

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
UNIDADE ACADÊMICA ESPECIALIZADA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO DE
SISTEMAS

Joel de Oliveira Santos

ALGORITMOS GENÉTICOS APLICADOS NA SIMULAÇÃO DE SISTEMAS DE
PRODUÇÃO DE RUMINANTES EM PASTAGENS

Macaíba

2017

Joel de Oliveira Santos

**ALGORITMOS GENÉTICOS APLICADOS NA SIMULAÇÃO DE SISTEMAS DE
PRODUÇÃO DE RUMINANTES EM PASTAGENS**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado à Escola Agrícola de Jundiá - Unidade Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo em Análise e Desenvolvimento de Sistemas.

Área de habilitação: Tecnólogo em Análise e Desenvolvimento de Sistemas

Orientadora: Prof^a Dr^a Laura E. A. S. S. de Oliveira

Co-Orientador: Prof. Dr. Henrique R. de Medeiros

Macaíba

2017

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN

Sistema de Bibliotecas - SISBI

Catálogo de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Setorial Prof. Rodolfo Helinski - Escola Agrícola de Jundiá - EAJ

Santos, Joel de Oliveira.

Algoritmos genéticos aplicados na simulação de sistemas de produção de ruminantes em pastagens / Joel de Oliveira Santos. - 2017.

47f.: il.

Monografia (Tecnólogo) Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Unidade Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias. Tecnólogo em Análise e Desenvolvimento de Sistemas. Macaíba, 2017.

Orientador: Dra. Laura Emmanuella Alves dos Santos Santana de Oliveira.

Coorientador: Dr. Henrique Rocha de Medeiros.

1. Algoritmos Genéticos - Monografia. 2. Produção Animal em Pastagens - Monografia. 3. Otimização de Simulação - Monografia. I. Oliveira, Laura Emmanuella Alves dos Santos Santana de. II. Medeiros, Henrique Rocha de. III. Título.

RN/UF/BSPRH

CDU 575:510.5

Joel de Oliveira Santos

**ALGORITMOS GENÉTICOS APLICADOS NA SIMULAÇÃO DE SISTEMAS DE
PRODUÇÃO DE RUMINANTES EM PASTAGENS.**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado à Unidade Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo (a) em Análise e Desenvolvimento de Sistemas.

Aprovado em: ____ de novembro de 2017

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª Dr^ª Laura Emmanuella Alves Dos Santos Santana de Oliveira
Orientador – UFRN

Prof. Dr. Henrique Rocha de Medeiros
Co-Orientador – UFRN

Prof. MSc. Carlos Henrique Grilo Diniz
Membro Interno – UFRN

Prof. Dr. Leonardo Rodrigues de Lima Teixeira
Membro Interno - UFRN

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família, pelo apoio e perseverança prestados em todos os momentos, e dedico este trabalho especialmente aos meus pais, Maria do Carmo de Oliveira Santos e Geraldo Teofilo dos Santos, minhas inspirações de força e motivação.

Agradeço a minha orientadora, Laura Emannuella, pelos conhecimentos transmitidos, pela influência, dedicação e atenção prestadas ao longo do curso e na realização deste trabalho.

Agradeço a todos os professores que trilharam o meu caminho, possibilitando meu crescimento em busca do conhecimento.

Agradeço aos meus amigos, especialmente a: Iaslan Nascimento, inseparável amigo, companheiro de aventuras e irmão de longa data; Laércio Medeiros, professor, amigo e pai que o destino resolveu me presentear; Viviane Medeiros pelos conselhos, carinhos e cuidados de mãe.

Aos amigos que conheci ao longo curso: Filipe Bastos, empreendedor, parceiro de pré-estreias de filmes pessoa de coração gigante; o contador Thiago Brasil pessoa de alta índole; Heriberto Filho garoto prodígio; Felipe Matheus (Xaid) com seu jeito sucinto de viver; Maria Airis Vital, pessoa de caráter e dedicação inigualável; Arthur Medeiros eterno suporte e Elidiel Dantas o professor e amigo de todas as horas. Agradeço pelos momentos de alegria proporcionados, pelos ensinamentos obtidos, pelo SADA, pelos momentos de descontração fora e dentro de sala, pelos concelhos e pelo carinho que tive ao longo dessa jornada.

Por fim agradeço a todos que tiveram alguma participação ao longo deste período e que me ajudaram no trabalho e crescimento pessoal.

*“Sorte ou azar só o tempo dirá.”
Autor desconhecido.*

RESUMO

Atualmente os avanços tecnológicos propiciam uma grande otimização na execução e desenvolvimento de atividades. O advento de ferramentas tecnológicas no âmbito agrário tem demonstrado grande relevância, essas ferramentas proporcionam o planejamento de produções e maximização de lucros obtidos, e principalmente se mostram bastante eficazes no auxílio decisório. O clima, solo, os animais e as plantas são componentes inerentes ao processo de produção. Devido a essa diversidade de componentes dinâmicos e considerando que o processo de produção é longo e, em sua maioria, ininterruptível, o processo de tomada de decisão nos sistemas de produção é difícil. Tais decisões são impregnadas de riscos e incertezas; uma decisão errada pode acarretar em uma grande perda de produtividade. A computação evolucionária tem se mostrado cada vez mais forte nesse aspecto, fomentando um tripé no auxílio decisório, maximização de lucros e otimização de processos. Este trabalho propõe a utilização de Algoritmos Genéticos como ferramenta no planejamento de produções de áreas pastejáveis, possibilitando a tomada de decisão em relação à quantidade de ruminantes que poderão pastejar em uma determinada área em função da oferta de forragem. Os resultados apresentam uma simulação da quantidade máxima de dias e de animais em uma determinada área pastejável até o ponto em que não há a necessidade de acrescentar suplementação alimentar para os animais.

Palavras-chave: Algoritmos Genéticos, Produção Animal em Pastagens, Otimização de Simulação.

ABSTRACT

Currently the technological advances allow a great optimization in the execution and development of activities. The advent of technological tools in the agrarian field has demonstrated great relevance, these tools provide the planning of productions and maximization of profits obtained, and especially they are very effective in the decision aid. The climate, soil, animals and plants are inherent components of the production process. Due to this diversity of dynamic components and considering that the production process is long and mostly uninterrupted, the decision making process in the production systems is difficult. Such decisions are impregnated with risks and uncertainties; a wrong decision can lead to a great loss of productivity. Evolutionary computing has been increasingly strong in this regard, fostering a tripod in decision aid, profit maximization, and process optimization. This work proposes the use of Genetic Algorithms as a tool in the planning of yields of pasteable areas, making possible the decision in relation to the amount of ruminants that can graze in a certain area due to the supply of forage. The results present a simulation of the maximum number of days and animals in a particular pasteable area to the point where there is no need to add food supplementation to the animals.

Keywords: Genetic Algorithms, Animal Production, Simulation Optimization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação esquemática da estrutura hierárquica entre componentes de sistemas de produção animal em pastagens	18
Figura 2: Representação esquemática dos processos de produção animal em pastagens	19
Figura 3: Esquema do processo de gestão que engloba as funções de planejamento	20
Figura 4: Região Factível	21
Figura 5: Função Unimodal e Multimodal	22
Figura 6: Fluxograma básico de um AG	23
Figura 7: Funcionamento básico de um AG	24
Figura 8: Método de Seleção por Roleta	26
Figura 9: Torneio Binário	26
Figura 10: Cruzamento em um ponto	27
Figura 11: Cruzamento em dois pontos	28
Figura 12: Mutação Simples	29
Figura 13: Representação da Função de Minimização	35
Figura 14: Gráfico de Comparação	38
Figura 15: Soluções para a configuração 1	40
Figura 16: Soluções para a configuração 2	41
Figura 17: Soluções para a configuração 3	42
Figura 18: Soluções para a configuração 4	43

Lista de Tabelas

Tabela 1: Simulações.....	39
Tabela 2: Saídas do AG para a configuração 1	40
Tabela 3: Saídas do AG para a configuração 2	41
Tabela 4: Saídas do AG para a configuração 3	42
Tabela 5: Saídas do AG para a configuração 4	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AG – Algoritmo Genético

SA – Sistemas Agropecuários

CE – Computação Evolucionária

SPRP – Sistemas de Produção de Ruminantes em Pastagens

UF – Unidades Fototérmicas

OF – Orçamento Forrageiro

TMF – Taxa média de acúmulo de forragem;

