}$, dos reprodutores de $1,78 \text{ kg MS dia}^{-1}$ e dos animais jovens de $0,95 \text{ kg MS dia}^{-1}$.

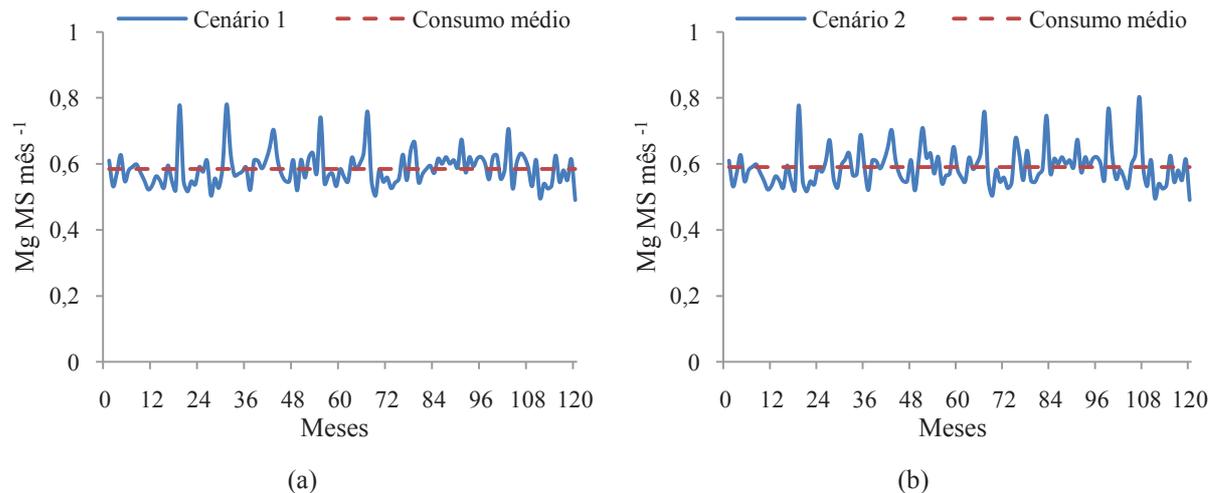


Gráfico 7 – Demanda mensal de forragem pelo rebanho (Mg MS mês^{-1}) segundo os cenários 1(a) e 2(b)
Fonte: Resultados da pesquisa (2011).

Quando se analisa a demanda anual os dois Cenários apresentam uma pequena diferença onde pode ser observada uma demanda por forragem de $7,02 \text{ Mg MS ano}^{-1}$ e $7,08 \text{ Mg MS ano}^{-1}$, respectivamente, aos Cenários 1 e 2 (Gráfico 8).

¹² A Megagrama (Mg) é uma unidade de medida de massa pertencente ao Sistema Internacional de Unidades. Equivale a Tonelada (t) que é considerado por esse sistema como unidade secundária, o qual recomenda, preferivelmente, o uso da Megagrama. A Megagrama é o terceiro múltiplo do quilograma e sexto do grama.

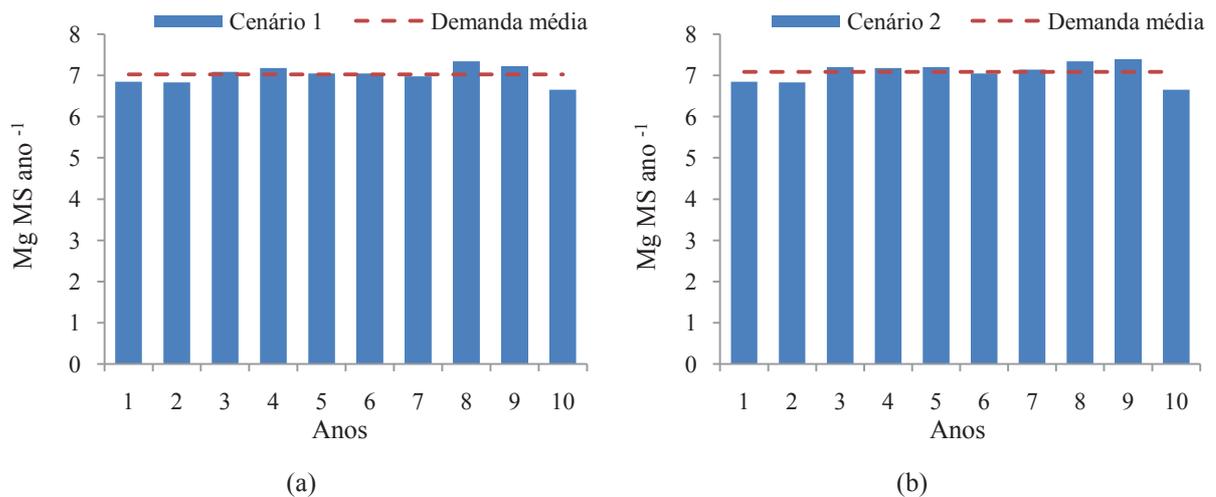


Gráfico 8 – Demanda anual de forragem pelo rebanho (Mg MS mês⁻¹) segundo os cenários 1(a) e 2(b)
 Fonte: Resultados da pesquisa (2011).

Conclui-se ainda que a demanda do rebanho por forragem não apresenta grandes variações a ponto de causar algum “estresse” ao sistema. Cabe ao produtor adotar práticas e estratégias que permitam a oferta para suprir essa necessidade.

4.3 Subsistemas Forragem e Agricultura

Morais e Vasconcelos (2007) afirmam ser a vegetação nativa dos sertões nordestinos rica em espécies forrageiras em seus três estratos, arbóreo arbustivo e herbáceo, e ressaltam, citando Silva *et al.* (1993), que acima de 70% das espécies botânicas da caatinga participam significativamente da composição da dieta dos ruminantes domésticos.

Todavia, devido às características típicas deste bioma esta oferta tende a ser sazonal e de acordo com as condições climáticas. Com o intuito de complementar essa fonte de oferta de forragem o produtor tem buscado alternativas para superar essa sazonalidade. A associação de lavouras como o milho, a mandioca e o sorgo etc. podem contribuir para a complementariedade da dieta no sistema.

A mandioca, principalmente suas raízes, destaca-se como fonte de energia, além de apresentar, mesmo que em quantidades mínimas, proteína, vitaminas, minerais e fibra. A mandioca pode ser fornecida na forma de raspa das raízes secas ao sol, e a parte aérea pode ser fenada ou usada para melhorar a silagem.

Além do aspecto relacionado à oferta de forragem a associação de lavouras tende a promover a segurança alimentar e nutricional do produtor rural e de sua família, uma vez que essa diversificação de culturas assume um papel importante na geração de renda, de empregos e retorno econômico satisfatório a todos os elos da cadeia produtiva.

A fim de verificar se o sistema agrossilvipastoril supre a demanda por forragem, identificada na análise do Subsistema Animal II, estimou-se cenários capazes de quantificar esta produção pelas áreas agrícola e pecuária.

As simulações referentes à dinâmica da oferta de forragem foram determinadas a partir da combinação entre as culturas com potencial de adequação à área estudada (milho, feijão, sorgo e mandioca), não descartando a possibilidade de inclusão futura de novas culturas. Técnicas de manejo florestal da caatinga, foram incluídas nos cenários, uma vez que este modelo de produção tem como um de seus principais objetivos, conservar o bioma permitindo que as gerações futuras possam usufruir dos benefícios oriundos deste ecossistema.

No total foram gerados 108 cenários de usos da terra associados aos Cenários 1 e 2 descritos nos subsistemas anteriores, sendo que para cada manejo florestal adotado (raleamento, rebaixamento e enriquecimento)¹³ obteve-se 18 opções de consorciação das culturas agrícolas.

No Gráfico 9 é possível avaliar o balanço de forragem na área. De acordo com as simulações ambos os cenários de uso da terra atendem à demanda do rebanho, de aproximadamente 7,02 Mg MS ano⁻¹ e 7,08 Mg MS ano⁻¹, respectivamente, para os Cenários 1 e 2, uma vez que a média de produção das culturas associadas a caatinga raleada permaneceu em torno de 26,93 Mg MS ano⁻¹.

¹³ As técnicas de manipulação apresentadas acima podem ser descritas, sucintamente segundo Araújo Filho (2006), como:

- Rebaixamento: consiste do rebaixamento por meio de broca manual de espécies lenhosas de reconhecido valor forrageiro;
- Raleamento: corresponde ao controle seletivo de espécies lenhosas, com o objetivo de reduzir o sombreamento e a densidade de árvore e arbustos indesejáveis;
- Enriquecimento: introdução de forrageiras nativas e/ou exóticas adaptadas às condições do sítio ecológico.

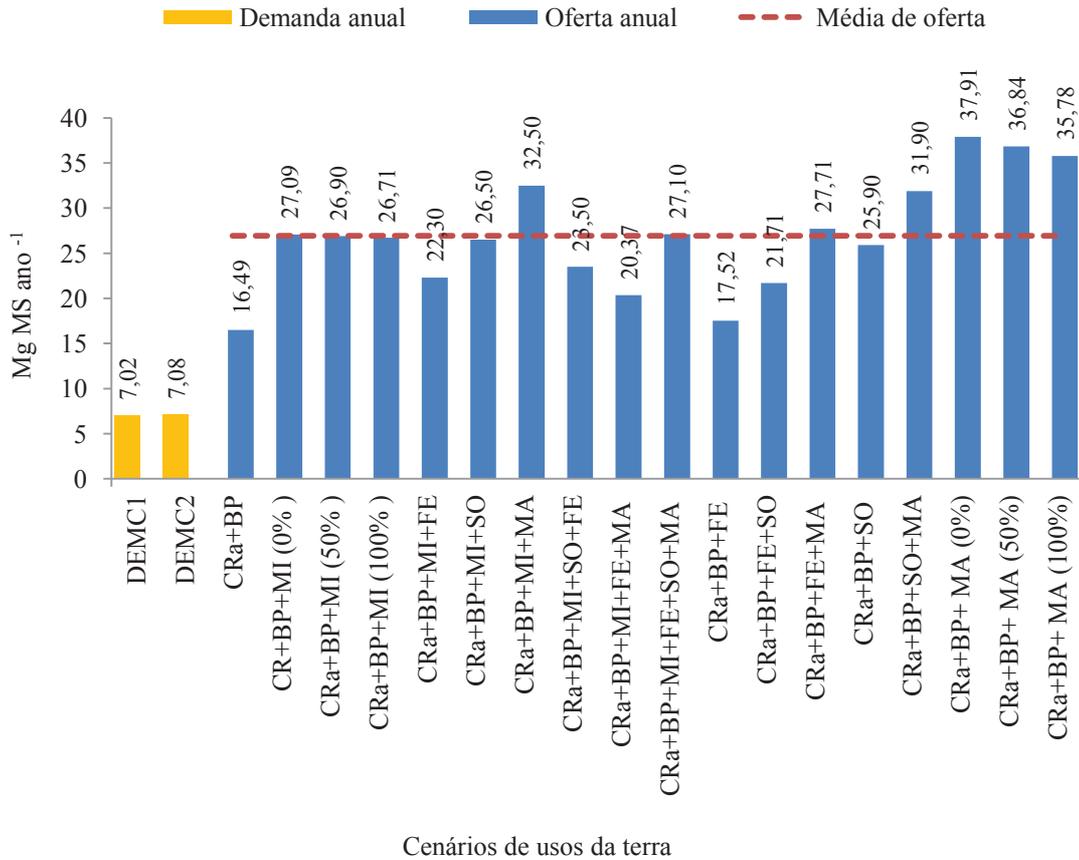


Gráfico 9 – Balanço entre oferta e demanda de forragem do sistema segundo as associações entre as culturas agrícolas e a caatinga raleada (Mg de MS ano⁻¹)

Fonte: Autor da pesquisa (2011).

Nota: DEMOC1 – Demanda de forragem do rebanho (Cenário 1); DEMOC2 – Demanda de forragem do rebanho (Cenário 2); CRa - Caatinga raleada; BP - Banco de proteína (*Leucaena ssp*); MI - Milho; FE – Feijão; SO - Sorgo; MA – Mandioca. O percentual (%) representa a quantidade da cultura que foi destinada para a venda.

Os menores valores encontrados quanto à oferta de forragem ocorreram nos Cenários CRa+BP (16,49 Mg MS ano⁻¹), CRa+BP+FE (17,52 Mg MS ano⁻¹) e CRa+BP+MI+FE+MA (20,37 Mg MS ano⁻¹). Caso o produtor decida adotar o Cenário A estará optando por manter os animais apenas com a oferta de forragem oriunda da caatinga raleada compreendida na área pecuária e o banco de proteína estabelecido na área agrícola no início da implantação do sistema. Neste cenário o produtor estará mais vulnerável às adversidades climáticas uma vez que disporá de apenas uma fonte principal de alimento, além da produtividade por área diminuir.

Os Cenários CRa+BP+ MA (0%) (37,91 Mg MS ano⁻¹), CRa+BP+ MA (50%) (36,84 Mg MS ano⁻¹), CRa+BP+ MA (100%) (35,78 Mg MS ano⁻¹), CRa+BP+MI+MA (32,50 Mg MS ano⁻¹) e CRa+BP+SO+MA (31,90 Mg MS ano⁻¹) apresentam valores cima da

média. Em parte essa oferta elevada corresponde à associação com a mandioca que apresenta alta produção por área, além de apresentar alto teor de matéria seca nas raízes que são ofertadas aos animais na forma de raspa.

Em ambos os cenários recomenda-se ao produtor o uso de práticas de conservação de forragem (silagem, fenação, por exemplo), visto que a oferta de forragem varia de acordo com o ciclo produtivo de cada cultura e clima da região.

Caso o produtor opte por manejar a caatinga mantendo-a rebaixada a média de forragem ofertada anualmente diminui cerca de 10,82% quando comparada à raleada (Gráfico 10). Apesar desta diminuição ainda é possível observar que a demanda é suprida. Verifica-se ainda que os cenários tendem a acompanhar o comportamento observado nos cenários anteriores.

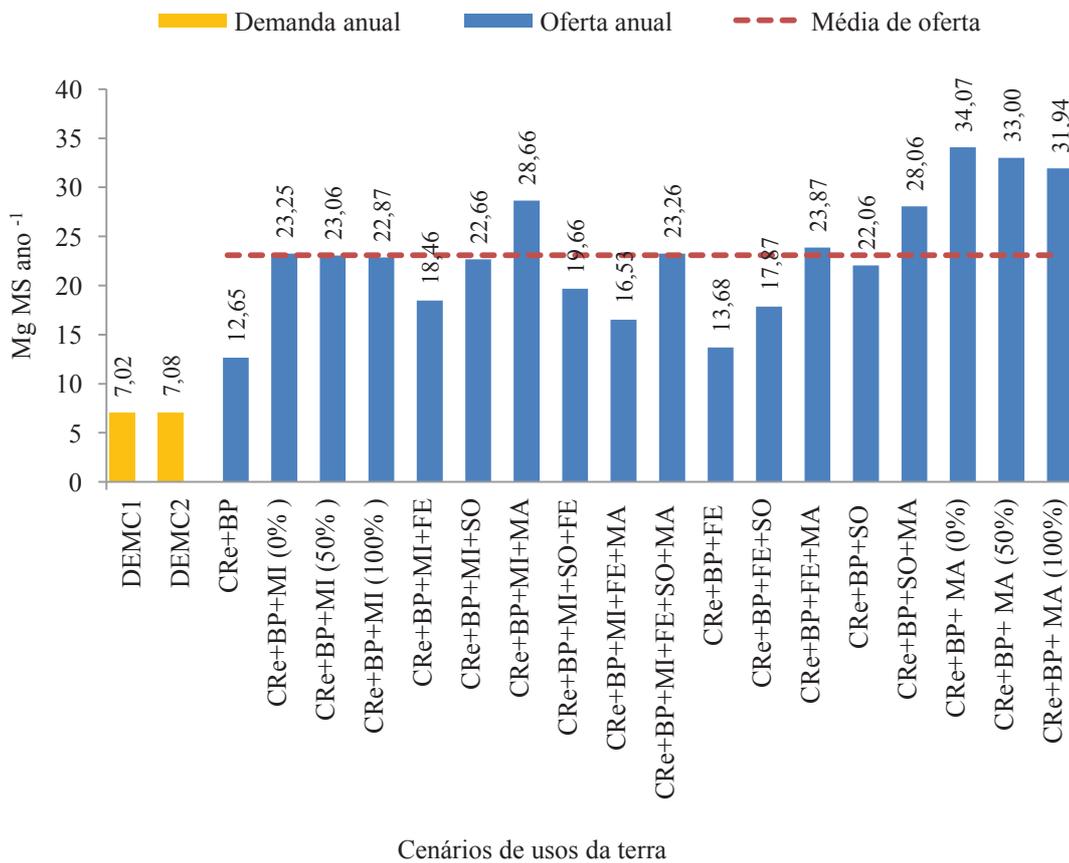


Gráfico 10 – Balanço entre oferta e demanda de forragem do sistema segundo as associações entre as culturas agrícolas e a caatinga rebaixada (Mg de MS ano⁻¹)

Fonte: Autor da pesquisa (2011).