GMD – Ganho médio diário

PV – Peso vivo

CMS – Consumo de Matéria Seca

MF – Massa de forragem

SF – Saldo de forragem

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	JUSTIFICATIVA	15
1.2	OBJETIVOS	15
1.2.1	Objetivo geral	15
1.2.2	Objetivos específicos	15
1.3	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	16
2	ASPECTOS TEÓRICOS	17
2.1	SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE RUMINANTES EM PASTAGENS	17
2.2	ORÇAMENTO FORRAGEIRO	19
2.3	OTIMIZAÇÃO MATEMÁTICA	21
2.4	ALGORITMOS GENÉTICOS	22
2.4.1	Fluxo Básico	24
2.4.2	Representação Cromossômica	24
2.4.3	Inicialização	25
2.4.4	Avaliação	25
2.4.5	Seleção	25
2.4.6	Operadores Genéticos	27
2.4.7	Condição de Parada	29
3	TRABALHOS RELACIONADOS	30
4	DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS	34
4.1	Levantamento de Informações	34
4.2	Formulação do Problema	35
4.3	Construção do Algoritmo	36
4.4	Resultados e Discussões	37
5	CONCLUSÃO	44
	REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

A agropecuária possui grande importância na economia do Brasil, tendo forte relevância nas exportações e no abastecimento do mercado interno. Mundialmente, a pecuária brasileira destaca-se, tornando-se cada vez mais produtiva, eficiente e sustentável devido a grandes avanços nos campos de estudo da alimentação, genética, sanidade e da reprodução (EMBRAPA, 2016).

A pecuária bovina é um dos setores mais importantes do agronegócio brasileiro e conseqüentemente da economia nacional. O Brasil possui o maior rebanho comercial do mundo, é o maior exportador de carne bovina, segundo maior produtor de carne e sexto maior produtor de leite (USDA, 2014). A atividade leiteira é uma das mais tradicionais do meio rural brasileiro e segundo dados do último censo agropecuário (IBGE, 2006) existem aproximadamente 5,2 milhões de estabelecimentos rurais dos quais 25% produzem leite por meio da agricultura familiar.

O cenário atual denota um grande crescimento, e necessidade, da utilização de ferramentas tecnológicas no campo. Tais ferramentas possibilitam aumento na produtividade, e mostram-se bastante eficazes na otimização de processos e no auxílio decisório dos problemas enfrentados.

Para Medeiros (2006), nos sistemas agropecuários (SA) o clima, o solo, os animais e as plantas são componentes inerentes ao processo de produção. O tempo de produção nesses sistemas é um tanto longo e ao interferir pode-se resultar em perda de produtividade. Por essas características a tomada de decisão nos SA torna-se permeada por riscos e incertezas. Sempre que possível, deve-se realizar um estudo detalhado sobre o problema destacando as alternativas de solução disponíveis para resolvê-lo com maior probabilidade de sucesso, processo denominado como análise de decisão (DIAS, 1996).

Uma das principais dificuldades encontradas nos SA ocorre no planejamento. Como por exemplo, determinar o momento correto para finalizar a produção sem que haja grandes perdas, estipular a quantidade de comida em relação à demanda de consumo animal e determinar a melhor época para produção. Essas tarefas possuem um alto grau de importância, ao defini-las erroneamente resulta-se em perda de produtividade. Neste sentido, as técnicas computacionais de otimização podem auxiliar o processo decisório dos SA e na otimização de processos.

Na resolução de problemas de otimização, é bastante comum a utilização de sistemas matemáticos lineares, com o objetivo de maximizar ou minimizar uma função definida sobre um determinado domínio. Onde o valor ótimo é encontrado sobre um domínio infinito

normalmente definido por um conjunto de restrições. As soluções de problemas lineares podem ser resolvidas fazendo o uso de Cálculo Diferencial, através do método direto e iterativo, desde que as funções sejam deriváveis no seu domínio de solução (HILLIER E LIEBERMAN, 1988). Dado as informações acima, existe uma grande relevância no uso de técnicas computacionais de busca contingentes, que visam encontrar soluções aproximadas para otimização de determinados problemas, como os Algoritmos Genéticos (AG). Isso ocorre pelo fato de lidarem com qualquer problema de otimização, não estando atrelados a problemas específicos de derivadas. (LINDEN, 2008; MIRANDA, 2009).

AG baseiam-se na Teoria da Seleção Natural de Darwin, cujo objetivo é a solução de problemas de otimização (MITCHELL, 1996). Simulam-se os processos naturais de evolução, aplicando a teoria Darwiniana de seleção. Seguindo o princípio de sobrevivência do mais apto: “Quanto melhor um indivíduo se adaptar ao seu meio ambiente, maior será sua chance de sobreviver e gerar descendentes.” (DARWIN, 1859).

Este trabalho propõe o uso de AG para simulações de produção de ruminantes¹ em pastagens, de forma que possibilite a determinação da quantidade máxima de dias e ruminantes que poderão alimentar-se em uma área pastejável, possibilitando a criação de cenários produtivos para fins de planejamento de produções. São relevantes para este objetivo, a oferta de forragem (plantas utilizadas na alimentação animal) disponível para consumo e algumas características em relação ao consumo e conversão alimentar dos ruminantes.

Na literatura encontram-se alguns trabalhos que aplicaram algoritmos genéticos no agronegócio e se assemelham ao objetivo do trabalho proposto, mas com abordagens diferentes. Ferreira (2015) utilizou em sua pesquisa, o uso de AG para encontrar soluções que diminuíssem os custos de implantação e irrigação das lavouras de arroz. Vieira *et al* (2010) aplicou AG como tomada de decisão no planejamento de um agronegócio, visando o maior retorno econômico da atividade exercida. Já Câmara Júnior (2005), utilizou AG otimizando a determinação de áreas, definindo as culturas a serem cultivadas numa propriedade agrícola, visando maximizar a receita líquida de planos agrícolas.

¹Ruminantes são animais que possuem o hábito de remastigar o alimento várias vezes, como por exemplo, os caprinos, ovinos, bovinos e bubalinos.

1.1 JUSTIFICATIVA

Tendo em vista que as principais dificuldades nos SA se encontram no planejamento, por se tratar de períodos longos e que dificilmente podem ser alterados, qualquer erro pode acarretar em uma perda de produtividade, ou seja, o processo de tomada de decisão nos SA é norteado por riscos e incertezas. A utilização de ferramentas computacionais evolucionárias como AG no âmbito agrário proporcionam o planejamento de produções e auxiliam na tomada de decisão no campo.

Na literatura é possível encontrar vários trabalhos com objetivo de realizar processos de observacionais de produções, a fim de verificar o desempenho animal e do pasto. No entanto é bastante incomum encontrar trabalhos que auxiliem o produtor na tomada de decisão no campo.

1.2 OBJETIVOS

Nesse contexto, colocam-se como objetivos de estudo a utilização de ferramentas computacionais de busca e otimização a fim de proporcionar um suporte para decisão e planejamento de produções em pastagens.

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é a utilização de AG em um sistema de simulação de produção de ruminantes em pastagens, possibilitando a determinação da quantidade máxima de ruminantes que poderá alimentar-se em uma área pastejável. É relevante para este objetivo, a oferta de forragem (plantas utilizadas na alimentação animal) disponível para consumo, bem como o peso médio dos animais, ganho médio de peso diário e taxa de acúmulo da forragem usada.

1.2.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos espera-se que a utilização do AG proposto proporcione ao produtor um auxílio decisório na criação de produções de forma que o produtor possa

configurar o sistema de simulação com as informações necessárias da produção que ele deseja, onde poderá ser gerada uma quantidade finita de cenários de produção, possibilitando que o produtor escolha o cenário de produção que mais satisfaz seu objetivo.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está organizado do seguinte modo:

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

O capítulo introdutório contextualiza este trabalho, apresentando os objetivos e motivações para realização do mesmo.

CAPÍTULO 2: ASPECTOS TEÓRICOS

Este capítulo traz informações sobre o domínio do problema tratado neste trabalho, a saber: Sistema de Produção de Ruminantes em Pastagens, Orçamento Forrageiro e Algoritmos Genéticos.

CAPÍTULO 3: TRABALHOS RELACIONADOS

Este capítulo apresenta uma revisão literária, descrevendo os trabalhos que realizaram simulações ou otimização de problemas em sistemas de produções, evidenciando a utilização de Algoritmos Genéticos e Programação Linear para solução de problemas.

CAPÍTULO 4: DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

Este capítulo descreve o algoritmo genético usado e suas configurações, bem como os modelos adotados para configurar o orçamento forrageiro.

CAPÍTULO 5: CONCLUSÃO

Este capítulo faz o fechamento do trabalho, apresentado as conclusões obtidas com os casos de uso implementados, as principais contribuições e trabalho futuros.

REFERÊNCIAS

APÊNDICES

2 ASPECTOS TEÓRICOS

Este capítulo trata dos assuntos estudados para realização deste trabalho.

2.1 Sistemas de produção de ruminantes em pastagens

Os sistemas de produção de ruminantes em pastagens (SPRP) são bastante complexos e possuem uma série de componentes bióticos e abióticos que interagem entre si de diferentes maneiras. Para Medeiros (2006), os SPRP apresentam uma organização complexa e três componentes característicos: o solo, a planta e o animal. Esses componentes possuem níveis de agregação inferiores como, por exemplo, as células e as moléculas e superiores como, por exemplo, a região ou país. Sendo assim, a produtividade do sistema é o resultado da influência dos seus inúmeros componentes.

Sistemas de produção animal em pastagens são caracterizados por interações multidisciplinares que impedem que interferências pontuais (ações de manejo) em componentes isolados, ou parte deles, resultem em alteração imediata e eficaz em produtividade (DA SILVA & PEDREIRA, 1997). Ou seja, o sistema mantém-se num equilíbrio dinâmico estável caracterizado pela dificuldade de ocorrer alterações imediatas em produtividade. Portanto, ações de manejo que objetivem alteração desse equilíbrio tendo como propósito aumento na produtividade e eficiência global do sistema necessitam ser realizadas em conjunto e de forma integrada, conhecendo-se as relações causa-efeito que ocorrem e regem o comportamento orgânico do sistema de produção (DA SILVA & SBRISSIA, 2000; SBRISSIA & DA SILVA, 2001).

O entendimento do funcionamento desses sistemas e as relações que regem seu comportamento passam pelo conhecimento de seus componentes e de seu grau de organização (DA SILVA & PASSANEZI, 1998). Os componentes correspondem aos recursos físicos, vegetais e animais, na Figura 1, dispõem-se um exemplo com a estrutura hierárquica dos componentes citados.

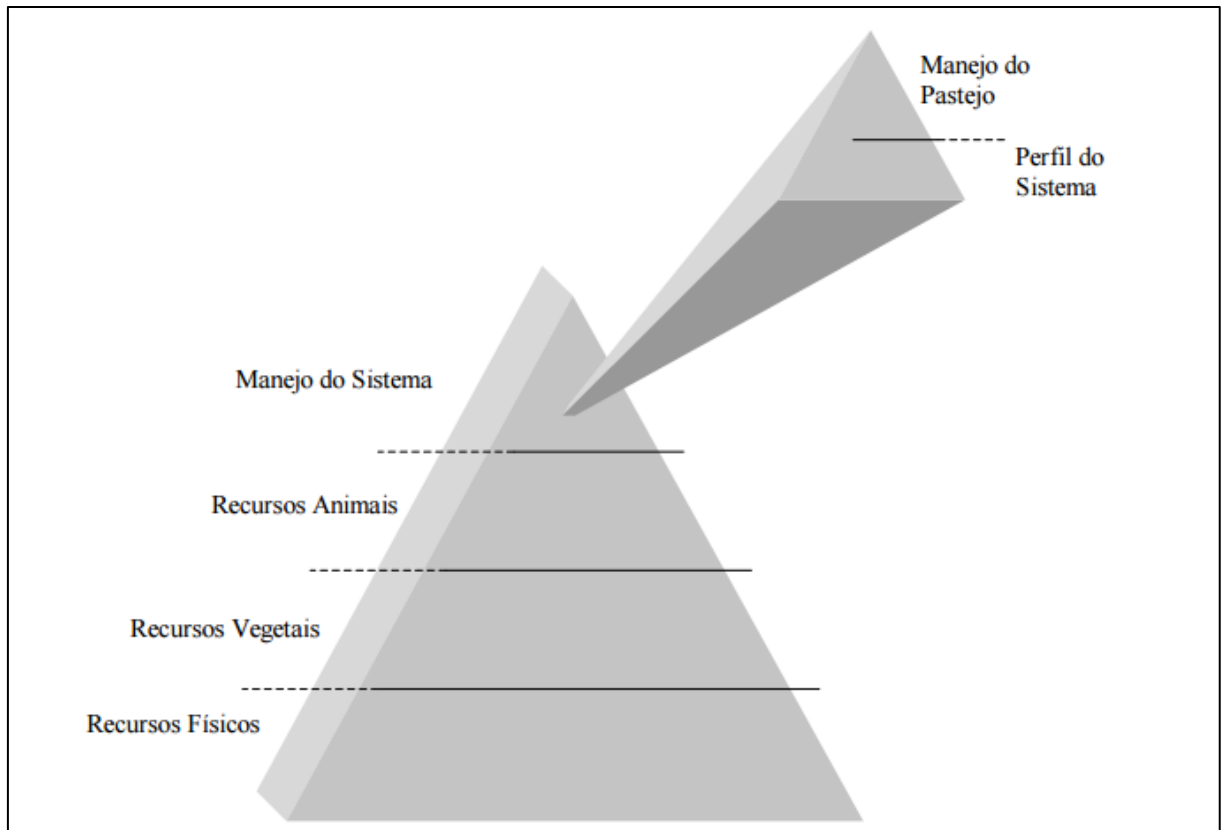


Figura 1: Representação esquemática da estrutura hierárquica entre componentes de sistemas de produção animal em pastagens

Fonte: Adaptado de Sheath & Clark (1996)

Como recursos físicos entende-se a base produtiva, caracterizada pelo tipo de solo, relevo, topografia, condições edafoclimáticas, infraestrutura (máquinas, equipamentos, edificações, instalações), subdivisão das áreas de pastagem, tipos de cerca, localização geográfica, malha viária de acesso, proximidade dos centros consumidores e fornecedores de matérias primas, materiais e serviços, tipo, quantidade e qualificação da mão-de-obra disponível (DA SILVA; NASCIMENTO JÚNIOR, 2006).

Os principais processos em sistemas de produção de alimento são a utilização da energia luminosa e nutrientes para o crescimento da planta. Nos SPRP, dois outros estágios são de fundamental importância, em que as plantas devem ser consumidas pelos animais e convertida em produto animal. Cada um desses estágios tem sua própria eficiência, a qual pode ser influenciada pelo manejo e quando somadas podem determinar a eficiência do processo como um todo (HODGSON, 1990). Segundo Medeiros (2006), nos SPRP a otimização da produção é resultado do somatório de eficiências parciais dos processos que ocorrem nos seus componentes (o solo, a planta e o animal). Além disso, para atingir o nível

ótimo de produção preservando o sistema deverá encontrar-se o equilíbrio entre consumo e convergência animal.

Do ponto de vista de funcionamento, podem ser reconhecidas três etapas do processo de produção, responsáveis pela captação de energia do meio e sua transformação em produto animal. São elas: crescimento, utilização e conversão (HODGSON, 1990) (Figura 2).