Nota: DEMC1 – Demanda de forragem do rebanho (Cenário 1); DEMC2 – Demanda de forragem do rebanho (Cenário 2); CRE - Caatinga rebaixada; BP - Banco de proteína (*Leucaena ssp*); MI - Milho; FE – Feijão; SO - Sorgo; MA – Mandioca. O percentual (%) representa a quantidade da cultura que foi destinada para a venda.

Para os cenários relacionados à caatinga enriquecida percebe-se que os valores aproximam-se da média, isso permite concluir que ocorre uma menor variação entre os usos da terra. Quando comparada aos demais, a média anual nestes modelos apresenta-se superior, cerca de 40,37 Mg MS ano⁻¹ (Gráfico 11).

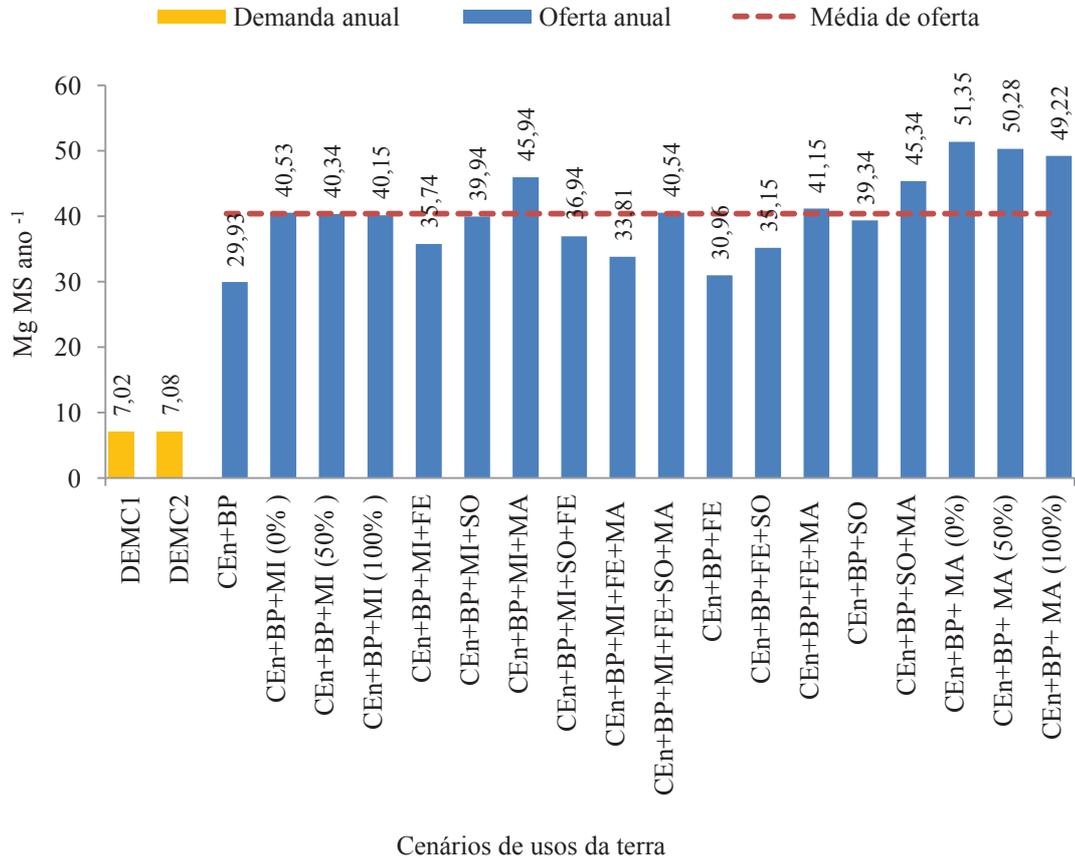


Gráfico 11 – Balanço entre oferta e demanda de forragem do sistema segundo as associações entre as culturas agrícolas e a caatinga enriquecida (Mg de MS ano⁻¹)

Fonte: Autor da pesquisa (2011).

Nota: DEMC1 – Demanda de forragem do rebanho (Cenário 1); DEMC2 – Demanda de forragem do rebanho (Cenário 2); CEen - Caatinga enriquecida; BP - Banco de proteína (*Leucaena ssp*); MI - Milho; FE – Feijão; SO - Sorgo; MA – Mandioca. O percentual (%) representa a quantidade da cultura que foi destinada para a venda.

As variações observadas ocorrem, principalmente, pela escolha de que método de manipulação da vegetação da caatinga o produtor opte. Essa escolha deverá estar baseada, além da produção de alimento, nos recursos necessários para desses manejos, como, por exemplo, a mão-de-obra, recursos financeiros, conhecimentos técnicos etc.

Resguardadas as considerações expostas, Araújo Filho *et al.* (2006) afirmam que mediante as práticas ou combinações destas constitui uma excelente opção de incremento da produção de forragem e adequação da caatinga para a espécie animal a ser explorada, além de

otimizar o uso dos recursos forrageiros nativos. Complementando, esse aporte de matéria orgânica gerado no sistema possibilita a manutenção dos padrões de qualidade ambiental por promover a melhoria da fertilidade do solo por meio da ciclagem de matéria orgânica e nutrientes, favorecida pela presença do estrato arbóreo, redução das perdas de água e solo, o que reduz os riscos de desertificação, além de contribuir para a manutenção da fauna e flora nativas pela conservação do habitat.

Apesar de ter-se verificado que em todas as situações a demanda por forragem permaneceu abaixo da oferta, deve-se levar em consideração o fato do sistema estar passando por constantes transformações, ao longo dos anos, devido principalmente à forma de manejo. Um dos problemas que podem prejudicar essa oferta de forragem é a presença de invasoras que contribuem para a diminuição da oferta de alimento no sistema.

Dessa forma, cabe ao produtor monitorar as condições das áreas do sistema para que as mesmas tenham a capacidade de expressar seu real potencial seja para produção de grãos, de alimento para os animais ou para manutenção da qualidade do ecossistema.

Outras considerações a serem analisadas dizem respeito aos incrementos nos rendimentos proporcionados pela venda do excedente da produção agrícola, referentes à venda de milho, feijão e mandioca. Os valores referentes à quantidade de produtos agrícolas produzidos destinados à venda são apresentados no Gráfico 12.

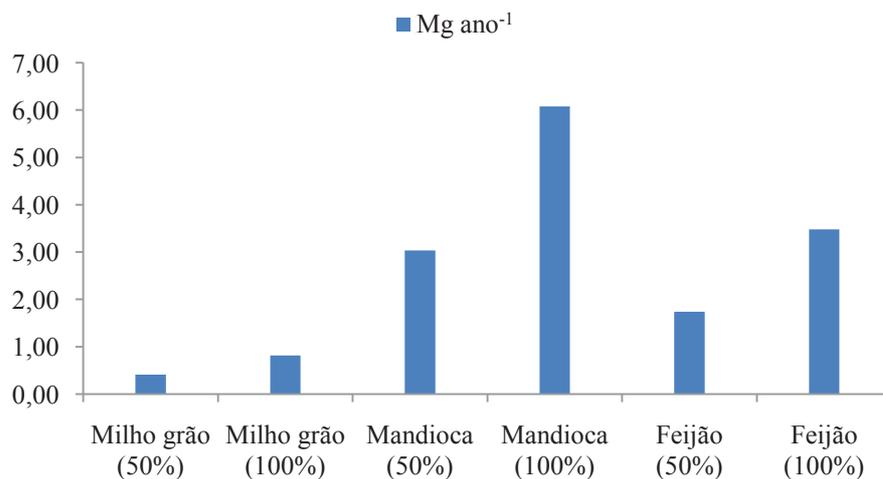


Gráfico 12 – Quantidade produtos produzidos destinados à venda (Mg ano⁻¹)
Fonte: Resultados da pesquisa (2011).

Em todos os cenários o produtor somente destinará parte ou totalidade do produto para venda quando optar por plantar somente a cultura correspondente na área agrícola, ou

seja, não ocorrerá consórcio. Nesta condição o volume excedente do produto tende a ser maior, o que permite esta possibilidade ao produtor.

Na venda do milho o produtor obterá um *input* nos seus rendimentos de R\$ 248,37 na venda de 50% do milho (0,41 Mg) na forma de grão, logo, caso resolva destinar toda a produção para a venda este valor será de R\$ 496,73 (0,82 Mg) (considerando o preço médio¹⁴ pago de R\$ 605,77 Mg⁻¹). Para a venda de mandioca o complemento à renda será de aproximadamente R\$ 585,75 e R\$ 1.169,57 quando vendidos 50% (3,04 Mg) e 100% (6,08 Mg), respectivamente (considerando o preço médio pago de R\$ 192,68 Mg⁻¹). Com a venda do feijão será gerada uma receita de R\$ 5.076,89 para a venda de 50% (1,74 Mg) da produção e R\$ 10.153,77 para a venda de 100% (3,48 Mg) da produção (considerando o preço médio pago de R\$ 2.917,75 Mg⁻¹).

No caso da produção de feijão, o produtor deverá fazer outra análise em relação ao consumo da família, ou seja, quando ele vende sua produção terá que atender sua demanda pelo produto com aquisição de outro produtor ou supermercado. Sob essa ótica, caso o produtor opte por não vender a produção de feijão ou parte dela, estará deixando de gastar o equivalente estocado. Quanto ao milho produzido, o produtor só deverá destiná-lo à venda quando estiver gerando excedente.

4.4 Subsistema Serviços Ambientais (Carbono)

Segundo Andrade e Romeiro (2009) a degradação dos ecossistemas e as alterações nos fluxos de serviços ecossistêmicos podem representar um sério entrave ao desenvolvimento. Impedindo desta forma, o combate à fome, a redução da pobreza etc, tornando mais distante a operacionalização do desenvolvimento sustentável.

A busca por modelos que priorizem a manutenção destes serviços e contribuam para o bem-estar humano é fundamental dentro da ótica que a sociedade atual tem como desenvolvimento. O comércio de CO₂ equivalente, vem despontando como uma forma de agregar aos modelos atuais estas premissas. Neste sentido, buscou-se quantificar o total de

¹⁴ Os preços dos produtos agrícolas em nível de produtor considerados neste estudo são oriundos do Instituto Agropolos do Ceará, tendo como referência o mês de dezembro de 2010.

CO₂ equivalente gerado neste sistema com o intuito de agregar valor a este modelo de produção.

Para tanto estabeleceu-se, assim como na demanda de forragem, 108 cenários no total de usos da terra associados aos Cenários 1 e 2 descritos no Subsistema Animal I, para demonstrar a variação no acúmulo de CO₂ equivalente.

O Gráfico 13 mostra a dinâmica das quantidades geradas de CO₂ equivalente nos diferentes tipos de associações entre as culturas agrícolas e a caatinga raleada.

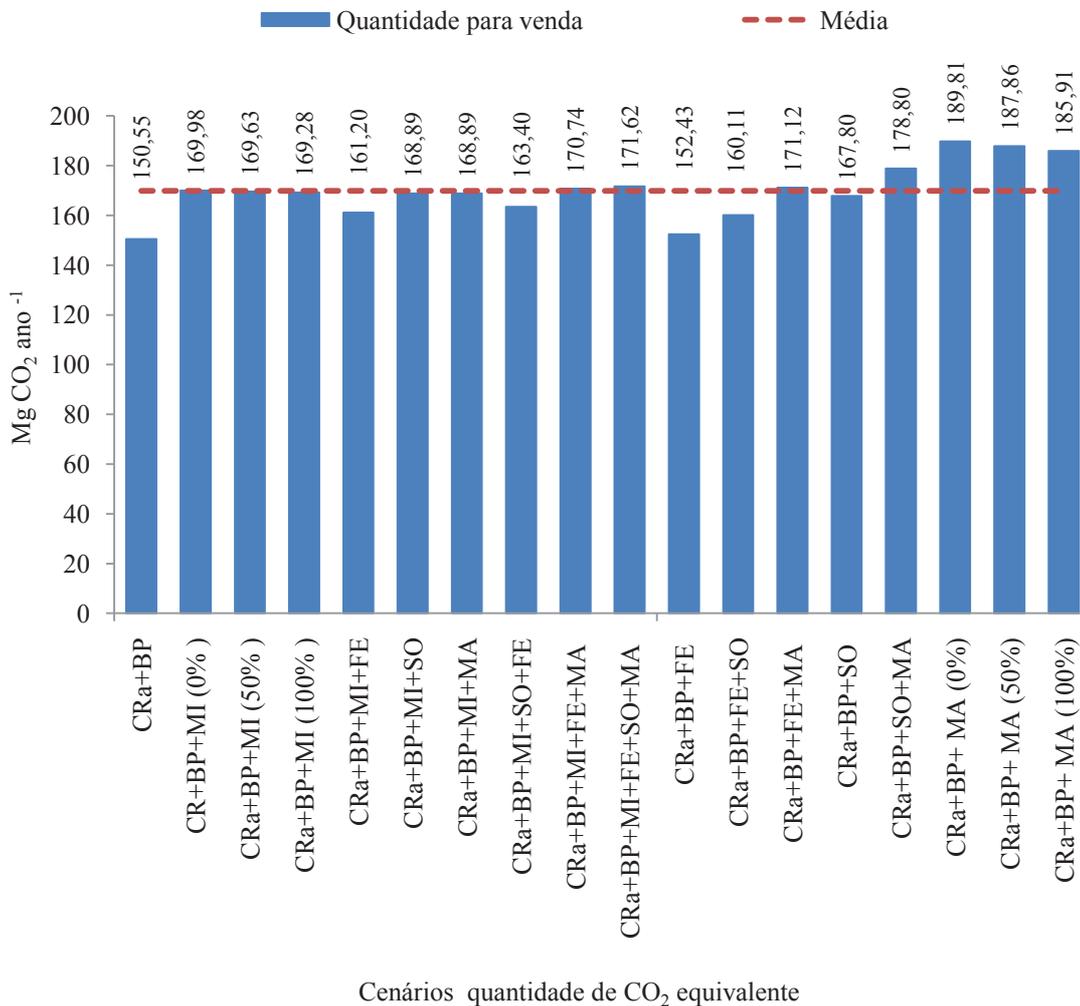


Gráfico 13 – Carbono equivalente acumulado segundo as associações entre as culturas agrícolas e a caatinga raleada (Mg de CO₂ ano⁻¹)

Fonte: Autor da pesquisa (2011).