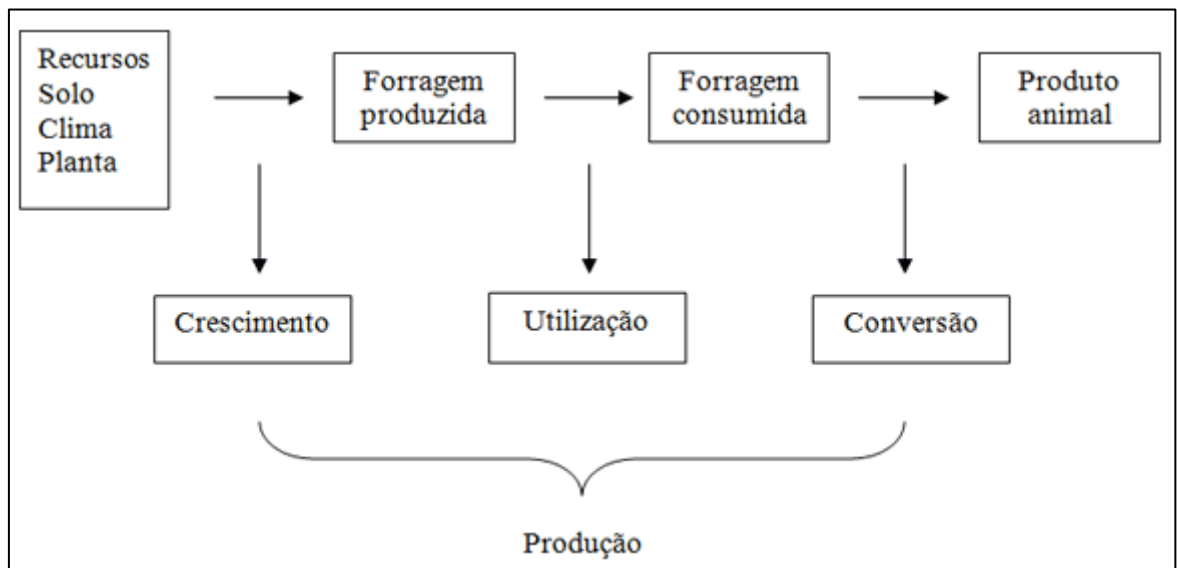


Figura 2: Representação esquemática dos processos de produção animal em pastagens

Fonte: Adaptado de Hodgson (1990).

A definição e o planejamento de sistemas de produção animal em pastagens devem ser norteados pelos objetivos finais a que se propõe determinada exploração econômica, cada qual com suas peculiaridades e complexidades (DA SILVA & SBRISSIA, 2001).

2.2 Orçamento Forrageiro

O orçamento forrageiro (OF) pode ser definido como um conjunto de boas práticas para fins de planejamento de produções. Segundo (MEDEIROS *et al.*, 2008) o OF é uma ferramenta para planejamento estratégico dos sistemas de produção animal em pastagens que possibilita ao produtor uma adequação na demanda suplementar dos animais ao longo do ano, consequentemente a construção do OF possibilita o planejamento e apoio às tomadas de decisões quanto à taxa de lotação e manejo dos recursos forrageiros (MILLIGAN *et al.*, 1987).

A produção de forragem pode ser considerada como um dos fatores mais importantes no planejamento de produções em pastagens. A forragem exerce um papel fundamental no sistema produtivo dos animais, sendo a principal fonte de alimento dos animais, e apresenta um alto grau de relevância no planejamento de produções. A alta produção de forragem possibilita que haja sempre a oferta de alimento aos animais. As variáveis meteorológicas possuem uma grande importância na determinação da produtividade das forragens, e aspectos como temperatura, precipitação pluvial e luminosidade (fotoperíodo e qualidade da luz) afetam diretamente características de grande valia, como o acúmulo de massa e frequência de produção, o que representa um ponto chave para o planejamento do processo produtivo (TONATO et al., 2010).

Antes da criação do OF se faz necessário a definição de qual espécie forrageira será utilizada na produção, a espécie dos animais e o período de utilização do pasto. A partir dessas informações torna-se possível o estabelecimento de metas para o desenvolvimento da produção (MEDEIROS *et al.*, 2008), a Figura 3 exemplifica esse processo de criação de metas.

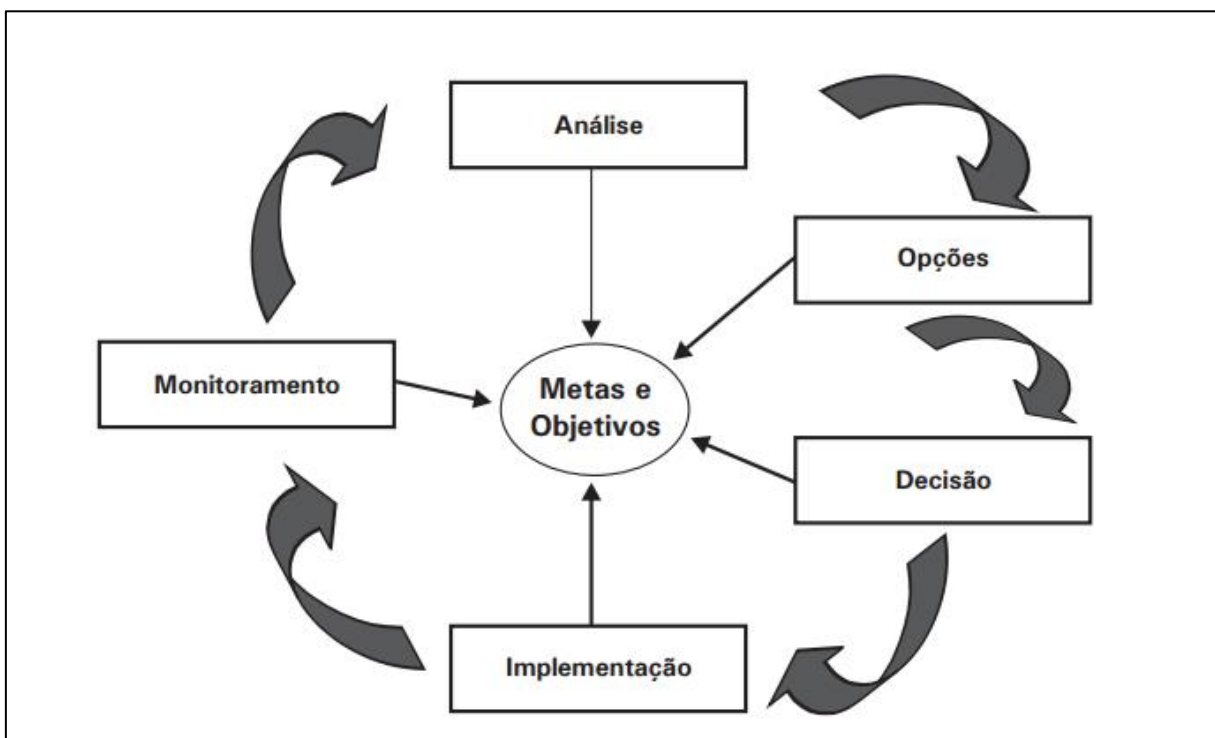


Figura 3: Esquema do processo de gestão que engloba as funções de planejamento

Fonte: Adaptado de Oenema *et al.*(1998).

De forma geral o OF auxilia fortemente o produtor no planejamento e acompanhamento de produções, possibilitando o processo decisório e conseqüentemente a

elaboração de estratégias ou metas que deverão ser executadas na produção visando os objetivos finais.

2.3 Otimização Matemática

A otimização consiste no processo de busca por uma melhor solução para um determinado problema, na qual o objetivo está atrelado ao encontro de uma solução que maximize ou minimize determinado problema. Segundo Bazzo e Pereira (2006, p. 183) “Otimização é o processo de procura por uma solução que forneça o máximo benefício segundo algum critério; ou seja, é a busca da melhor condição”.

As técnicas de otimização geralmente apresentam os seguintes componentes: (i) uma função objetivo, (ii) um espaço de busca e (iii) um conjunto de restrições (SANTANA, 2012).

O espaço de busca do problema é dividido em duas: (i) região factível e (ii) não factível. Dado um conjunto de restrições, a solução pode ser encontrada em quaisquer das duas regiões de busca, na qual a solução encontrada na região factível atende todo o conjunto de restrições do problema (Figura 4).

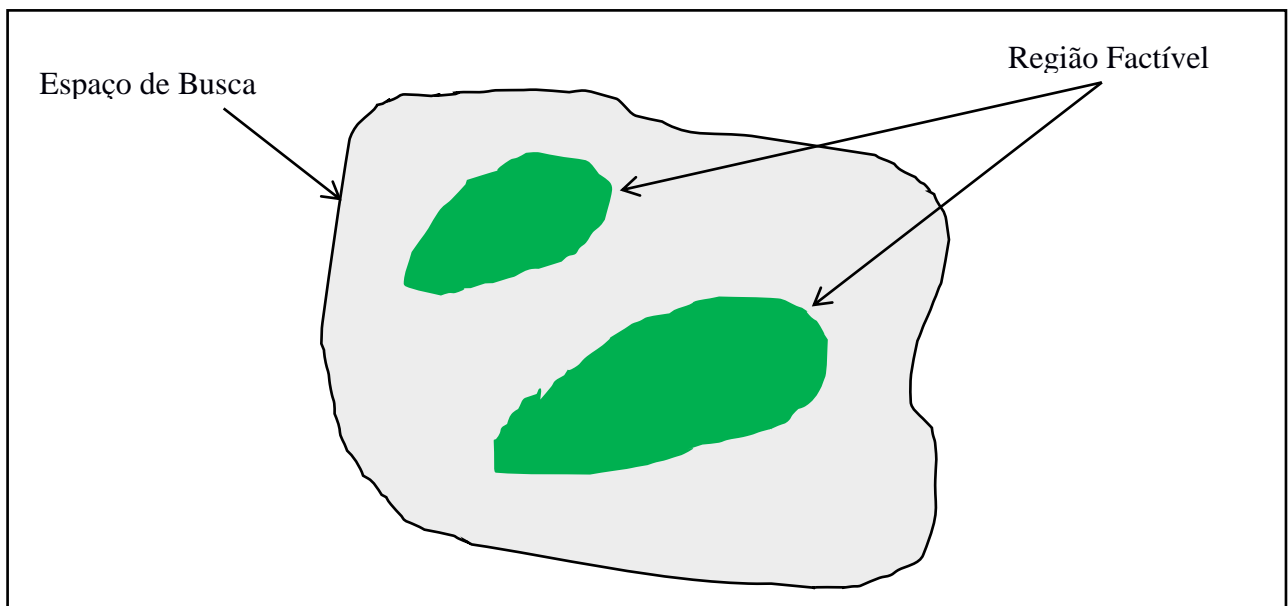


Figura 4: Região Factível

Fonte: Adaptado de Santana (2012).

Os problemas de otimização podem ser unimodais ou multimodais. Quando o problema unimodal existe apenas uma solução de maximização ou minimização, já no caso de problemas multimodais, existem varias soluções que atendem o problema, na qual são as conhecidas como ótimos locais e dentre todas essas soluções existe apenas uma solução que é

conhecida como ótimo global que é a melhor solução para o problema. Na Figura 5 é disposto exemplos de funções unimodais ou multimodais.

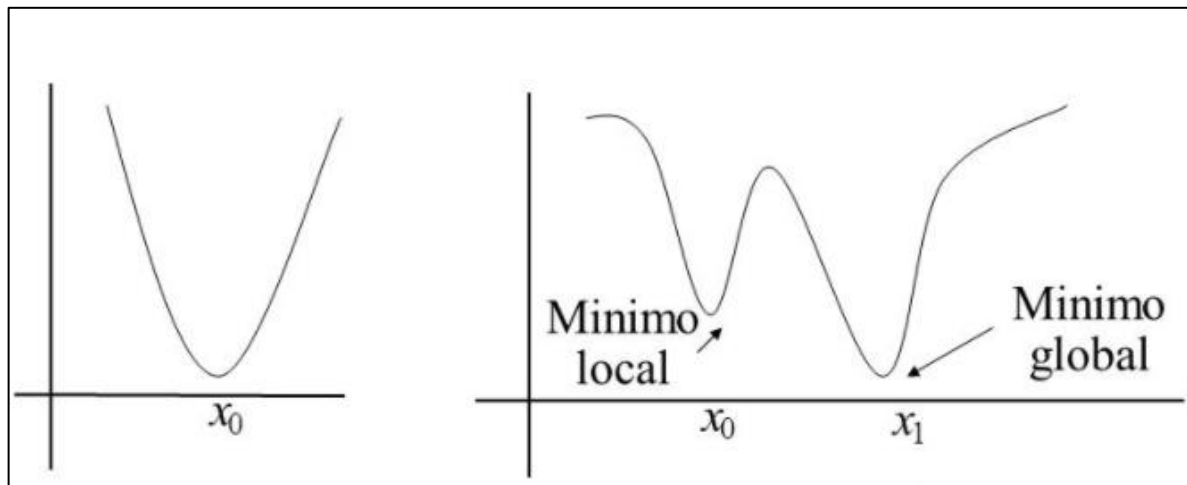


Figura 5: Função Unimodal e Multimodal

Fonte: SlidePlayer (2005)

2.4 Algoritmos Genéticos

A Computação Evolucionária (CE) é um ramo da ciência da computação que se baseia nos princípios evolutivos encontrados na natureza estando diretamente relacionados ao Darwinismo. A CE compreende um conjunto de técnicas de busca e otimização inspiradas na evolução natural das espécies. Desta forma, cria-se uma população de indivíduos que vão reproduzir e competir pela sobrevivência. Os melhores sobrevivem e transferem suas características a novas gerações. AG são técnicas da CE que tem como objetivo achar soluções aproximadas para problemas de otimização e busca.

Para Rodrigues *et al*(2009 apud LINDEN, 2008; GUERVÓS, 2009, p.3):

“Os Algoritmos Genéticos são algoritmos de busca criados por John Holland em 1975, baseado nos processos observados na evolução natural das espécies. O conceito básico consiste em que, de forma similar à teoria biológica dos sistemas naturais, os “melhores” indivíduos sobrevivem e geram descendentes com suas características hereditárias no qual esses novos elementos tendem a ter a mesma aparência, ou fenótipo, que seus antecessores.”

A implementação de um AG parte de uma população de indivíduos gerados aleatoriamente, onde, realiza-se a avaliação de cada um (com base em uma função objetiva), os mais aptos são selecionados e sujeitos a operadores genéticos como cruzamento e mutação,

originando novas gerações de indivíduos. Cada indivíduo na população representa uma possível solução para um dado problema.

O funcionamento de um AG básico se dá pelas seguintes funções: (i) inicialização da população de cromossomos; (ii) avaliação de cada cromossomo da população; (iii) criação de novos cromossomos a partir da população atual (realiza-se cruzamentos e mutações); e (iv) termina-se, caso o critério de fim for alcançado, se não, reinicializa-se o processo (BITTENCOURT, 1998; HOLLAND, 1975; SANTA CATARINA & BACH, 2003).

Segundo Rodrigues *et al* (2009, p. 3), “o que o AG faz é buscar aquela solução que seja muito boa ou a melhor do problema analisado, através da criação de população de indivíduos cada vez mais aptos, levando à otimização da função objetiva”. Na Figura 6 tem-se um fluxograma que exemplifica o funcionamento de um AG.

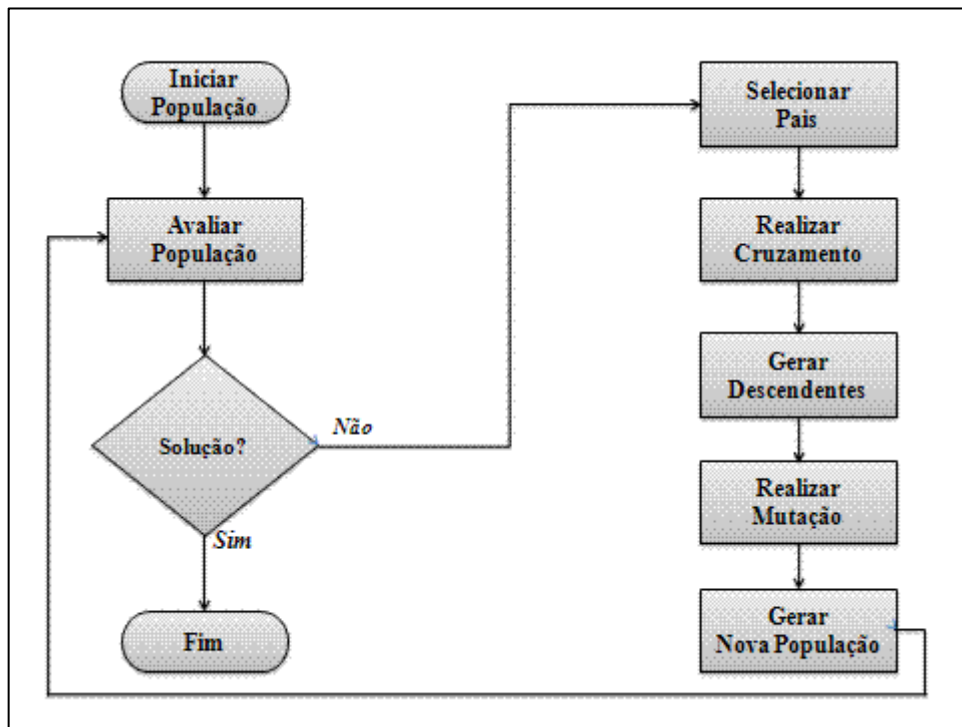


Figura 6: Fluxograma básico de um AG

Fonte: Adaptado de Rodrigues *et al* (2009, p. 3).