Nota: CRa - Caatinga raleada; BP - Banco de proteína (*Leucaena ssp*); MI - Milho; FE – Feijão; SO - Sorgo; MA – Mandioca. O percentual (%) representa a quantidade da cultura que foi destinada para a venda.

Pode-se perceber quanto à quantidade gerada de CO₂ equivalente que a diferença entre os valores foi, relativamente, pequena. Esse comportamento pode ser explicado pela

grande capacidade de absorção de matéria orgânica no solo e sua conversão para CO₂ equivalente, pelas condições de produção adotadas, principalmente, pelas práticas conservacionistas empregadas.

A média anual de fixação do serviço ambiental analisado foi de, aproximadamente, 169,89 Mg de CO₂ ano⁻¹ quando se opta pelo raleamento como manejo florestal, o que geraria uma receita anual de R\$ 1.412,64 para a área total do sistema ou uma produção de 21,24 Mg de CO₂ ha⁻¹ ano⁻¹ o que corresponde a R\$ 176,61 ha⁻¹ ano⁻¹ (assumindo-se a cotação de 1 crédito de carbono igual a US\$ 5 e a cotação de US\$ 1 igual a R\$ 1,663¹⁵), caso existisse um mercado ativo para a condição deste produtor.

Assumindo que o produtor opte por substituir a caatinga raleada pela rebaixada (Gráfico 14), essa média anual de fixação de CO₂ equivalente tende a apresentar um decréscimo permanecendo em torno de, aproximadamente, 152,81 Mg de CO₂ ano⁻¹ ou 19,10 Mg de CO₂ ha⁻¹ ano⁻¹ gerando para o sistema uma renda anual de R\$ 1.270,62 e R\$ 158,82, respectivamente, ou seja, houve uma redução de 10% quando comparado ao sistema de produção anterior.

¹⁵ Os valores de referência para as cotações de um crédito de Carbono e do Dólar (tendo como referência a data de 01/02/2011) são oriundos do Instituto Carbono Brasil (www.institutocarbonobrasil.org.br) e da Bolsa de Mercadorias & Futuros (BM&F) (www.bmfbovespa.com.br), respectivamente.

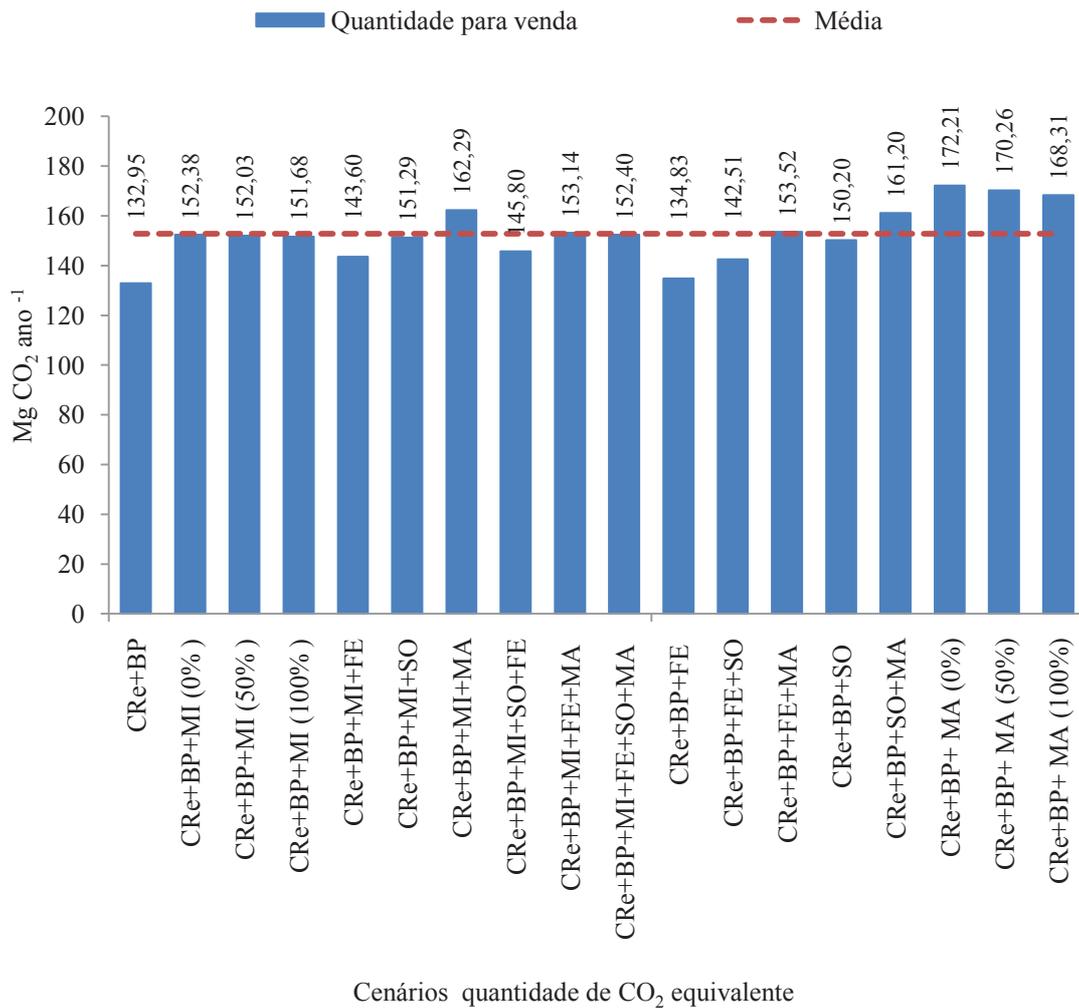


Gráfico 14 – Carbono equivalente acumulado segundo as associações entre as culturas agrícolas e a caatinga rebaixada (Mg de CO₂ ano⁻¹)

Fonte: Autor da pesquisa (2011).

Nota: CR - Caatinga rebaixada; BP - Banco de proteína (*Leucaena ssp*); MI - Milho; FE – Feijão; SO - Sorgo; MA – Mandioca. O percentual (%) representa a quantidade da cultura que foi destinada para a venda.

Ao contrário da caatinga rebaixada, a enriquecida proporciona um incremento na produção de 36%, ou seja, média anual de, aproximadamente, 231,97 Mg de CO₂ ano⁻¹ gerando para o sistema uma renda anual de R\$ 1.928,83 (Gráfico 15). Isso ocorre devido a uma maior produção de biomassa pela caatinga enriquecida, oriunda das espécies forrageiras nativas e/ou exóticas introduzidas na área com a finalidade de recuperar seu potencial florístico e forrageiro.

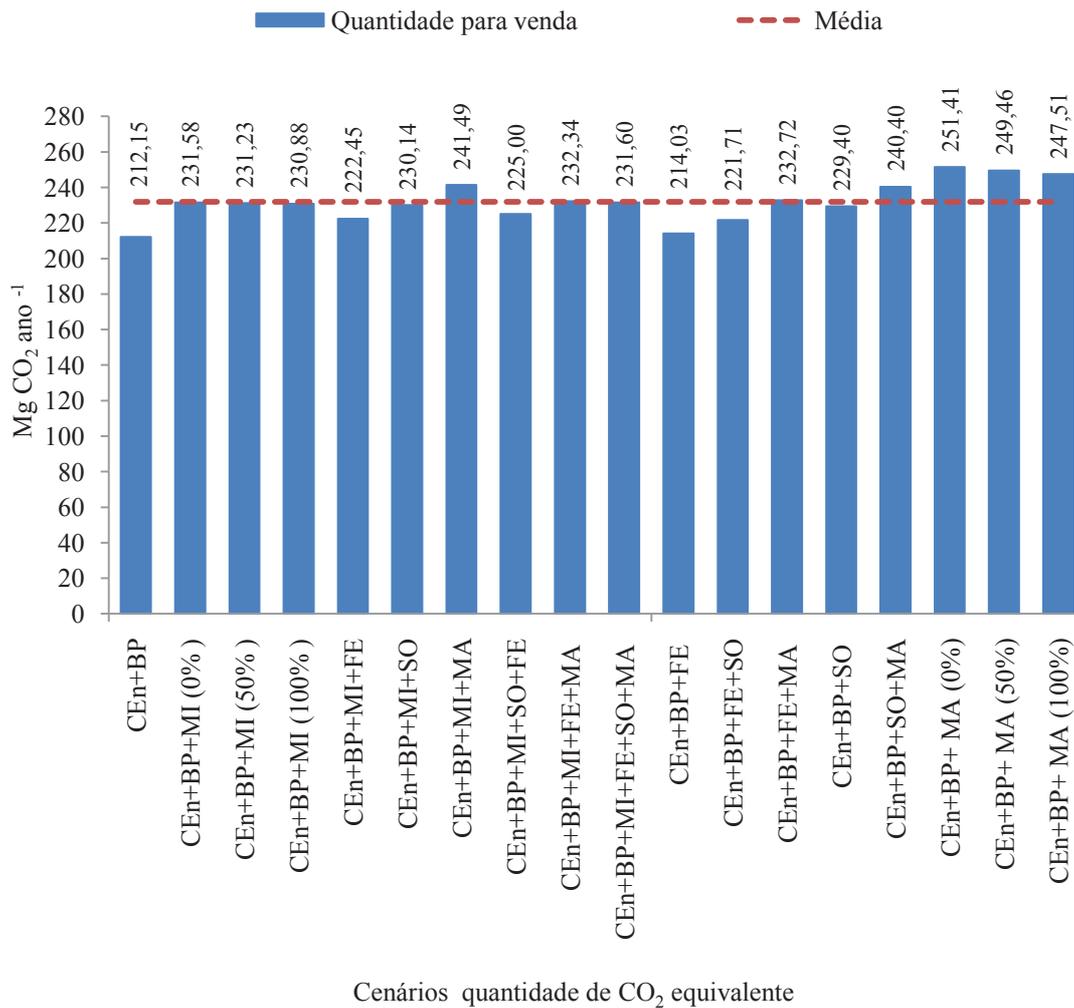


Gráfico 15 – Carbono equivalente acumulado segundo as associações entre as culturas agrícolas e a caatinga enriquecida (Mg de CO₂ ano⁻¹)

Fonte: Autor da pesquisa (2011).

Nota: CEn - Caatinga enriquecida; BP - Banco de proteína (*Leucaena* spp); MI - Milho; FE – Feijão; SO - Sorgo; MA – Mandioca. O percentual (%) representa a quantidade da cultura que foi destinada para a venda.

Em ambos os cenários observa-se um incremento na rentabilidade do sistema, podendo este mercado contribuir como fonte alternativa de renda do produtor. Para tanto, políticas públicas devem ser direcionadas para estabelecimento de critérios que possibilitem esse pagamento, permitindo uma melhoria do sistema e do bem-estar por meio da manutenção deste e dos demais serviços ambientais gerados pelo sistema.

Assim, atribuir valor aos serviços ambientais, interligando-os às atividades dos sistemas de produção, modifica o papel do espaço rural brasileiro, além de ser um instrumento de política ambiental capaz de internalizar no mercado os serviços disponibilizados pela natureza. Portanto, a valoração econômica é um importante critério no processo de tomada de decisão, para um desenvolvimento sustentável e para orientação de políticas ambientais.

5 CONCLUSÕES

O modelo desenvolvido para o SAF oriundo desta pesquisa mostrou-se capaz de contribuir com as pesquisas já desenvolvidas atualmente, bem como para a sustentabilidade e viabilidade desse modelo de produção, por meio da diversificação de atividades e produtos, favorecendo uma geração de renda mais harmônica no tempo, ou seja, promovendo uma distribuição mais uniforme do serviço e da receita gerada, reduzindo, assim, os riscos de impacto econômico derivado da flutuação de preços no mercado e o de perda total da colheita, quando se tem uma única cultura. Esse contexto é muito adequado para a pequena produção familiar.

Além disso, o modelo permitiu integrar as atividades produtivas por meio da identificação e caracterização das principais variáveis, representadas por um conjunto de subsistemas inter-relacionados, capazes de gerar cenários que permitam avaliar a sensibilidade do sistema e orientar a tomada de decisão do produtor.

As ferramentas utilizadas mostraram-se eficientes em demonstrar o comportamento dos subsistemas estudados no que se referem, principalmente, as práticas de manejo do rebanho, como, por exemplo, a determinação do intervalo entre nascimentos, o desaleitamento, o destino dos animais (venda ou reprodução), bem como as práticas referentes ao manejo agrícola e florestal, tais como o manejo da caatinga para fornecimento de forragem aos animais e preservação da biodiversidade, contribuindo, desta forma, para a manutenção da unidade produtiva como um todo, possibilitando, assim, que a resiliência do sistema seja mantida. Isso permite ao tomador de decisão visualizar sua decisão antes que a ponha em prática, reduzindo desta forma os riscos com o emprego das mesmas.

Além disso, permitiu, ainda, verificar de que forma o rebanho e ambiente se relacionam e estabelecem entre si fluxos de retirada-entrada de energia do sistema, principalmente, por meio da conversão de parte da biomassa vegetal em alimento para o rebanho e o retorno dessa energia por meio da urina e esterco dos animais.

Por tanto, a estrutura desenvolvida neste estudo pode ser utilizada para auxiliar o planejamento de um sistema agrossilvipastoril, resguardando as diferenças encontradas em cada ocasião de aplicação, sendo necessários os ajustes convenientes.

Sugere-se a inclusão de outras atividades produtivas como a apicultura, criação de galinha caipira, produção de hortaliças etc., com o objetivo de promover cada vez mais a

diversificação da produção e complementariedade da renda da família, no intuito de verificar, por meio das simulações, a viabilidade de cada atividade mediante as condições do sistema.

Em estudo próximo, além da inclusão destas novas atividades, recomenda-se que as variáveis mão-de-obra, crédito, insumos utilizados e custos diversos, sejam computadas a fim de representar de forma mais eficiente à realidade do SAF.

Embora o uso de Sistemas Agroflorestais esteja aumentando nas áreas nacionais, muito deve ser feito tanto na adequação técnica dos modelos escolhidos como na adoção de políticas agrícolas, que amparem o produtor a fim de que este possa obter maior benefício desse modelo de produção.

REFERÊNCIAS

ALTIERI, M.A. **Agroecology: the science of sustainable agricultura**. Boulder: Westview Press Inc., 1995. 433p.

ANDRADE, D. C.; ROMEIRO, A. R. Serviços ecossistêmicos e sua importância para o sistema econômico e o bem estar humano. Texto para Discussão. IE/UNICAMP n. 155, p. 44, 2009.

ANDRADE JÚNIOR, A. S. de *et al.* Zoneamento de risco climático para a cultura do feijão – caupi no Estado do Ceará. **Revista Ciências Agrárias**, Fortaleza, v. 38, n. 1, p.109-117. 2007

ANDRIOLI, A. Manejo reprodutivo. In: _____. **Manual do produtor de cabras leiteiras**. 1. ed. Viçosa: Aprenda Fácil, cap. 5, 2006. p. 95-126.

ANGELIS, A. F. de; DELGADO, S. S. Modelagem e Simulação do Ecossistema do Ribeirão Pinhal - Região de Limeira - Por meio de Dinâmica de Sistemas. In: XIII Congresso Interno de Iniciação Científica da Unicamp, 2005, Campinas. **Caderno de Resumos...** Campinas: Unicamp, 2005. p. 220-220.

ARAÚJO FILHO, J. A. Caatinga: agroecologia versus desertificação. **Ciência Hoje**, v. 30, n. 180, p. 44-45, 2002.

ARAÚJO FILHO, J. A. *et al.* Sistema agrossilvipastoril Embrapa Caprinos. In: _____. **Criação familiar de caprinos e ovinos no Rio Grande do Norte**. 1. ed. Natal: EMATER-RN, EMPARN, Embrapa Caprinos, cap. 8, 2006. p. 193-210.