Os componentes básicos de um AG são descritos a seguir:

2.4.1 Fluxo Básico

O fluxo básico de um algoritmo tem o objetivo de mostrar quais os passos necessários para o funcionamento do código.

Abaixo na Figura 7 é demonstrado o fluxo básico de um AG.

Algoritmo Fluxo básico de um algoritmo genético simples	
	Seja $S(t)$ uma população de cromossomos na geração t ;
	$t \leftarrow 0$;
3:	Inicializar $S(t)$;
	Avaliar $S(t)$;
	while o critério de parada não for satisfeito do
6:	$t \leftarrow t + 1$;
	Selecionar $S(t)$ a partir de $S(t - 1)$;
	Aplicar operadores genéticos sobre $S(t)$;
9:	Avaliar $S(t)$;
	end while
	Retornar melhor solução encontrada.

Figura 7: Funcionamento básico de um AG

Fonte: Adaptado de Santana (2012).

2.4.2 Representação Cromossômica

Um dos pontos iniciais para construção de um AG consiste na definição de como cada possível solução será representada em relação a um determinado problema. Cada possível solução (cromossomo), representa uma sequência de informações (gene), que são geradas a partir um conjunto de dados (alfabeto), que representa o espaço de busca para a solução do problema. Em casos mais simples, utiliza-se um alfabeto binário $Alfabeto = \{0,1\}$, existem outros tipos de alfabetos que são comumente construídos com o uso de letras, números reais, códigos, etc., de maneira geral, a construção do alfabeto varia de acordo com o problema proposto (TANOMARU, 1995).

Segundo Santana (2012), grande parte dos AG propostos na literatura utilizam uma população fixa de indivíduos, cromossomos, em que cada cromossomo possui um tamanho constante, todavia isso não é uma regra definida para o desenvolvimento de um AG, podendo variar de acordo com o problema.

2.4.3 Inicialização

Depois que ocorre a representação cromossômica o AG deve seguir seu fluxo de inicialização: Acontece um processo para gerar um conjunto de possíveis soluções para o problema, esse conjunto de soluções iniciais é chamado de população inicial, e o processo para gerar essas soluções acontece eventualmente de forma aleatória, mas também pode ocorrer através de um processo heurístico.

Um detalhe importante em relação a população inicial é que ela deve atingir o máximo possível do espaço de busca para que haja uma maior diversidade na criação dos cromossomos (SANTANA, 2012).

2.4.4 Avaliação

O processo de avaliação tem a finalidade de analisar a população verificando seu desempenho em relação ao objetivo do problema. Cada elemento da população é submetido ao processo de avaliação onde é determinada a proximidade da solução ótima do problema. Este processo é realizado por meio de uma função que é chamada de função de aptidão ou função objetiva e é definida de acordo com o problema a ser resolvido, levando em consideração todos os fatores que são determinantes na solução do problema (SANTANA, 2012).

2.4.5 Seleção

A partir do processo de avaliação feito anteriormente, são selecionados os indivíduos mais aptos para continuarem no processo genético. Os indivíduos são dispostos em populações temporárias (pais) e essas populações tem o objetivo de formar as novas gerações de indivíduos (filhos). A seleção ocorre por meio de funções de forma probabilística: Quanto mais apto o indivíduo for com base na avaliação feita anteriormente, maior será sua probabilidade de compor uma população temporária. Os métodos de seleção mais comumente utilizados são o da roleta e o do torneio.

No método de seleção por roleta, cada indivíduo é representado na roleta de forma proporcional (Figura 8), onde a porção de ocupação de cada indivíduo na roleta é definida com base no grau de aptidão que o indivíduo representa para a solução do problema, ou seja, quanto mais apto for o indivíduo maior será sua porção de ocupação na roleta. (CARVALHO; BRAGA; LUDEMIR, 2002). Este método apresenta um tempo de processamento maior, pois exige que todos os indivíduos da população sejam verificados.

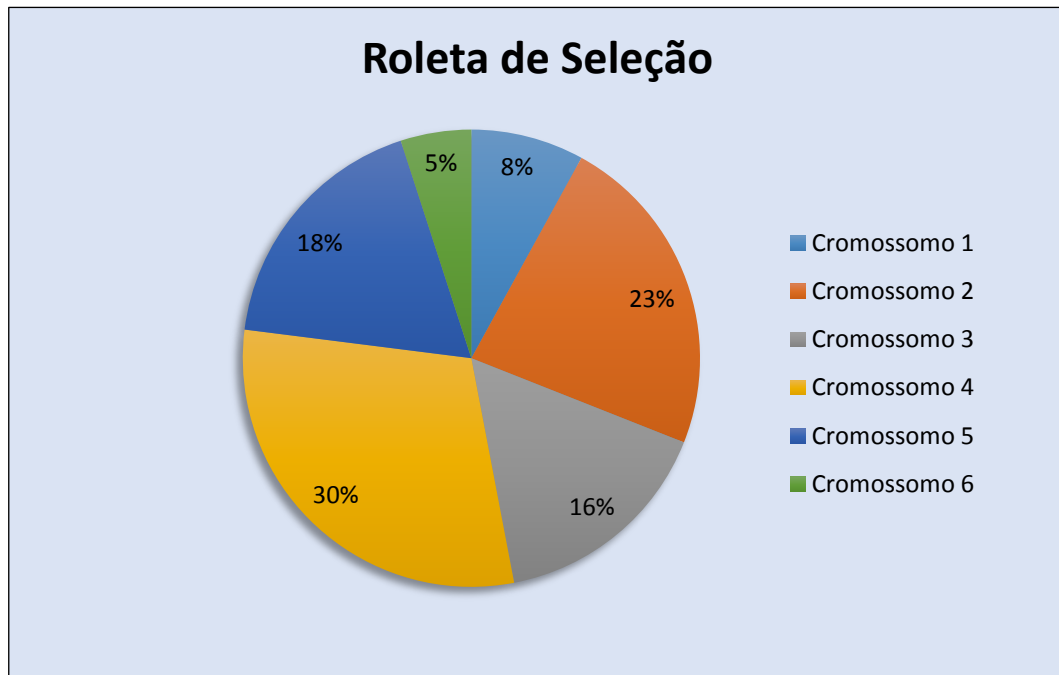


Figura 8: Método de Seleção por Roleta

O método de seleção por torneio funciona da seguinte maneira: n indivíduos da população são escolhidos de forma aleatória e por meio de uma análise probabilística em relação ao valor de aptidão de cada cromossomo determina-se quem irá compor a população temporária, onde é selecionado o cromossomo de maior aptidão dentre os n cromossomos. Esse processo é repetido até que a população temporária seja preenchida (CARVALHO; BRAGA; LUDEMIR, 2002). Este método é o mais utilizado, pois oferece a vantagem de não exigir que a comparação seja feita entre todos os indivíduos da população (BANZHAF 1998). Uma variação da seleção por torneio muito utilizada é chamada de torneio binário, onde o $n = 2$, como é exemplificado na Figura 9.

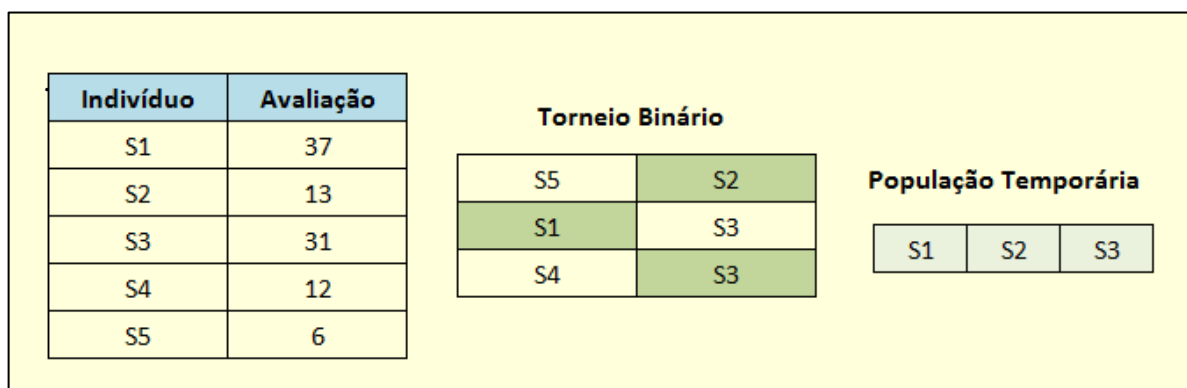


Figura 9: Torneio Binário

Fonte: Adaptado de Santana (2012).

O Elitismo tem o objetivo de preservar os melhores cromossomos de uma geração para outra sem que haja alterações, possibilitando que sempre a melhor solução encontrada em qualquer uma das gerações seja mantida até o final do processo.

2.4.6 Operadores Genéticos

Os Operadores Genéticos transformam a população através de sucessivas gerações, baseados no processo de avaliação realizado anteriormente os operadores são encarregados pela criação dos novos indivíduos que irão compor as próximas gerações, de forma a simular a sobrevivência do mais apto. Os operadores genéticos são importantes para que a população se diversifique e mantenha características de adaptação adquiridas pelas gerações anteriores. Segundo Santana (2012) a partir dos Operadores Genéticos, os elementos da população temporária, pais, irão se modificar e criar novos elementos, possivelmente com maior adequabilidade. Os Operadores Genéticos mais utilizados na literatura são a recombinação (cruzamento) e a mutação.

A Recombinação consiste na troca de fragmentos entre pares de cromossomos. São criados novos indivíduos misturando características de dois pais. Seu funcionamento é dado da seguinte maneira: Dados dois elementos e os fragmentos dos cromossomos a partir de um ponto definido deverá ocorrer a troca de informações(SANTANA, 2012). Os métodos de recombinação mais utilizados são o de cruzamento em um ponto (*single point crossover*) e cruzamento em dois pontos, ambos respectivamente são exemplificados a seguir na Figura 10 e Figura 11.

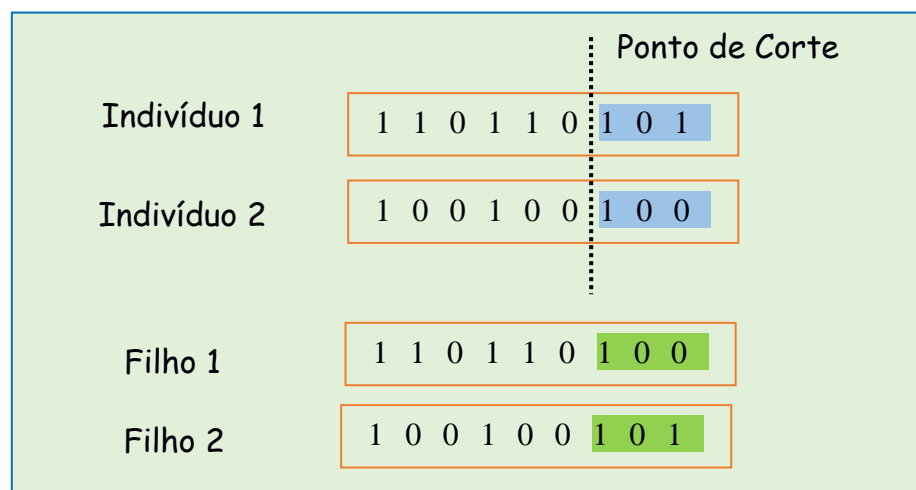


Figura 10: Cruzamento em um ponto

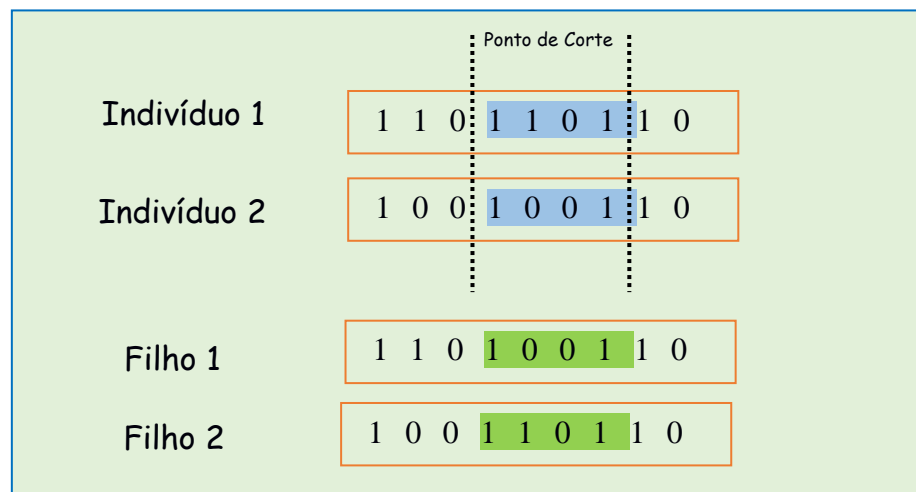


Figura 11: Cruzamento em dois pontos

A Recombinação, também chamada de *crossover*, é aplicada com uma dada probabilidade. Essa probabilidade, denominada de taxa de recombinação, varia entre 60% e 90%. Não ocorrendo à recombinação, os filhos serão iguais aos pais, permitindo que algumas soluções sejam preservadas (SANTANA, 2012).

Na Biologia, Mutação refere-se às mudanças que ocorrem no material genético. A mutação em AG segue o mesmo princípio que na Biologia, acontecem modificações no gene do cromossomo, ocorrendo à substituição de características do gene por outros valores definidos no alfabeto de representação cromossômica, possibilitando que seja assegurada a diversidade de cromossomos na população. O processo de mutação também acontece de forma probabilística, ou seja, existe uma probabilidade permeada ao gene que definirá se o mesmo sofrerá ou não o processo de mutação. Seu funcionamento ocorre da seguinte maneira: (i) um cromossomo qualquer é selecionado, (ii) é realizado uma consulta ao gene do cromossomo selecionado e (iii) por fim é verificado se o gene deve sofrer mutação. Essa verificação ocorre com o auxílio de um processo probabilístico, no qual se gera um valor aleatoriamente entre [0 e 1] e caso este valor seja menor que a taxa de mutação o processo de mutação acontece, caso contrário não. A Figura 12 exemplifica um processo de mutação simples.

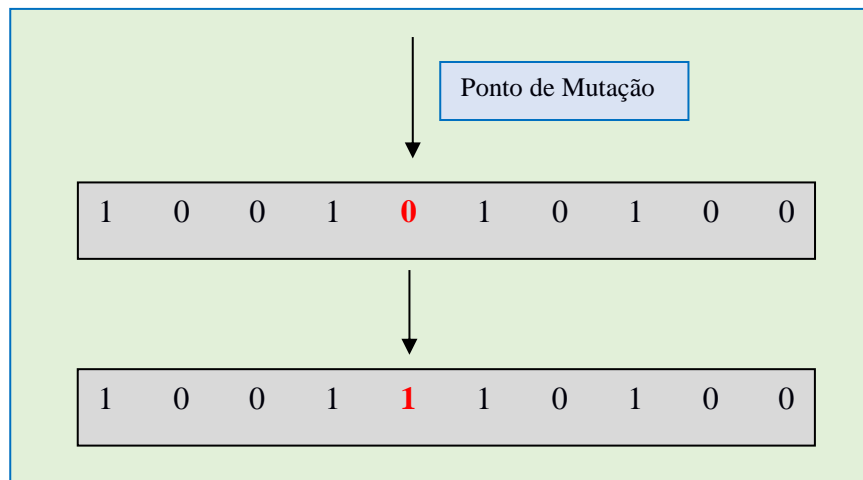


Figura 12: Mutação Simples

A mutação possibilita uma melhoria na diversidade dos cromossomos na população assegurando uma maior abrangência no espaço de busca da solução, porém vale salientar que também ocorre a exclusão de informações contidas no cromossomo. Em razão disso, a taxa de mutação normalmente deve ser definida com valores baixos variando entre 0,1% e 5% (LACERDA; CARVALHO, 1999).

2.4.7 Condição de Parada

A condição de Parada tem como objetivo determinar quais as condições necessárias para encerrar o AG, por se tratar de problemas de otimização o ideal seria que o algoritmo apenas termine sua execução quando encontrar a solução ótima para o problema. Porém na maioria dos casos, não se pode afirmar com clareza que um ponto corresponde a um ótimo global, pode-se utilizar os seguintes critérios de parada: (i) Número máximo de iterações, (ii) Tempo limite de processamento e (iii) Estagnação, ou seja, quando não ocorre mais melhorias na população (SANTANA,2012).