ARAÚJO FILHO, J. A. de.; SILVA, N. L. da.. **Sistema de Produção Agrossilvipastoril**. Sobral: Embrapa Caprinos e Ovinos, 2008. 3p. (Embrapa Caprinos e Ovinos. Comunicado Técnico, 89).

ARAÚJO FILHO, J. A. de. *et al.* Sistema de Produção Agrossilvipastoril no Semiárido do Ceará. In: 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE: CLIMATE, SUSTAINABILITY AND DEVELOPMENT IN SEMI-ARID REGIONS, 2010, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, 2nd International Conference: Climate, Sustainability and Development in Semi-arid Regions, 2010.

AREVALO, L. ; ALEGRE, J.C; MONTOYA, L. J. V. **Metodologia para estimar o estoque de carbono em diferentes sistemas de uso de terra**. Colombo: Embrapa Florestas, 2002. 41p. (Embrapa Floresta. Documentos, 73).

BERTALANFFY, L. **Teoria geral dos sistemas**: fundamentos, desenvolvimento e aplicações. 4.ed. Petrópolis: Vozes, 2010. 360p.

BEZERRA, F. G. S. *et al.* Distribuição espacial do superpastejo de ovinos e caprinos no Brasil. In: XLVII CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 2009, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 2009. CD-ROM

BLOIS, H. D.; SOUZA, J. C. Cenários prospectivos e a dinâmica de sistemas: proposta de um modelo para o setor calçadista. **Revista Administração de Empresas**, Rio de Janeiro, v. 48, n. 3, p. 35-45, jun/set. 2008.

BRANCO, R. H. *et al.* Efeito dos níveis de fibra da forragem sobre o consumo, a produção e a eficiência de utilização de nutrientes em cabras lactantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 39, n. 11, p. 2477-2485. 2010.

BUARQUE, S. **Metodologias e técnicas de construção de cenários globais e regionais**, Textos para Discussão, n. 939, IPEA, Brasília, 2003.

CAMPANHA, M.M. *et al.* Sistemas agrossilvipastoris – uma alternativa para criação de caprinos em comunidades tradicionais do sertão baiano do São Francisco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO, 7., 2007, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, 2007.

CASTRO, R. *et al.* Caatinga: um bioma brasileiro desprotegido. In: VI CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 2003, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza : Editora UFC, 2003.

CENTRO DE DESENVOLVIMENTO E PLANEJAMENTO REGIONAL; FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ. 2008. **Mudanças climáticas, migrações e saúde: cenários para o Nordeste brasileiro, 2000-2050**. [online] Disponível em: <http://www.cedeplar.ufmg.br/pesquisas/migracoes_saude/MIGRACAO_E_SAUDE_NORDESTE.pdf> Acesso em 13 jun 2011.

CHRISPINO, A. Os cenários futuros como consenso social: do contrato social ao universo educacional. **Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos**, Brasília, v. 82, n. 200/201/202, p. 40-56. jan./dez. 2010.

CUNHA, E. da. **Os Sertões**: campanha de Canudos. São Paulo: Martin Claret, 2002

DALY, H. E.; FARLEY, J. **Ecological Economics: principles and applications**. Island Press, Washington, DC. 2004.

DANIEL, O.; COUTO, L.; SILVA, E.; PASSOS, C.A.M.; JUCKSH, I. ; GARCIA, R. Sustentabilidade em sistemas agroflorestais: indicadores socioeconômicos. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.10, n.1, p. 159 - 175, 2000.

DIAS, H. C. T.; OLIVEIRA FILHO, A. T. Variação temporal e espacial da produção de serrapilheira em uma área de floresta estacional semidecídua montana em Lavras - MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v.21, n.1, p.11-26, 1997.

DOMINGUES, E. P.; MAGALHÃES, A.S.; RUIZ, R.M. **Cenários de mudanças climáticas e agricultura no Brasil**: Impactos econômicos na região Nordeste . Texto para discussão, n. 340. Belo Horizonte: UFMG/Cedeplar, 2008.

EHRlich, P. J. **Dinâmica de Sistemas e Cenários**. 2005. Disponível em http://www.anppas.org.br/encontro_anual/encontro2/. Acesso em 16 out 2009.

FERREIRA, A. C. H. *et al.* Desempenho produtivo de ovinos alimentados com silagens de capim-elefante contendo subprodutos do processamento de frutas. **Revista Ciências Agrárias**, Fortaleza, v. 40, n. 2, p.315-322, abr./jun. 2009

FORRESTER, J.W. **Industrial dynamics**. Cambridge, Massachusetts, The MIT Press, 1v. 1961.

GONÇALVES, A. L. *et al.* Avaliação de sistemas de produção de caprinos leiteiros na Região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, [online], Viçosa, v. 37, n. 2, p. 366-376. 2008.

GONÇALVES, H. C. *et al.* Fatores Genéticos e de Meio na Produção de Leite de Caprinos Leiteiros. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 719-729. 2001.

GRUMBACH, R. J. S. **Cenários Prospectivos – A Chave para o Futuro**: Planejamento Estratégico. Rio de Janeiro: Ed. Catau, 1997.

GUIMARÃES, V. P. **Modelagem de uma unidade de produção para caprinos leiteiros utilizando a dinâmica de sistemas.** 2007. 182 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

GUIMARÃES, V. P.; TEDESCHI, L. O.; RODRIGUES, M. T. Development of a mathematical model to study the impacts of production and management policies on the herd dynamics and profitability of dairy goats. **Agricultural Systems**, Nebraska, v. 101, n. 3, p. 186-196, jul. 2009.

HOLANDA JUNIOR, E. V. *et al.* Inovações organizacionais na produção e comercialização de leite de cabra e seus derivados por agricultores familiares da região sisaleira da Bahia. In: III CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA, 3., 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ABA, 2005. CD-ROM.

HUETING, R. *et al.* The concept of environmental function and its valuation. **Ecological Economics**, v. 25, p. 31-35. 1998.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A.(eds.)].** IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp., 2007.

KAHN, H.; WIENER, A. J. **The Year 2000: A Framework for Speculation on the Next Thirty-Three Years.** New York: The Macmillan Company, 1967.

KASPER, H. **O Processo de Pensamento Sistêmico: Um Estudo das Principais Abordagens a partir de um Quadro de Referência Proposto.** 2000. 291 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

KING, K. F. S.; CHANDLER, M. T. **The wasted lands:** The the programme of work of ICRAF. Nairobi: International Council for Research in Agroforestry, 1978. 35p.

KUMAR, B. M.; MIAH, M. **Agroforestry for Asian Food Security.** In: World Agroforestry Congress, 2004, Orlando, Flórida. Book of Abstracts - 1st World Congress of Agroforestry, 2004. v. 1. p. 5-5.

MAIA, S. M. F. *et al.* Impactos de Sistemas Agroflorestais e Convencional sobre a qualidade do solo no semi-árido cearenser. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 5, p.837-848, 2006.

MAIA, S. M. F. *et al.* Organic carbon pools in a Luvisol under agroforestry and conventional farming systems in the semi-arid region of Ceará, Brazil. **Agrofor. Syst.**, 71:127-138, 2007

MASON, C. F. *Decomposição*. São Paulo: E.P.U, 1980, 63p.

MERTENS, D.R. Análise da fibra e sua utilização na avaliação e formulação de rações. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE RUMINANTES, REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 29, Lavras, 1992. **Anais...** Lavras, Sociedade Brasileira de Zootecnia. p. 188.

Millennium Ecosystem Assessment (MEA), 2003. *Ecosystem and Human Well-Being: a framework for assessment*. Island Press, Washington, DC.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável e da Agenda 21 Nacional. **Agenda 21 Brasileira: ações prioritárias**. 2. ed. Brasília, 2004, 158 p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. 2009. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. **Caatinga**. [online]. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/sitio/index.php?ido=conteudo.monta&idEstrutura=203>>. Acesso em 13 jul 2009.

MORAIS, D. A. E. F.; VASCONCELOS, A. M. de. Alternativas para incrementar a oferta de Nutrientes no semi-árido brasileiro. **Revista Verde**, Mossoró, v. 2, n. 1, p.01-24, jan./jul. 2006.

MULEJ, M. *et al.* 2004. How to restore Bertalanffian systems thinking. *Kybernetes* 33: 48-61.

NEIVA, J. N. M. *et al.* Valor nutritivo de silagens de capim-elefante enriquecidas com subproduto do processamento do maracujá. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 35, n. 4, p.1845-1851. 2008 (supl.)

OLIVEIRA, T. K. de. **Sistemas Agroflorestais: vantagens e desvantagens**. 2003. Disponível em <<http://www.cpafac.embrapa.br/chefias/cna/artigos/sistagroflo.htm>>. Acesso em 16 out 2009.

OLIVEIRA, T. S. *et al.* Distribuição Espacial do Índice de Manejo do Carbono em Luvisolos sob Sistemas Agrícolas Tradicionais e Agroflorestais no Município de Sobral-CE. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 4, n. 2, p.589-592, nov. 2009.

PEREIRA, E. S. *et al.* Equações do NRC (2001) para predição do valor energético de co-produtos da agroindústria no nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 9, n. 2, p.258-269, abr./jun. 2008.

PEREIRA, E. S. *et al.* Determinação das frações proteicas e de carboidratos e estimativa do valor energético de forrageiras e subprodutos da agroindústria produzidos no Nordeste Brasileiro. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 4, p.1079-1094, out./dez. 2010.

RICHARDSON, G. P. **Feedback thought in social science and systems theory**. Philadelphia, University of Pennsylvania Press. 1991

ROSNAY, J. de. **Le macroscope: vers une vision globale**. Paris: Seuil, 1975. 305 p.

SADIO, S.; DAGAR, J. C. **Agroforestry & Food Security in Africa**. In: World Agroforestry Congress, 2004, Orlando, Flórida. Book of Abstracts - 1st World Congress of Agroforestry, 2004. v. 1. p. 6-6.

SALIN, T. C.; ALBURQUERQUE, S. F. GADELHA, F. H. L. contribuição de Sistema Agrossilvipastoril no incremento da fertilidade do solo no sertão pernambucano: Primeira Avaliação. In: VII CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 2009, Luziânia. **Anais...** Luziânia, 2009.

SAMPAIO, F. F. **Modelagem Dinâmica Computacional e o Processo de Ensino-Aprendizagem: Algumas Questões para Reflexão**. Anais de Taller Internacional de Software Educativo, TISE 98. Santiago, Chile. 1998

SETTI, A. A. *et al.* **Introdução ao Gerenciamento de Recursos Hídricos**. 2.ed. Brasília. Agência Nacional de Energia Elétrica Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas, 2001. 207 p.

SCARIOT, M. R. **Modelagem e Simulação Sistêmica de Rios: Avaliação dos Impactos na Bacia Hidrográfica do Rio Mogi-Guaçú/SP**. 2008. 186 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

SCHWARTZ, P. **A arte da visão de longo prazo**. São Paulo: Best Seller, 2000.

SGRILLO, R. B.; SGRILLO, K. R. P. de A. Modelagem e Simulação de Sistemas Agroflorestais: Conceitos e Aplicações (Palestra apresentada no VI Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais - 23-27 de outubro de 2006, Campos dos Goitacazes).

SGRILLO, R.B.; ARAÚJO, K.R.P. 1996. Modelaje y simulación de sistemas epizoóticos, p.293-311. In R.E. Lecuon, (ed), Microorganismos patógenos empleados en el control microbiano de insectos plaga. E.R.Lecuona ed. Buenos Aires, 338p.

SIMPLÍCIO, A. A. *et al.* **Manejo reprodutivo de caprinos e ovinos de corte em regiões tropicais**. Sobral: Embrapa Caprinos, 2001. 47p. (Embrapa Caprinos. Documentos, 35).

SONAWANE, R. **Applying System Dynamics and Critical Chain Methods to Develop a Modern Construction Project Management System**. Industrial_Engineering. Kingsville, Texas A&M University. Master of Science: 105. 2004.

STERMAN, J. **Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world**. Boston, Irwin/McGraw-Hill. 2000.

TABARELLI, M.; VICENTE, A. **Conhecimento sobre plantas lenhosas da Caatinga: lacunas geográficas e ecológicas**, p. 101-112, In: _____. Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias, MMA, Brasília, DF, 2004.

VAN DER HEIJDEN, Kees. **Planejamento de Cenários: a arte da conversação estratégica**. Porto Alegre, Bookman, 2004.

VEIGA, J. E. **Desenvolvimento Sustentável: A trilha além dos números**. 2008. **Conjuntura & Planejamento**, Salvador, n.159, p. 24-27, abr./jun. 2008. Entrevista concedida a **Conjuntura & Planejamento**.

VEIGA, J. E. **Desenvolvimento sustentável: o desafio do século XXI**. Rio de Janeiro: Garamond, 2005.

VENNIX, J. A. M.). **Group Model Building: Facilitating Team Learning Using System Dynamics**. Chichester (New York), John Wiley & Sons, Ltd. 1996.

VITOUSEK, P. M. *et al.* Human domination of Earth's ecosystems. **Science**, v. 277, p. 494-499, 1997.

WANDER, A. E.; MARTINS, E. C. **Viabilidade econômica da caprinocultura leiteira**. Anuário Brasileiro de Caprinos & Ovinos, Uberaba, p. 140-145, 2008

WILLIAMS, T. **Modelling Complex Projects**. New York: John Wiley & Sons, 2002. 276p.

ZAMBOM, A. C. **Análise de Fundo de Pensão**: Uma Abordagem de System Dynamics. Rio de Janeiro: Funenseg, 2000b. 128p. (Cadernos de seguro: teses, v.5, n. 13).

ZAMBOM, A. C. A utilização da simulação pela controladoria no apoio à tomada de decisão. Anais do XVI Congresso Brasileiro de Contabilidade, Goiânia: Conselho Federal de Contabilidade, 2000a. CD-ROM.

ZANETTI, V. B. **Modelagem por sistemas dinâmicos da decomposição de serrapilheira na floresta de transição em Sinop - MT**. 2009. 39 f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2009.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Descrição das variáveis utilizadas no Subsistema Animal I

Variável estudada	Descrição	Justificativa
Número de matrizes no rebanho	Corresponde ao número de fêmeas em reprodução estabelecido pelo produtor para compor o plantel, determinado a partir da observação da capacidade de suporte da área. Está diretamente relacionado à mortalidade, descarte e a reposição das matrizes.	Permitirá ao produtor verificar se o comportamento do modelo está permitindo a manutenção do número de matriz estabelecido para o sistema.
Número inicial de matrizes	Valor de matrizes estabelecido pelo produtor no tempo zero.	Possibilita informar para o modelo o número de matrizes com o qual se pretende iniciar as simulações.
Mortalidade das matrizes	é classificada como uma saída (output) do sistema uma vez que retira do modelo as matrizes que vem a óbito.	Apresenta para o produtor as perdas associadas à sanidade do rebanho, principalmente.
Taxa de mortalidade de matrizes	Percentual de matrizes que saem do rebanho por óbito.	Indicador zootécnico que permite informar para o modelo o quanto será as perdas por óbito. Este valor irá variar de acordo com as práticas de manejo adotadas pelo produtor.
Matrizes descartadas	Corresponde às matrizes que, teoricamente, apresentam problemas de saúde, apurmos, diminuição da produção etc. e que necessitam ser retiradas do rebanho.	Possibilita o acompanhamento do total de matrizes que serão destinadas para venda por apresentarem algum problema.

APÊNDICE A – Descrição das variáveis utilizadas no Subsistema Animal I (Continuação)

Variável estudada	Descrição	Justificativa
Taxa de descarte de matrizes	Percentual de matrizes descartadas do rebanho por apresentarem algum problema produtivo e/ou reprodutivo ou idade de descarte.	Permite ao produtor estabelecer uma margem de animais que ele deve retirar do rebanho para manter os índices produtivos satisfatórios.
Início do descarte	Esta variável permite determinar o tempo inicial do descarte das matrizes do rebanho.	Possibilita ao produtor estabelecer qual o período ideal para descarte de matrizes.
Controle da taxa de descarte matrizes	Objetiva regular a “Taxa de descarte de matrizes”.	Permite ao produtor informar para o sistema quando deverá ser incluída no modelo a variável “Início do descarte”.
Entrando matrizes de reposição	Corresponde à entrada (input) das matrizes no grupo oriundas das fêmeas destinadas para reposição.	Permite ao produtor verificar se a taxa de reposição adotada no sistema é suficiente para manter o número de matrizes desejável.
Relação fêmea/macho	Variável auxiliar que contribui para determinar o número de reprodutores no rebanho. Neste modelo utilizou-se uma relação de 30 fêmeas/1 macho.	Permite que o modelo mantenha no sistema somente o número necessário de machos, contribuindo, assim, para a redução dos gastos com o rebanho.
Reprodutores necessários no rebanho	Determinado por meio da relação entre o “Número de matrizes no rebanho” e a “Relação fêmea/macho”.	Demonstra ao produtor o número atual de machos no rebanho, possibilitando um melhor controle do uso desses machos.

APÊNDICE A – Descrição das variáveis utilizadas no Subsistema Animal I (Continuação)

Variável estudada	Descrição	Justificativa
Nascimentos	Caracterizado com um fluxo, esta é uma função entre o número de matrizes no rebanho, da fertilidade, prolificidade e intervalo entre nascimentos.	Indica para o produtor quanto de produto está sendo gerado pelas matrizes.
Fertilidade	Refere-se aos animais aptos à reprodução.	Indica para o modelo a proporção de fêmeas que devem ser contabilizadas para a determinação do número de animais nascidos.
Prolificidade	Corresponde ao número de animais nascidos por matriz por parto.	Informa ao modelo a contribuição de cada matriz para compor os nascimentos.
Intervalo entre nascimentos	Período de tempo em que a variável “Nascimentos” não recebe entradas.	Permite estabelecer os períodos em que ocorrem ou não nascimentos de acordo com o número de estações de monta e as características fisiológicas dos animais.
Controle intervalo entre nascimentos	Sua finalidade é regular o “Intervalo entre nascimentos”, de acordo com o modo de produção adotado pelo produtor.	Indica para o modelo o período de tempo do “Intervalo entre nascimentos”.

APÊNDICE A – Descrição das variáveis utilizadas no Subsistema Animal I (Continuação)

Variável estudada	Descrição	Justificativa
Animais em aleitamento	É caracterizada como uma variável estoque onde os animais nascidos permanecem durante o período de aleitamento. Essa permanência é regulada pela variável auxiliar “Tempo em aleitamento”.	Permite que o produtor acompanhe o comportamento das crias durante esse período da fase de produção.
Tempo em aleitamento	Corresponde ao tempo em que os animais deverão permanecer no estoque até passar para a fase seguinte.	Indica para o modelo o tempo de “atraso” que o estoque de animais nascidos seguirá para a fase da desmama.
Mortalidade aleitamento e Taxa de mortalidade no aleitamento	Assim como ocorre com as matrizes estas variáveis representam a saída de animais em aleitamento que vem a óbito por alguma razão e o seu percentual, respectivamente.	Possibilita que o produtor acompanhe as perdas geradas nesta fase, conferindo, assim, como uma estratégia para oferta de animais destinados às vendas.
Transição desmamados	Relacionada diretamente ao tempo em que os animais permanecem na fase de aleitamento até o período de desmame.	Permite determinar o período de tempo em que o produtor opta por permanecer com os animais na fase anterior.
Animais desmamados	Neste estoque os animais permanecem até atingirem a idade de maturidade.	Possibilita o acompanhamento da dinâmica dos animais até que sejam direcionados para os dois fluxos de destino “Animais desmamados para venda” ou “Animais para reprodução”.

APÊNDICE A – Descrição das variáveis utilizadas no Subsistema Animal I (Continuação)

Variável estudada	Descrição	Justificativa
Animais desmamados para venda	Neste fluxo os animais são destinados principalmente para produção de carne. Preconizou-se que todos os machos oriundos do rebanho seguem para esse fluxo.	Demonstra a dinâmica do volume de animais vendidos.
Animais para reprodução	Fluxo que determina o número de fêmeas que serão destinadas à reposição das matrizes no rebanho.	Permite que o produtor verifique se o número de animais nascidos que chegam a esta fase é suficiente para manter a estabilização do rebanho de matrizes.
Maturidade sexual	Corresponde à idade em que as fêmeas jovens estão aptas à reprodução.	Variável auxiliar com importante função dentro do modelo, uma vez que sua função será determinar a saída dos animais do estoque “Animais desmamados”.
Taxa de mortalidade de desmamados	Percentual de animais mortos nesta fase.	Informa ao modelo a proporção de perdas nesta fase.
Entrando matrizes jovens para reposição	Fluxo das matrizes jovens que serão manejadas para reprodução.	Permite observar comportamento do número de matrizes destinadas a tal fim.
Matrizes jovens para reposição	Estoque que determina o número de matrizes remanescentes para reprodução.	Possibilita acompanhar a quantidade de fêmeas que ainda não seguirão para reposição.

APÊNDICE A – Descrição das variáveis utilizadas no Subsistema Animal I (Continuação)

Variável estudada	Descrição	Justificativa
Saindo matrizes jovens para reposição	Número de matrizes que irão compor o novo rebanho por meio do input “Entrando matrizes de reposição”.	Permite acompanhar a saída do estoque “Matrizes jovens para reposição”, além de servir como alimentador do fluxo “Entrando matrizes de reposição”.
Diferença entre matrizes jovens disponíveis e utilizadas	Esta variável compreende o número de matrizes “ociosas” no rebanho.	Possibilita ao produtor acompanhar a dinâmica das fêmeas que permanecem sem serem utilizadas, cabendo-o, então, analisar se é mais viável permanecer com as mesmas ou destiná-las para venda como matrizes jovens.
Entrando matrizes jovens para venda	É destinado para este fluxo um percentual de fêmeas que não seguiram o fluxo das matrizes que se destinam a incorporação no rebanho.	Permite a transferências das fêmeas ociosas para venda, demonstrando para o produtor, seu comportamento.
Matrizes jovens para venda	Estoque que estabelece o número de matrizes jovens que serão vendidas.	Possibilita acompanhar o número de fêmeas que ainda não seguirão para venda.
Venda de matrizes jovens	Este fluxo demonstra o número de matrizes que foram vendidas. Pode se somar a ela as matrizes oriundas, caso existam, da diferença entre o número de matrizes jovens disponíveis e o utilizado.	Permite ao tomador de decisão a análise imediata de quanto ele geraria de renda com a venda desses animais.

APÊNDICE A – Descrição das variáveis utilizadas no Subsistema Animal I (Continuação)

Variável estudada	Descrição	Justificativa
Total de leite produzido	Quantidade de litros de leite produzido por mês segundo a quantidade de “Matrizes em lactação” e a “Média de produção de leite”.	Possibilita o acompanhamento da produção.
Matrizes em lactação	Corresponde a quantidade de matrizes que gestaram e estão amamentando. Relaciona-se com esta variável “Nº de matrizes no rebanho” e “Fertilidade”.	Demonstra o comportamento reprodutivo e produtivo das matrizes.
Período de lactação	Determinado por um pulso que estabelece os períodos em que as matrizes se encontram em lactação de acordo com as características fisiológicas dos animais.	Indica para o modelo o período que deve ser contabilizada a produção de leite.
Controle período de lactação	Corresponde a um pulso que determina a quantidade de meses em que as matrizes estão lactando, de acordo com o modo de produção adotado pelo produtor.	Permite ao produtor informar para o modelo quando deverá ser incluída na simulação a variável “Período de lactação”.
Média de produção de leite	Quantidade média de leite produzida por dia por cabra.	Indica para o modelo a contribuição per capita de produção de leite que deverá ser simulada.
Leite para venda	Quantidade de leite destinada para a venda após a retirada do leite para consumo dos cabritos.	Permite verificar a quantidade excedente a produção.

APÊNDICE A – Descrição das variáveis utilizadas no Subsistema Animal I (Continuação)

Variável estudada	Descrição	Justificativa
Consumo por cabrito	Consumo médio diário de leite por parte dos cabritos.	Indica para o modelo o quanto deve ser retirado da produção total, evitando mascarar essa saída o que poderia induzir o produtor ao erro.
Dias por mês	Variável auxiliar que objetiva transformar a demanda diária em mensal.	

APÊNDICE B – Descrição das variáveis utilizadas no Subsistema Animal II

Variável estudada	Descrição	Justificativa
Peso médio das Matrizes (kg)	Corresponde ao peso médio das matrizes.	Indica para o modelo o peso que deve ser considerado para determinar a estimativa de ingestão de matéria seca (MS) das matrizes.
Peso médio dos reprodutores (kg)	Corresponde ao peso médio dos reprodutores presente no rebanho.	Indica para o modelo o peso que deve ser considerado para determinar a estimativa de ingestão de MS dos reprodutores.
Peso médio dos animais para reprodução (kg)	Corresponde ao peso médio dos animais destinados à reprodução.	Indica para o modelo o peso que deve ser considerado para determinar a estimativa de ingestão de MS dos animais jovens.
Estimativa de ingestão de MS (kg MS/dia) das matrizes	Quantidade de MS consumida pelas as matrizes em relação ao peso das mesmas.	Permite acompanhar a demanda de MS específica das matrizes.
Estimativa de ingestão de MS (kg MS/dia) dos reprodutores	Quantidade de matéria seca consumida pelos reprodutores.	Permite acompanhar a demanda de MS específica dos reprodutores.
Estimativa de ingestão de MS (kg MS/dia) dos animais para a reprodução	Quantidade de matéria seca consumida pelos animais destinados à reprodução.	Permite acompanhar a demanda de MS específica dos animais jovens.

APÊNDICE B – Descrição das variáveis utilizadas no Subsistema Animal II (Continuação)

Variável estudada	Descrição	Justificativa
% de FDN na forragem	Percentual médio de Fibra em Detergente Neutro (FDN) presente na forragem.	A FDN tem um papel importante na determinação da ingestão de MS uma vez que à medida que seu percentual na forragem aumenta a ingestão de matéria seca tende a diminuir (BRANCO et al., 2010).
Limite médio de ingestão de Fibra	Esta variável determina o limite de ingestão de FDN.	Segundo Mertens (1992) este limite está em torno de 1,2% do peso corporal do animal, valor este quando ultrapassado, implica na restrição de ingestão pelo efeito do enchimento do trato gastrintestinal.
Correção dos machos jovens	Tem como objetivo corrigir o número de animais para reprodução, ou seja, para que o modelo contabilize os machos e fêmeas nascidos.	
Forragem necessária	Quantidade de MS necessária para atender às necessidades do rebanho.	Possibilita ao produtor acompanhar o comportamento da demanda por forragem no sistema.

APÊNDICE C – Descrição das variáveis utilizadas no Subsistema Forragem

Variável estudada	Descrição	Justificativa
Área total do sistema	Corresponde ao total de hectares do sistema agrossilvipastoril estudado.	Indica para o modelo o limite da propriedade.
Área total pecuária	Total de hectares destinados ao pastejo dos animais.	Indica ao modelo limite da área reservada para a atividade pastoril.
% da área destinada à pecuária	Variável que permite delimitar da área total o percentual que é destinada à pecuária.	
Área total agrícola	Total de hectares destinados à produção das culturas agrícolas como o milho, o feijão, o sorgo, a mandioca, dentre outras que o produtor venha a adotar.	Indica ao modelo limite da área reservada para a atividade pastoril.
% da área destinada à agricultura	Variável que permite delimitar da área total o percentual que é destinada às culturas agrícolas.	
Área agrícola plantada	Total de hectares com cultura agrícola.	Indica para o modelo a proporção da área onde podem ser estabelecidas as culturas agrícolas.
Área agrícola não plantada	Total de hectares com árvores, banco de proteína e leiras (cordões) de garranchos.	Indica para o modelo a proporção da área já ocupada e que não pode ser contabilizada para fins de estabelecimentos de culturas agrícolas.

APÊNDICE C – Descrição das variáveis utilizadas no Subsistema Forragem (Continuação)

Variável estudada	Descrição	Justificativa
% da área agrícola não plantada	Determina a proporção da área agrícola ocupada com outros usos que não culturas agrícolas.	
FTAP Caatinga rebaixada (kg MS/ha/mês)	Fitomassa total da área pecuária - FTAP caso o produtor opte por adotar o rebaixamento da caatinga como forma de manejo.	Indica para o modelo a contribuição desta prática de manejo para a oferta de forragem.
FTAP Caatinga enriquecida (kg MS/ha/mês)	Fitomassa total da área pecuária caso o produtor opte por adotar enriquecer a caatinga como forma de manejo.	Indica para o modelo a contribuição desta prática de manejo para a oferta de forragem.
FTAP Caatinga raleada (kg MS/ha/mês)	Fitomassa total da área pecuária caso o produtor opte por adotar o raleamento da caatinga como forma de manejo.	Indica para o modelo a contribuição desta prática de manejo para a oferta de forragem.
Fator de exclusão CRe Fator de exclusão CEn e Fator de exclusão CRa	Funcionam como uma “chave liga/desliga” permitindo a entrada da produção de fitomassa oriunda de um ou mais dos manejos da caatinga (CRe – caatinga rebaixada, CEn – caatinga enriquecida e CRa – caatinga raleada) adotado pelo produtor descritos anteriormente.	

APÊNDICE C – Descrição das variáveis utilizadas no Subsistema Forragem (Continuação)

Variável estudada	Descrição	Justificativa
Fitomassa total da área pecuária (kg MS/ha/mês) – FTAP	Variável auxiliar que permite a entrada da produção de fitomassa gerada na área pecuária no fluxo de oferta de forragem.	Esta variável assume a quantidade produzida de forragem de acordo com a técnica de manipulação da caatinga adotada.
Fitomassa pastável (kg MS/ha/mês)	Do total de fitomassa produzido somente uma parte é pastável, daí o objetivo desta variável auxiliar.	Determinar a quantidade que estará disponível para consumo dos animais.
% de Fitomassa pastável	Condiciona a variável anterior por meio da determinação da proporção de fitomassa total que deve ser contabilizada como fonte de alimento para o rebanho.	
Oferta de forragem na área pecuária	Relação entre a produção de matéria seca por hectare e a “Área total pecuária”.	Demonstra o comportamento da produção de alimento (forragem) oriundo da área pastoril.

APÊNDICE D – Descrição das variáveis utilizadas no Subsistema Agricultura

Variável estudada	Descrição	Justificativa
Produtividade milho - parte aérea (kg MN/ha/mês)	Quantidade de biomassa (matéria natural – MN) da parte aérea produzida pela cultura.	Indica para o modelo a produtividade média verificada durante a construção do banco de dados.
Produtividade milho - parte aérea (kg MS/ha/mês)	Quantidade de matéria seca da parte aérea produzida pela cultura.	Permite converter a MN em MS.
Teor de MS da parte aérea do milho (%)	Variável que determina para o modelo o percentual de MS encontrado na biomassa da parte aérea produzida.	Torna possível a conversão da MN em MS.
% de área plantada com milho	Variável que delimita da área total agrícola o percentual ocupado com a cultura.	
Produção total de milho - parte aérea (kg MS/mês)	Quantidade de MS da parte aérea produzida pela cultura na área total destinada a agricultura.	Permite o acompanhamento da oferta de forragem por parte da cultura.
Produtividade milho - espiga (kg/ha/mês)	Indica para o modelo o total de espigas produzidas em média, em quilograma por hectare por mês.	

APÊNDICE D – Descrição das variáveis utilizadas no Subsistema Agricultura (Continuação)

Variável estudada	Descrição	Justificativa
Produção total de milho - espiga (kg/mês)	Indica para o modelo o total de espigas produzidas na área total destinada à agricultura.	
Milho para venda - espigas (kg/mês)	Quantidade de espigas destinadas à venda, caso o produtor opte por esse fim.	Possibilita o acompanhamento do volume de vendas do produto.
% de milho para venda	Condiciona o percentual da produção total de milho que será destinada à venda caso seja esta a decisão do produtor.	
Milho em grão para venda (kg/mês)	Quantidade de grãos vendida, caso o produtor opte por vender parte da produção desta forma.	Possibilita o acompanhamento do volume de vendas do produto.
% de grão por espiga	Percentual médio de grãos encontrados em cada espiga.	Determina para o modelo a transformação da quantidade de milho em espiga para milho em grão.
% de grãos para venda	Condiciona o percentual da produção total de milho que será destinada à venda na forma de grão caso seja esta a decisão do produtor.	
Milho para venda - espigas em MS (kg MS/mês)	Variável que possibilita ao modelo a transformação do milho em espigas para milho em termos de MS.	

APÊNDICE D – Descrição das variáveis utilizadas no Subsistema Agricultura (Continuação)

Variável estudada	Descrição	Justificativa
Teor de MS milho para venda (%)	Indica ao modelo o percentual a ser considerado no momento da conversão do grão para MS.	
Milho complemento para forragem (kg MS/mês)	Quantidade de milho destinada para alimentação animal.	Possibilita a compreensão de quanto está sendo à contribuição do milho em grão e/ou espigas para a oferta de forragem em termos de MS.
Fator de exclusão do milho	Determina a entrada da produção de milho no sistema.	Indica ao modelo quando as informações referentes à cultura do milho deverão ser contabilizadas.
Produtividade feijão - rama (kg MN/ha/mês)	Quantidade de biomassa da parte aérea produzida pela cultura.	Indica para o modelo a produtividade média verificada durante a construção do banco de dados.
Teor de MS do feijão - rama (%)	Variável que determina para o modelo o percentual de MS encontrado na biomassa da parte aérea produzida.	Torna possível a conversão da MN em MS.
Produtividade feijão - rama (kg MS/ha/mês)	Quantidade de matéria seca da parte aérea produzida pela cultura.	Permite converter a MN em MS.
% de área plantada com feijão	Variável que delimita da área total agrícola o percentual ocupado com a cultura.	

APÊNDICE D – Descrição das variáveis utilizadas no Subsistema Agricultura (Continuação)

Variável estudada	Descrição	Justificativa
Produção total de feijão - rama (kg MS/mês)	Quantidade de MS da parte aérea produzida pela cultura na área total destinada a agricultura.	Permite o acompanhamento da oferta de forragem por parte da cultura.
Produtividade feijão - grãos (kg/ha/mês)	Indica para o modelo o total de grãos produzidos em média, em quilograma por hectare por mês.	
Produção total feijão grão (kg/mês)	Indica para o modelo o total de grãos produzidos na área total destinada à agricultura.	
Produção de feijão em MS (kg MS/mês)	Variável que permite ao modelo a transformação do feijão em grão para feijão em termos de MS.	
Teor de MS do feijão - grão (%)	Indica ao modelo o percentual a ser considerado no momento da conversão do grão para MS.	
Feijão para venda (kg/mês)	Quantidade de grãos vendida, caso o produtor opte por vender parte da produção desta forma.	Possibilita o acompanhamento do volume de vendas do produto.
% feijão para venda	Condiciona o percentual da produção total de feijão que será destinada à venda na forma de grão caso seja esta a decisão do produtor.	

APÊNDICE D – Descrição das variáveis utilizadas no Subsistema Agricultura (Continuação)

Variável estudada	Descrição	Justificativa
Feijão para consumo (kg/mês)	Quantidade de grãos a ser consumida, caso o produtor opte por utilizar esta produção na alimentação da sua família.	Possibilita o acompanhamento do volume de vendas do produto.
% feijão para consumo	Condiciona o percentual da produção total de feijão que será destinada ao consumo familiar caso seja esta a decisão do produtor.	
Fator de exclusão do feijão	Determina a entrada da produção de feijão no sistema.	Indica ao modelo quando as informações referentes à cultura do feijão deverão ser contabilizadas.
Produtividade mandioca - parte aérea (kg MN/ha/mês)	Quantidade de biomassa da parte aérea produzida pela cultura.	Indica para o modelo a produtividade média verificada durante a construção do banco de dados.
Teor de MS da mandioca - parte aérea (%)	Variável que determina para o modelo o percentual de MS encontrado na biomassa da parte aérea produzida.	Torna possível a conversão da MN em MS.
Produtividade mandioca - parte aérea (kg MS/ha/mês)	Quantidade de matéria seca da parte aérea produzida pela cultura.	Permite converter a MN em MS.

APÊNDICE D – Descrição das variáveis utilizadas no Subsistema Agricultura (Continuação)

Variável estudada	Descrição	Justificativa
% de área plantada com mandioca	Variável que delimita da área total agrícola o percentual ocupado com a cultura.	
Produção total de mandioca - parte aérea (kg MS/mês)	Quantidade de MS da parte aérea produzida pela cultura na área total destinada a agricultura.	Permite o acompanhamento da oferta de forragem por parte da cultura.
Produtividade mandioca - raiz (kg/ha/mês)	Indica para o modelo o total de raízes produzidas em média, em quilograma por hectare por mês.	
Produção total mandioca - raiz (kg/mês)	Indica para o modelo o total de grãos produzidos na área total destinada à agricultura.	
Teor de MS da raiz de mandioca (%)	Indica ao modelo o percentual a ser considerado no momento da conversão para MS.	
Mandioca raiz para complementação forragem (kg MS/mês)	Quantidade de raiz destinada para alimentação animal.	Possibilita a compreensão de quanto está sendo a contribuição da mandioca (raiz) para a oferta de forragem em termos de MS.

APÊNDICE D – Descrição das variáveis utilizadas no Subsistema Agricultura (Continuação)

Variável estudada	Descrição	Justificativa
% mandioca raiz para venda	Condiciona o percentual da produção total de mandioca que será destinada à venda na forma de raiz caso seja esta a decisão do produtor.	
Mandioca raiz para venda (kg/mês)	Quantidade de mandioca vendida, caso o produtor opte por vender parte da produção desta forma.	Possibilita o acompanhamento do volume de vendas do produto.
Mandioca raiz para venda em MS (kg MS/mês)	Variável que possibilita ao modelo a transformação da mandioca em termos de MS.	
Fator de exclusão da mandioca	Determina a entrada da produção de mandioca no sistema.	Indica ao modelo quando as informações referentes à cultura da mandioca deverão ser contabilizadas.
Produtividade sorgo (kg MN/ha/mês)	Quantidade de biomassa da parte aérea produzida pela cultura.	Indica para o modelo a produtividade média verificada durante a construção do banco de dados.
Teor de MS do sorgo (%)	Variável que determina para o modelo o percentual de MS encontrado na biomassa da parte aérea produzida.	Torna possível a conversão da MN em MS.
Produtividade sorgo (kg MS/ha/mês)	Quantidade de matéria seca da parte aérea produzida pela cultura.	

APÊNDICE D – Descrição das variáveis utilizadas no Subistema Agricultura (Continuação)

Variável estudada	Descrição	Justificativa
% de área plantada com sorgo	Variável que delimita da área total agrícola o percentual ocupado com a cultura.	
Produção total de sorgo (kg MS/mês)	Quantidade de MS da parte aérea produzida pela cultura na área total destinada a agricultura.	Permite o acompanhamento da oferta de forragem por parte da cultura.
Fator de exclusão do sorgo	Determina a entrada da produção de sorgo no sistema.	Indica ao modelo quando as informações referentes à cultura do sorgo deverão ser contabilizadas.
Produtividade leguminosa (kg MN/ha/mês)	Quantidade de biomassa da parte aérea produzida pela cultura.	Indica para o modelo a produtividade média verificada durante a construção do banco de dados.
Teor de MS da leguminosa (%)	Variável que determina para o modelo o percentual de MS encontrado na biomassa da parte aérea produzida.	Torna possível a conversão da MN em MS.
Produtividade leguminosa (kg MS/ha/mês)	Quantidade de matéria seca da parte aérea produzida pela cultura.	Permite converter a MN em MS.
% de área plantada com leguminosa	Variável que delimita da área total agrícola o percentual ocupado com a cultura.	

APÊNDICE D – Descrição das variáveis utilizadas no Subsistema Agricultura (Continuação)

Variável estudada	Descrição	Justificativa
Produção total de leguminosa (kg MS/mês)	Quantidade de MS da parte aérea produzida pela cultura na área total destinada a agricultura.	Permite o acompanhamento da oferta de forragem por parte da cultura.
Fator de exclusão da leguminosa	Determina a entrada da produção de forragem oriunda do banco de proteína no sistema.	Indica ao modelo quando as informações referentes ao banco de proteína deverão ser contabilizadas.
Oferta total de forragem	Compreende o total de matéria seca oriunda da área pecuária e a agrícola permite acompanhar a quantidade de forragem em base de MS ofertada, possibilitando ao produtor verificar se a oferta supre a demanda do rebanho.	

APÊNDICE E – Descrição das variáveis utilizadas no Subsistema Serviços Ambientais (Carbono)

Variável estudada	Descrição	Justificativa
Biomassa área agrícola	Quantidade de biomassa produzida na área agrícola determinada por meio da variável “Oferta de forragem na área agrícola.	Permite inferir a contribuição da área agrícola para o acúmulo de carbono.
Biomassa área pecuária	Quantidade de biomassa produzida na área pecuária oriunda das variáveis “Área total pecuária” e “Fitomassa total da área pecuária (Kg MS/ha/mês) – FTAP”.	Permite inferir a contribuição da área pecuária para o acúmulo de carbono.
Biomassa da serrapilheira	Quantidade de biomassa produzida pela serrapilheira, em kg MS/mês.	
Biomassa reserva legal	Quantidade de biomassa produzida na área destinada à reserva legal, em kg MS/mês.	Permite inferir a contribuição da serrapilheira para o acúmulo de carbono.
Biomassa vegetal total – BVT	Somatório das variáveis descritas anteriormente.	Possibilita acompanhar a dinâmica da produção total de biomassa vegetal do sistema e que contribui para o acúmulo de carbono.
Carbono da BVT	Quantidade de carbono gerada pela produção da biomassa vegetal na área.	Permite a conversão de biomassa em carbono.
Carbono do solo	Carbono presente no solo. Esta variável se relaciona diretamente com a “Área total do sistema”.	Indica ao modelo a contribuição do solo para o acúmulo total de carbono.

APÊNDICE E – Descrição das variáveis utilizadas no Subsistema Serviços Ambientais (Carbono) (Continuação)

Variável estudada	Descrição	Justificativa
Esterco oriundo do rebanho	Esterco gerado pelos animais presentes no sistema.	Fonte de retorno ao sistema de parte da biomassa ingerida.
Carbono do esterco	Carbono gerado pelo esterco dos animais presentes no sistema.	Indica o percentual do esterco que deve ser contabilizado na determinação do estoque de carbono.
Gerando carbono	Fluxo que permite a entrada dos valores de carbono no sistema.	
Carbono acumulado	Variável estoque que determina a quantidade de carbono gerada no sistema.	Permite ao modelador verificar os níveis de carbono no sistema.
Liberando Carbono	Considerado também um fluxo, todavia de saída, permite verificar a perda de carbono no sistema.	Permite ao modelador verificar as perdas no estoque de carbono do sistema.
Carbono da forragem ingerida	Quantidade de carbono que é retirada do sistema por meio da alimentação dos animais.	Permite corrigir o modelo para que a biomassa considerada como produtora seja aquela que se mantém na área.
Convertendo CO ₂	Fluxo de entrada para conversão do carbono em CO ₂ equivalente.	Permite que o modelo promova essa conversão.

APÊNDICE E – Descrição das variáveis utilizadas no Subsistema Serviços Ambientais (Carbono) (Continuação)

Variável estudada	Descrição	Justificativa
Fator de conversão CO ₂ equivalente	Variável que permite converter o carbono em CO ₂ equivalente.	Indica para o modelo o valor que deve ser multiplicado ao peso atômico do carbono utilizado para converter molécula de C para a de CO ₂ .
CO ₂ equivalente acumulado	Quantidade de carbono convertido em CO ₂ equivalente.	Permite quantificar a produção do gás sobre o qual é valorado o serviço do sistema agrossilvipastoril de fixar carbono e que deve servir de base para os cálculos do fluxo de caixa para um possível projeto.
CO ₂ equivalente para venda	Quantidade de CO ₂ equivalente destinado à venda.	

APÊNDICE F – Índices zootécnicos e produtivos utilizados no modelo

Descrição	Unidade	Valor
Número inicial de matrizes	Cabeças	20
Relação fêmea/macho	Cabeças	30/1
Taxa de mortalidade de matrizes:	Dmnl ^a	0,0016
Taxa de descarte de matrizes:	Dmnl	0,2
Fertilidade	Dmnl	0,85 – 0,95
Prolificidade	Dmnl	1 - 2
Intervalo entre nascimentos	Mês	8 ou 12
Tempo em aleitamento	Mês	2,4
Taxa de mortalidade no aleitamento	Dmnl	0,0075
Maturidade sexual	Mês	8
Taxa de mortalidade desmamados	Dmnl	0,0058
Taxa de reposição de matrizes	Dmnl	0,25 ou 0,17
Média de produção de leite	L dia ⁻¹ cabeça ⁻¹	1,35 – 2,00
Consumo de leite por cabrito	L dia ⁻¹ cabeça ⁻¹	1,50
Peso médio das matrizes	kg PV cabeça ⁻¹	28 - 42
Peso médio dos reprodutores	kg PV cabeça ⁻¹	70 - 95
Peso médio dos animais para reprodução	kg PV cabeça ⁻¹	28 - 42
% de FDN na forragem	Dmnl	67,2
Limite médio de ingestão de Fibra	Dmnl	1,2
Área total do sistema	ha	8,0
Área total pecuária	ha	4,8
Área total agrícola	ha	1,6
Fitomassa Total da Área Pecuária Caatinga rebaixada	kg MS ha ⁻¹ mês ⁻¹	500,00
Fitomassa Total da Área Pecuária Caatinga enriquecida	kg MS ha ⁻¹ mês ⁻¹	1.250,00
Fitomassa Total da Área Pecuária Caatinga raleada	kg MS ha ⁻¹ mês ⁻¹	666,67

APÊNDICE F – Índices zootécnicos e produtivos utilizados no modelo (Continuação)

Descrição	Unidade	Valor
% de Fitomassa pastável	Dmnl	0,40
Produtividade milho - parte aérea	kg MN ha ⁻¹ mês ⁻¹	2.666,67
Teor de MS da parte aérea do milho	Dmnl	0,38
Produtividade milho - espiga	kg ha ⁻¹ mês ⁻¹	108,00
% de grão por espiga	Dmnl	0,75
Produtividade feijão - rama	kg MN ha ⁻¹ mês ⁻¹	253,936
Teor de MS do feijão - rama	Dmnl	0,3998
Teor de MS do feijão - grão	Dmnl	0,94
Produtividade sorgo	kg MN ha ⁻¹ mês ⁻¹	3.333,33
Teor de MS do sorgo	Dmnl	0,28
Produtividade leguminosa	kg MN ha ⁻¹ mês ⁻¹	2.083,33
Teor de MS da leguminosa	Dmnl	0,27
Produtividade mandioca - parte aérea	kg MN ha ⁻¹ mês ⁻¹	6.833,33
Teor de MS da mandioca - parte aérea	Dmnl	0,28
Produtividade mandioca - raiz	kg ha ⁻¹ mês ⁻¹	602,525
Teor de MS da raiz de mandioca	Dmnl	0,35
Biomassa da serapilheira	kg MS mês ⁻¹	917,08
Biomassa reserva legal	kg MS mês ⁻¹	333,33
Fator para a determinação do peso seco da biomassa em Carbono	Dmnl	0,50
Fator de conversão CO ₂ equivalente	Dmnl	3,6667

Fonte: Resultados da pesquisa (2011).

Nota: ^a Dmnl: utilizada para números que não têm unidades associadas a eles (em inglês, *Dimensionless* = *Dmnl*).

APÊNDICE G – Equações matemáticas referentes às variáveis descritas no Subsistema Animal I

Variável estudada	Equação	Unidade de medida
Número de matrizes no rebanho	<i>Nº de matrizes no rebanho = INTEG (Entrando matrizes de reposição - Matrizes descartadas - Mortalidade matrizes, Nº inicial de matrizes)</i>	Cabeças
Número inicial de matrizes	<i>Nº inicial de matrizes = 20</i>	Cabeças
Relação fêmea/macho	<i>Relação fêmea/macho = 30</i>	Cabeças
Reprodutores necessários no rebanho	<i>Reprodutores necessários no rebanho = IF THEN ELSE((Nº de matrizes no rebanho/"Relação fêmea/macho")<=1 , 1 , Nº de matrizes no rebanho/"Relação fêmea/macho")</i>	Cabeças
Mortalidade das matrizes	<i>Mortalidade matrizes = Nº de matrizes no rebanho * Taxa de mortalidade matrizes</i>	Cabeças mês ⁻¹
Taxa de mortalidade de matrizes:	<i>Taxa de mortalidade matrizes = 0.0016</i>	Dmnl ^a
Matrizes descartadas	<i>Matrizes descartadas = (Nº de matrizes no rebanho * Taxa de descarte de matrizes) * Início do descarte</i>	Cabeças mês ⁻¹
Taxa de descarte de matrizes	<i>Taxa de descarte de matrizes = 0.2*Controle da taxa de descarte matrizes</i>	Dmnl
Início do descarte	<i>Início do descarte = PULSE(24, 1^{e+010})</i>	Mês
Controle da taxa de descarte matrizes	<i>Controle da taxa de descarte matrizes = PULSE TRAIN(24, 0, 12, 1^{e+010})</i>	Dmnl
Entrando matrizes de reposição	<i>Entrando matrizes de reposição = IF THEN ELSE((Nº inicial de matrizes-Nº de matrizes no rebanho)>0, IF THEN ELSE(Saindo matrizes jovens para reprodução, (Matrizes descartadas+Mortalidade matrizes)+(Nº inicial de matrizes-Nº de matrizes no rebanho), 0) , 0)</i>	Cabeças mês ⁻¹
Nascimentos	<i>Nascimentos = (Nº de matrizes no rebanho * Fertilidade * Prolificidade * Intervalo entre nascimentos) * 0.5</i>	Cabeças mês ⁻¹
Fertilidade	<i>Fertilidade = RANDOM NORMAL(0.85, 0.95 , 0.9432 , 0.5 , 1234)</i>	Dmnl
Prolificidade	<i>Prolificidade = RANDOM UNIFORM(1, 2 , 1234)</i>	Dmnl

APÊNDICE G – Equações matemáticas referentes às variáveis descritas no Subsistema Animal I (Continuação)

Variável estudada	Equação	Unidade de medida
Intervalo entre nascimentos	<i>Intervalo entre nascimentos = PULSE TRAIN(8, 1, Controle intervalo entre nascimentos, 1^{e+010})</i>	Mês
Controle intervalo entre nascimentos	<i>Controle intervalo entre nascimentos = 8 ou 12</i>	Mês
Intervalo entre nascimentos	<i>Intervalo entre nascimentos = PULSE TRAIN(8, 1, Controle intervalo entre nascimentos, 1^{e+010})</i>	Mês
Animais em aleitamento	<i>Animais em aleitamento = INTEG(+Nascimentos-Mortalidade aleitamento-Transição desmamados, 0)</i>	Cabeças
Tempo em aleitamento	<i>Tempo em aleitamento = 2.4</i>	Mês
Mortalidade aleitamento	<i>Mortalidade aleitamento = DELAY FIXED(Nascimentos*Taxa de mortalidade no aleitamento, Tempo em aleitamento, 0)</i>	Cabeças mês ⁻¹
Taxa de mortalidade no aleitamento	<i>Taxa de mortalidade no aleitamento = 0.0075</i>	Dmnl
Transição desmamados	<i>Transição desmamados = DELAY FIXED(Nascimentos*(1-Taxa de mortalidade no aleitamento), Tempo em aleitamento, 0)</i>	Cabeças mês ⁻¹
Animais desmamados	<i>Animais desmamados = INTEG (+Transição desmamados-Animais para reprodução-Animais desmamados para venda, 0)</i>	Cabeças mês ⁻¹
Animais para reprodução	<i>Animais para reprodução = DELAY FIXED(Transição desmamados*(1-Taxa de mortalidade desmamados), Maturidade sexual, 0)</i>	Cabeças mês ⁻¹
Maturidade sexual	<i>Maturidade sexual = 8</i>	Mês
Taxa de mortalidade desmamados	<i>Taxa de mortalidade desmamados = 0.0058</i>	Dmnl
Taxa de reposição de matrizes	<i>Taxa de reposição de matrizes = IF THEN ELSE(Animais para reprodução>0, IF THEN ELSE(Time<=19, 0.25, 0.17), 0)</i>	Dmnl

APÊNDICE G – Equações matemáticas referentes às variáveis descritas no Subsistema Animal I (Conclusão)

Variável estudada	Equação	Unidade de medida
Entrando matrizes jovens para reposição	<i>Entrando matrizes jovens para reposição = Animais para reprodução*Taxa de reposição de matrizes</i>	Cabeças mês ⁻¹
Matrizes jovens para reposição	<i>Matrizes jovens para reposição= INTEG (Entrando matrizes jovens para reposição-Saindo matrizes jovens para reprodução, 0)</i>	Cabeças mês ⁻¹
Saindo matrizes jovens para reprodução	<i>Saindo matrizes jovens para reprodução = Matrizes jovens para reposição</i>	Cabeças mês ⁻¹
Diferença entre matrizes jovens disponíveis e utilizadas	<i>Diferença entre matrizes jovens disponíveis e utilizadas = IF THEN ELSE(Entrando matrizes jovens para reposição>Entrando matrizes de reposição,Entrando matrizes jovens para reposição-Entrando matrizes de reposição , 0)</i>	Cabeças mês ⁻¹
Entrando matrizes jovens para venda	<i>Entrando matrizes jovens para venda = Animais para reprodução-Entrando matrizes jovens para reposição</i>	Cabeças mês ⁻¹
Matrizes jovens para venda	<i>Matrizes jovens para venda= INTEG (Entrando matrizes jovens para venda-Venda de matrizes jovens, 0)</i>	Cabeças mês ⁻¹
Venda de matrizes jovens	<i>Venda de matrizes jovens = Matrizes jovens para venda</i>	Cabeças mês ⁻¹
Total de leite produzido	<i>Total de leite produzido = IF THEN ELSE(Time>=8, (Matrizes em lactação*Média de produção de leite*Dias por mês), 0)</i>	L mês ⁻¹
Matrizes em lactação	<i>Matrizes em lactação = N° de matrizes no rebanho*Fertilidade</i>	Cabeças mês ⁻¹
Média de produção de leite	<i>Média de produção de leite = RANDOM UNIFORM(1.35 , 2 , 1234)</i>	L dia ⁻¹ cabeça ⁻¹
Leite para venda	<i>Leite para venda = Total de leite produzido-(Animais em aleitamento*Consumo por cabrito*Dias por mês)</i>	L mês ⁻¹
Consumo por cabrito	<i>Consumo por cabrito = 1.5</i>	L dia ⁻¹ cabeça ⁻¹

Fonte: Resultados da pesquisa (2011).

Nota: ^a Dmnl: utilizada para números que não têm unidades associadas a eles (em inglês, *Dimensionless = Dmnl*).

APÊNDICE H – Equações matemáticas referentes às variáveis descritas no Subsistema Animal II (Continuação)

Variável estudada	Equação	Unidade de medida
Dias por mês	<i>Dias por mês = 30</i>	dia
Peso médio das Matrizes (kg PV/cabeça)	<i>"Peso médio animais para reprodução (kg PV)" = RANDOM NORMAL(28, 42, 35.4, 4.2, 1234)</i>	kg PV cabeça ⁻¹
Peso médio dos reprodutores (kg PV/cabeça)	<i>"Peso médio reprodutores (kg PV)" = RANDOM UNIFORM(70, 95, 1234)</i>	kg PV cabeça ⁻¹
Peso médio dos animais para reprodução (kg PV/cabeça)	<i>"Peso médio animais para reprodução (kg PV)" = RANDOM NORMAL(28, 42, 35.4, 4.2, 1234)</i>	kg PV cabeça ⁻¹
Estimativa de ingestão de MS (kg/dia/cabeça) das matrizes	<i>"Estimativa de ingestão de MS (kg/dia/cabeça) das matrizes" = 0.065*(<i>"Peso médio das Matrizes (kg PV)"</i>)^{0.75}+(0.035*<i>Média de produção de leite</i>)</i>	kg dia ⁻¹ cabeça ⁻¹
Estimativa de ingestão de MS (kg/dia/cabeça) dos reprodutores	<i>"Estimativa de ingestão de MS (kg/dia) dos reprodutores" = 0.065*(<i>"Peso médio reprodutores (kg PV)"</i>)^{0.75}</i>	kg dia ⁻¹ cabeça ⁻¹
Estimativa de ingestão de MS (kg/dia/cabeça) dos animais para a reprodução	<i>"Estimativa de ingestão de MS (kg/dia/cabeça) dos animais para reprodução" = 0.065*(<i>"Peso médio animais para reprodução (kg PV)"</i>)^{0.75}</i>	kg dia ⁻¹ cabeça ⁻¹
% de FDN na forragem	<i>"% de FDN na forragem" = 67.2</i>	Dmnl ^a
Limite médio de ingestão de Fibra	<i>Limite médio de ingestão de Fibra = 1.2</i>	Dmnl
Correção dos machos	<i>Correção machos jovens = 2</i>	Dmnl
Forragem necessária	<i>Forragem necessária = (Nº de matrizes no rebanho+Reprodutores necessários no rebanho+(Animais para reprodução*Correção machos jovens))*"Estimativa de ingestão de forragem (kg/dia/cabeça)"*Dias por mês</i>	kg mês ⁻¹

APÊNDICE H – Equações matemáticas referentes às variáveis descritas no Subsistema Animal II (Conclusão)

Variável estudada	Equação	Unidade de medida
Estimativa de ingestão de MS (kg/dia/cabeça)	$\text{"Estimativa de ingestão de forragem (kg MS/dia)" = IF THEN ELSE((("Peso médio reprodutores (kg PV)" + "Peso médio das Matrizes (kg PV)" + "Peso médio animais para reprodução (kg PV)"/3) * Limite médio de ingestão de Fibra/"% de FDN na forragem" >= ("Estimativa de ingestão de MS (kg/dia) das matrizes" + "Estimativa de ingestão de MS (kg/dia) dos animais para reprodução" + "Estimativa de ingestão de MS (kg/dia) dos reprodutores")/3, ("Estimativa de ingestão de MS (kg/dia) das matrizes" + "Estimativa de ingestão de MS (kg/dia) dos animais para reprodução" + "Estimativa de ingestão de MS (kg/dia) dos reprodutores")/3, ("Peso médio reprodutores (kg PV)" + "Peso médio das Matrizes (kg PV)" + "Peso médio animais para reprodução (kg PV)"/3) * Limite médio de ingestão de Fibra/"% de FDN na forragem")$	kg dia ⁻¹ cabeça ⁻¹

Fonte: Resultados da pesquisa (2011).

Nota: ^a Dmnl: utilizada para números que não têm unidades associadas a eles (em inglês, *Dimensionless* = *Dmnl*).

APÊNDICE I – Equações matemáticas referentes às variáveis descritas no Subsistema Forragem

Variável estudada	Equação	Unidade de medida
Área total do sistema	$\text{Área total do sistema} = 8$	ha
Área total pecuária	$\text{Área total pecuária} = \text{Área total do sistema} * \% \text{ da área destinada à pecuária}$	ha
% da área destinada à pecuária	$\% \text{ da área destinada à pecuária} = 0.6$	ha
FTAP Caatinga rebaixada (kg MS/ha/mês)	$\text{"FTAP Caatinga rebaixada (kg MS/ha/mês)"} = 500$	kg MS ha ⁻¹ mês ⁻¹
FTAP Caatinga enriquecida (kg MS/ha/mês)	$\text{"FTAP Caatinga enriquecida (kg MS/ha/mês)"} = 1250$	kg MS ha ⁻¹ mês ⁻¹
FTAP Caatinga raleada (kg MS/ha/mês)	$\text{"FTAP Caatinga raleada (kg MS/ha/mês)"} = 666.67$	kg MS ha ⁻¹ mês ⁻¹
Fator de exclusão CRe	$\text{Fator de exclusão CRe} = \text{"FTAP Caatinga rebaixada (kg MS/ha/mês)"} * \text{valor}^b$	kg MS ha ⁻¹ mês ⁻¹
Fator de exclusão CEn	$\text{Fator de exclusão CEn} = \text{FTAP Caatinga enriquecida (kg MS/ha/mês)} * \text{valor}$	kg MS ha ⁻¹ mês ⁻¹
Fator de exclusão CRa	$\text{Fator de exclusão CRa} = \text{"FTAP Caatinga raleada (kg MS/ha/mês)"} * \text{valor}$	kg MS ha ⁻¹ mês ⁻¹
Fitomassa total da área pecuária (kg MS/ha/mês) – FTAP	$\text{"Fitomassa total da área pecuária (kg MS/ha/mês) - FTAP"} = \text{Fator de exclusão CRe} + \text{Fator de exclusão CEn} + \text{Fator de exclusão CRa}$	kg MS ha ⁻¹ mês ⁻¹
Fitomassa pastável (kg MS/ha/mês)	$\text{"Fitomassa pastável (kg MS/ha/mês)"} = \text{"Fitomassa total da área pecuária (kg MS/ha/mês) - FTAP"} * \% \text{ de Fitomassa pastável}$	kg MS ha ⁻¹ mês ⁻¹
% de Fitomassa pastável	$\% \text{ de Fitomassa pastável} = 0.4$	Dmnl ^a
Oferta de forragem na área pecuária	$\text{Oferta de forragem na área pecuária} = \text{Área total pecuária} * \text{"Fitomassa pastável (kg MS/ha/mês)"}$	kg MS mês ⁻¹

APÊNDICE I – Equações matemáticas referentes às variáveis descritas no Subsistema Forragem (Conclusão)

Variável estudada	Equação	Unidade de medida
Oferta total de forragem	<i>Oferta total de forragem = Oferta de forragem na área agrícola + Oferta de forragem na área pecuária</i>	kg MS mês ⁻¹
Oferta total de forragem	<i>Oferta total de forragem = Oferta de forragem na área agrícola + Oferta de forragem na área pecuária</i>	kg MS mês ⁻¹

Fonte: Resultados da pesquisa (2011).

Notas: ^a Dmnl: utilizada para números que não têm unidades associadas a eles (em inglês, *Dimensionless = Dmnl*); ^b Valor: para os fatores de exclusão poderá assumir os valores de 0 (quando se deseja excluir do modelo os *inputs* da variável a ele relacionada) ou 1 (quando são considerados os *inputs*); já para as demais variáveis em que este aparece, corresponde ao valor determinado pelo produtor, por exemplo, % de área plantada com mandioca.

APÊNDICE J – Equações matemáticas referentes às variáveis descritas no Subsistema Agricultura

Variável estudada	Equação	Unidade de medida
Área total agrícola	<i>Área total agrícola = Área total do sistema * "% da área destinada à agricultura"</i>	ha
% da área destinada à agricultura	<i>"% da área destinada à agricultura" = 0.2</i>	Dmnl ^a
Área agrícola plantada	<i>Área agrícola plantada = Área total agrícola - Área agrícola não plantada</i>	ha
Área agrícola não plantada	<i>Área agrícola não plantada = Área total agrícola * "% da área agrícola não plantada"</i>	ha
% da área agrícola não plantada	<i>"% da área agrícola não plantada" = 0.3</i>	Dmnl
Produtividade milho - parte aérea (kg MN/ha/mês)	<i>"Produtividade milho - parte aérea (kg MN/ha/mês)" = 2666.67</i>	kg MN ha ⁻¹ mês ⁻¹
Produtividade milho - parte aérea (kg MS/ha/mês)	<i>"Produtividade milho - parte aérea (kg MS/ha/mês)" = "Produtividade milho - parte aérea (kg MN/ha/mês)" * "Teor de MS da parte aérea do milho (%)"</i>	kg MS ha ⁻¹ mês ⁻¹
Teor de MS da parte aérea do milho (%)	<i>"Teor de MS da parte aérea do milho (%)" = 0.38</i>	Dmnl
% de área plantada com milho	<i>"% de área plantada com milho" = valor^b</i>	Dmnl
Produção total de milho - parte aérea (kg MS/mês)	<i>"Produção total de milho - parte aérea (kg MS/mês)" = "Produtividade milho - parte aérea (kg MS/ha/mês)" * "Área agrícola plantada" * "% de área plantada com milho"</i>	kg MS mês ⁻¹
Produtividade milho - espiga (kg/ha/mês)	<i>"Produtividade milho - espiga (kg/ha/mês)" = 108</i>	kg ha ⁻¹ mês ⁻¹
Produção total de milho - espiga (kg/mês)	<i>"Produção total de milho - espiga (kg/mês)" = "Produtividade milho - espiga (kg/ha/mês)" * "Área agrícola plantada" * "% de área plantada com milho"</i>	kg mês ⁻¹

APÊNDICE J – Equações matemáticas referentes às variáveis descritas no Subsistema Agricultura (Continuação)

Variável estudada	Equação	Unidade de medida
Milho para venda - espigas (kg/mês)	"Milho para venda - espigas (kg/mês)" = "Produção total de milho - espiga (kg/mês)"*"% de milho para venda"	kg mês ⁻¹
Milho em grão para venda (kg/mês)	"Milho em grão para venda (kg/mês)" = "Milho para venda - espigas (kg/mês)"*"% de grãos para venda"*"% de grão por espiga"	kg mês ⁻¹
% de grão por espiga	"% de grão por espiga" = 0.75	Dmnl
% de grãos para venda	"% de grãos para venda" = valor	Dmnl
Milho para venda - espigas em MS (kg MS/mês)	"Milho para venda - espigas em MS (kg MS/mês)" = "Milho para venda - espigas (kg/mês)"*"% Teor de MS milho para venda (kg MS/mês)"	kg MS mês ⁻¹
Teor de MS milho para venda (kg MS/mês)	"Teor de MS milho para venda (kg MS/mês)" = 0.35	kg MS mês ⁻¹
Milho complemento para forragem (kg MS/mês)	"Milho complemento para forragem (kg/mês)" = ("Produção total de milho - espiga (kg/mês)"*"% Teor de MS milho para venda (kg MS/mês)")-"Milho para venda - espigas em MS (kg MS/mês)"	kg MS mês ⁻¹
Fator de exclusão do milho	Fator de exclusão do milho = ("Produção total de milho - parte aérea (kg MS/mês)"+"Milho complemento para forragem (kg/mês)")*valor	kg MS mês ⁻¹
Produtividade feijão - rama (kg MN/ha/mês)	"Produtividade feijão - rama (kg MN/ha/mês)" = 253.936	kg MN ha ⁻¹ mês ⁻¹
Teor de MS do feijão - rama (%)	"Teor de MS do feijão - rama (%)" = 0.3998	Dmnl
Produtividade feijão - rama (kg MS/ha/mês)	"Produtividade feijão - rama (kg MS/ha)" = "Produtividade feijão - rama (kg MN/ha/mês)"*"% Teor de MS do feijão - rama (%)"	kg MS ha ⁻¹ mês ⁻¹
% de área plantada com feijão	"% de área plantada com feijão (ha)" = valor	Dmnl

APÊNDICE J – Equações matemáticas referentes às variáveis descritas no Subsistema Agricultura (Continuação)

Variável estudada	Equação	Unidade de medida
Produção total de feijão - rama (kg MS/mês)	<i>"Produção total de feijão - rama (kg MS/mês)" = "Produtividade feijão - rama (kg MS/ha)"*Área agrícola plantada*"% de área plantada com feijão (ha)"</i>	kg MS mês ⁻¹
Produtividade feijão - grãos (kg/ha/mês)	<i>"Produtividade feijão - grãos (kg/ha/mês)" = 345</i>	kg ha ⁻¹ mês ⁻¹
Produção total feijão grão (kg/mês)	<i>"Produção total feijão grão (kg/mês)" = "Produtividade feijão - grãos (kg/ha/mês)"*Área agrícola plantada*"% de área plantada com feijão (ha)"</i>	kg mês ⁻¹
Produção de feijão em MS (kg MS/mês)	<i>"Produção de feijão em MS (kg MS/mês)" = "Produção total feijão grão (kg/mês)"*"% Teor de MS do feijão - grão (%)"</i>	kg ha ⁻¹ mês ⁻¹
Teor de MS do feijão - grão (%)	<i>"Teor de MS do feijão - grão (%)" = 0.94</i>	Dmnl
Feijão para venda (kg/mês)	<i>"Feijão para venda (kg/mês)" = "Produção total feijão grão (kg/mês)"*"% feijão para venda"</i>	kg mês ⁻¹
% feijão para venda	<i>"% feijão para venda" = valor</i>	Dmnl
Feijão para consumo (kg/mês)	<i>"Feijão para consumo (kg/mês)" = "Produção total feijão grão (kg/mês)"*"% feijão para consumo"</i>	kg mês ⁻¹
% feijão para consumo	<i>"% feijão para consumo" = valor</i>	Dmnl
Fator de exclusão do feijão	<i>Fator de exclusão do feijão = "Produção total de feijão - rama (kg MS/mês)"*valor</i>	kg MS mês ⁻¹
Produtividade sorgo (kg MN/ha/mês)	<i>"Produtividade sorgo (kg MN/ha/mês)" = 3333.33</i>	kg MN ha ⁻¹ mês ⁻¹
Teor de MS do sorgo (%)	<i>"Teor de MS do sorgo (%)" = 0.28</i>	Dmnl
Produtividade sorgo (kg MS/ha/mês)	<i>"Produtividade sorgo (kg MS/ha/mês)" = "Produtividade sorgo (kg MN/ha/mês)"*"% Teor de MS do sorgo (%)"</i>	kg MS ha ⁻¹ mês ⁻¹

APÊNDICE J – Equações matemáticas referentes às variáveis descritas no Subsistema Agricultura (Continuação)

Variável estudada	Equação	Unidade de medida
% de área plantada com sorgo	"% de área plantada com sorgo (ha)" = valor	Dmnl
Produção total de sorgo (kg MS/mês)	"Produção total de sorgo (kg MS/mês)" = "Produtividade sorgo (kg MS/ha/mês)"*Área agrícola plantada*"% de área plantada com sorgo (ha)"	kg MS mês ⁻¹
Fator de exclusão do sorgo	Fator de exclusão do sorgo = "Produção total de sorgo (kg MS/mês)"*valor	kg MS mês ⁻¹
Produtividade leguminosa (kg MN/ha/mês)	"Produtividade leguminosa (kg MN/ha/mês)" = 2083.33	kg MN ha ⁻¹ mês ⁻¹
Teor de MS da leguminosa (%)	"Teor de MS da leguminosa (%)" = 0.27	Dmnl
Produtividade leguminosa(kg MS/ha/mês)	"Produtividade leguminosa(kg MS/ha/mês)" = "Produtividade leguminosa (kg MN/ha/mês)"*"Teor de MS da leguminosa (%)"	kg MS ha ⁻¹ mês ⁻¹
% de área plantada com leguminosa	"% de área plantada com leguminosa (ha)" = valor	Dmnl
Produção total de leguminosa (kg MS/mês)	"Produção total de leguminosa (kg MS/mês)" = "Produtividade leguminosa(kg MS/ha/mês)"*Área agrícola plantada*"% de área plantada com leguminosa (ha)"	kg MS mês ⁻¹
Fator de exclusão da leguminosa	Fator de exclusão da leguminosa = "Produção total de leguminosa (kg MS/mês)"*valor	kg MS mês ⁻¹
Produtividade mandioca - parte aérea (kg MN/ha/mês)	"Produtividade mandioca - parte aérea (kg MN/ha/mês)" = 6833.33	kg MN ha ⁻¹ mês ⁻¹
Teor de MS da mandioca - parte aérea (%)	"Teor de MS da mandioca - parte aérea (%)" = 0.28	Dmnl
Produtividade mandioca - parte aérea (kg MS/ha/mês)	"Produtividade mandioca - parte aérea (kg MS/ha/mês)" = "Produtividade mandioca - parte aérea (kg MN/ha/mês)"*"Teor de MS da mandioca - parte aérea (%)"	kg MS ha ⁻¹ mês ⁻¹

APÊNDICE J – Equações matemáticas referentes às variáveis descritas no Subsistema Agricultura (Continuação)

Variável estudada	Equação	Unidade de medida
% de área plantada com mandioca	"% de área plantada com mandioca (ha)" = valor	Dmnl
Produção total de mandioca - parte aérea (kg MS/mês)	"Produção total de mandioca - parte aérea (kg MS/mês)" = "Produtividade mandioca - parte aérea (kg MS/ha/mês)"*Área agrícola plantada*"% de área plantada com mandioca (ha)"	kg MS mês ⁻¹
Fator de exclusão da mandioca	Fator de exclusão da mandioca = ("Produção total de mandioca - parte aérea (kg MS/mês)"+"Mandioca raiz para complementação forragem (kg/mês)")*valor	kg MS mês ⁻¹
Produtividade mandioca - raiz (kg/ha/mês)	"Produtividade mandioca - raiz (kg/ha/mês)" = 602.525	kg ha ⁻¹ mês ⁻¹
Produção total mandioca - raiz (kg/mês)	"Produção total mandioca - raiz (kg/mês)" = "Produtividade mandioca - raiz (kg/ha/mês)"*Área agrícola plantada*"% de área plantada com mandioca (ha)"	kg mês ⁻¹
Teor de MS da raiz de mandioca (%)	"Teor de MS da raiz de mandioca (%)" = 0.35	Dmnl
Mandioca raiz para complementação forragem (kg MS/mês)	"Mandioca raiz para complementação forragem (kg/mês)" = ("Produção total mandioca - raiz (kg/mês)"*"Teor de MS da raiz de mandioca (%)"-"Mandioca raiz para venda em MS (kg MS/mês)"	kg MS mês ⁻¹
% mandioca raiz para venda	"% mandioca raiz para venda" = valor	Dmnl
Mandioca raiz para venda (kg/mês)	"Mandioca raiz para venda (kg/mês)" = "Produção total mandioca - raiz (kg/mês)"*"% mandioca raiz para venda"	kg mês ⁻¹

Fonte: Resultados da pesquisa (2011).

Notas: ^a Dmnl: utilizada para números que não têm unidades associadas a eles (em inglês, *Dimensionless* = *Dmnl*); ^b Valor: para os fatores de exclusão poderá assumir os valores de 0 (quando se deseja excluir do modelo os *inputs* da variável a ele relacionada) ou 1 (quando são considerados os *inputs*); já para as demais variáveis em que este aparece, corresponde ao valor determinado pelo produtor, por exemplo, % de área plantada com mandioca.

APÊNDICE K – Equações matemáticas referentes às variáveis descritas no Subsistema Serviços Ambientais (Carbono)

Variável estudada	Equação	Unidade de medida
Biomassa área agrícola	<i>Biomassa área agrícola = Oferta de forragem na área agrícola</i>	kg MS mês ⁻¹
Mandioca raiz para venda em MS (kg MS/mês)	<i>"Mandioca raiz para venda em MS (kg MS/mês)" = "Mandioca raiz para venda (kg/mês)"*Teor de MS da raiz de mandioca (%)"</i>	kg MS mês ⁻¹
Biomassa área pecuária	<i>Biomassa área pecuária = "Fitomassa total da área pecuária (kg MS/ha/mês) - FTAP"*Área total pecuária</i>	kg MS mês ⁻¹
Biomassa da serapilheira	<i>Biomassa da serapilheira = 917.08</i>	kg MS mês ⁻¹
Biomassa vegetal total – BVT	<i>"Biomassa vegetal total - BVT" = (Biomassa área agrícola+Biomassa área pecuária+Biomassa da serapilheira+Biomassa reserva legal)/1000</i>	Mg MS mês ⁻¹
Biomassa reserva legal	<i>Biomassa reserva legal = 333.33</i>	kg MS mês ⁻¹
Carbono da BVT	<i>Carbono da BVT = "Biomassa vegetal total - BVT"*12*0.5</i>	Mg mês ⁻¹
Carbono do solo	<i>Carbono do solo = Área total do sistema*0.5</i>	Mg mês ⁻¹
Esterco oriundo do rebanho	<i>Esterco oriundo do rebanho = ((("Estimativa de ingestão de forragem (kg MS/dia)"*Dias por mês*12)/3)*4)/1000</i>	Mg mês ⁻¹
Carbono do esterco	<i>Carbono do esterco = Esterco oriundo do rebanho*0.5</i>	Mg mês ⁻¹
Gerando carbono	<i>Gerando carbono = Carbono da BVT+Carbono do esterco+Carbono do solo</i>	Mg mês ⁻¹
Carbono acumulado	<i>Carbono acumulado = INTEG (Gerando carbono-Liberando Carbono,0)</i>	Mg mês ⁻¹
Liberando Carbono	<i>Liberando Carbono = DELAY FIXED (Gerando carbono-Carbono da forragem ingerida, 1 , 0)</i>	Mg mês ⁻¹
Carbono da forragem ingerida	<i>Carbono da forragem ingerida = ("Estimativa de ingestão de forragem (kg MS/dia)"*Dias por mês*12*0.5)/1000</i>	Mg mês ⁻¹

APÊNDICE K – Equações matemáticas referentes às variáveis descritas no Subsistema Serviços Ambientais (Carbono) (Conclusão)

Variável estudada	Equação	Unidade de medida
Fator de conversão CO ₂ equivalente	<i>Fator de conversão CO₂ equivalente = 3.6667</i>	Dmnl ^a
Convertendo CO ₂	<i>Convertendo CO₂ = Carbono acumulado * Fator de conversão CO₂ equivalente</i>	Mg CO ₂ mês ⁻¹
CO ₂ equivalente acumulado	<i>CO₂ equivalente acumulado = INTEG (+Convertendo CO₂-CO₂ equivalente para venda, 0)</i>	Mg CO ₂ mês ⁻¹
CO ₂ equivalente para venda	<i>CO₂ equivalente para venda = DELAY FIXED (Convertendo CO₂, 1, 0)</i>	Mg CO ₂ mês ⁻¹

Fonte: Resultados da pesquisa (2011).

Nota: ^a Dmnl: utilizada para números que não têm unidades associadas a eles (em inglês, *Dimensionless* = *Dmnl*).