3 TRABALHOS RELACIONADOS

Na literatura existem alguns trabalhos que possuem relação com o trabalho proposto, possuindo abordagens diferentes.

Ferreira (2015) propõe em seu trabalho a utilização de AG para encontrar soluções que diminuíssem os custos de implantação e irrigação das lavouras de arroz. O desenvolvimento do trabalho baseou-se no levantamento das questões relacionadas ao projeto e implantação de lavouras de arroz e na criação de um modelo para este projeto, com escolha das variáveis do sistema. Alguns elementos foram relevantes para a realização do trabalho: (i) A topografia do terreno, (ii) a localização da entrada da água assumida como sendo a cota mais alta de elevação do terreno, (iii) parâmetros agronômicos específicos da produção, como os períodos de formação e manutenção da lâmina d'água, profundidade a ser mantida durante a manutenção, período de funcionamento das moto-bombas, taxa de infiltração, taxa de evapotranspiração, coeficiente de escoamento em canais e coeficiente de rendimento dos levantes, todos fornecidos ao modelo. A saída do algoritmo tinha como objetivo a apresentação de (i) um mapa de solução, com a localização dos canais de irrigação e divisão dos quadros da lavoura, (ii) um relatório de análise da solução e (iii) um relatório sobre a evolução das soluções, visando uma avaliação qualitativa da solução encontrada. Para determinação da modelagem hídrica do processo de escoamento de água na lavoura foi utilizado o software PCRaster² que permite a simulação e modelagem dinâmica de processos físicos. A topografia do campo foi descrita por um modelo matricial de elevação, em que cada ponto da matriz representa a altitude do terreno. O AG desenvolvido tem como características (i) *crossover* de um ponto, (ii) método de seleção torneio e (iii) técnica de substituição *steady state*. O cromossomo resultante é constituído pela matriz de adjacência sistematizada do terreno, com os pontos que constituem limites do canal de irrigação.

Por sua vez, o trabalho apresentado por Câmara Júnior (2005) aplicou AG como ferramenta no auxílio à tomada de decisão no planejamento de um agronegócio, visando o maior retorno econômico na atividade exercida. O desenvolvimento constitui-se no planejamento de uma propriedade agrícola, que permitisse a modelagem e solução de um problema de alocação de recursos para o apoio à decisão de projeto de irrigação. Escolheu-se

²O site do software: < <http://pcraster.geo.uu.nl/> >

um estudo de caso e culturas para representar as atividades competitivas entre as quais o agricultor deveria alocar seus recursos e redirecionar a produção para culturas mais rentáveis, de modo a satisfazer os objetivos estabelecidos no plano agrícola. As culturas a serem desenvolvidas são: (i) Atemóia, (ii) Banana, (iii), Goiaba, (iv) Limão, (v) Mamão, (vi) Manga e (vii) Pinha. Algumas variáveis foram relevantes para determinação da cultura mais adequada para determinada propriedade, sendo elas (i) variáveis climáticas, (ii) propriedades do solo, (iii) sistema de irrigação adotado e (iv) coeficientes técnicos de produção das culturas. No modelo de otimização concebido no estudo, fixou-se o tamanho da população em 500 indivíduos e o número máximo de gerações igual a 800. Quanto às probabilidades de seleção, cruzamento e mutação, para cada simulação foram utilizados até 125 conjuntos de valores na tentativa de busca do ótimo global e não apenas de ótimos locais.

Vieira *et al*(2010) aplicou AG como ferramenta no auxílio à tomada de decisão no planejamento de um agronegócio, visando o maior retorno econômico da atividade exercida. O objetivo desse trabalho de pesquisa foi testar a utilização do AG na solução de problemas de programação linear e não-linear aplicados à gestão agroindustrial. Dois exemplos foram desenvolvidos: (i) O primeiro tratou da solução de um problema de programação linear inteira e o (ii) segundo de um problema de programação não-linear, ambos aplicados à gestão agroindustrial. Foram apresentados dois estudos de casos. O primeiro trata de um criador de frangos de corte que quer fornecer uma ração balanceada para sua criação, combinando apenas necessidades proteicas e calóricas, o segundo estudo de caso trata da obtenção do maior rendimento de produção de uma empresa que dispõe, sem restrição, de quantidades variáveis de insumo e mão de obra. O objetivo final do primeiro problema é fornecer uma mistura rica em proteínas e em valores energéticos, a fim de ter um maior rendimento de crescimento com um menor custo da ração. O AG chegou-se a uma solução ótima da mistura desejada onde foram encontrados os valores referentes à quantidade necessária de Milho (x) e de Farelo de soja (y). O segundo caso trata-se de uma função $R(x,y)$ de duas variáveis x e y, não-linear, denominada de função receita, numa unidade monetária qualquer, a ser maximizada nessas duas variáveis, podendo x representar o número de unidades a ser produzida de um produto A e y o número de unidades a ser produzida de um produto B. Foram utilizados AG Binários para resolução dos problemas, em que os pontos do espaço de solução são codificados como uma cadeia de bits 0 ou 1, dentro de cada indivíduo.

O trabalho realizado por Medeiros (2003) teve como objetivo a avaliação de modelos matemáticos desenvolvidos para auxiliar a tomada de decisão em sistemas de produção de

ruminantes em pastagens. Dentre os trabalhos realizados pelo autor existem dois que se assemelham com o objetivo deste trabalho, sendo eles: (i) Validação de um modelo matemático para estimar o acúmulo de forragem em função de variáveis climáticas e (ii) Avaliação de modelos matemáticos para estimar o consumo de forragem e o desempenho animal em pastagens.

O primeiro trabalho teve como objetivo avaliar um modelo parametrizado para estimar o acúmulo de forragem em função do acúmulo de unidades fototérmicas (UF) para gramíneas *Cynodon spp.* O estudo foi desenvolvido na região de Piracicaba, SP, para calcular a quantidade de UF acumuladas num período de tempo determinado. Fez-se o uso dos seguintes dados: (i) Graus-dia médio do período de n dias, (ii) Valor do fotoperíodo (horas e décimos) no final do período de crescimento e (iii) Valor do fotoperíodo no início do período de crescimento. O Graus-dia médio é obtido utilizando as seguintes informações, (i) Média das temperaturas do ar máximas no período n , (ii) Média das temperaturas do ar mínimas do período n , (iii) Média da temperatura do ar média no período n e (iv) Temperatura base inferior da planta. O acúmulo de forragem foi calculado pela diferença entre a massa de forragem residual (quantificada no dia zero ou após a colheita) e no dia 28 ou 42 de crescimento, de acordo com a frequência de corte. A taxa média diária de acúmulo de forragem, foi obtida dividindo-se a massa de forragem acumulada pelo período de crescimento para o respectivo intervalo entre cortes, 28 ou 42 dias. Foi realizada uma análise de regressão linear entre os resultados medidos por TONATO *et al.* (2002) e os estimados pelo modelo de UF utilizando o procedimento Proc REG do pacote estatístico SAS®, *Statistical Analysis System* (SAS INSTITUTE, 1988) para avaliação dos resultados, onde o modelo estimou adequadamente a taxa de acúmulo de forragem para as gramíneas estudadas.

O segundo trabalho teve como objetivo estudar o efeito da oferta de forragem verde (folhas + hastes) e a oferta de folhas sobre o consumo real de forragem e o desempenho dos animais em pastagem de gramíneas tropicais. Foram utilizados modelos matemáticos que estimam o consumo de forragem e o desempenho dos animais em sistemas de produção de ruminantes em pastagens. Os modelos utilizados que estimam o consumo de forragem são (i) Consumo Potencial, modelo proposto por FREER *et al.* (1997) e (ii) Consumo de Forragem, modelo proposto por McCALL (1984). O modelo proposto por FREER (1997) para determinação do consumo potencial dos animais faz-se o uso dos seguintes dados: (i) Peso de referência do animal adulto, (ii) Tamanho relativo do animal, (iii) Fator de correção para animais em lactação, (iv) Fator de correção para a temperatura ambiente e (v) Fator de

correção para animais lactentes. Já o modelo proposto por McCALL (1984) para determinação do consumo de forragem utilizou (i) Exponencial (2,7182), (ii) Massa verde seca (kg/ha) e (iii) Oferta de forragem dividido pelo consumo potencial do animal. O ganho de peso animal foi estimado utilizando o modelo proposto pelo SCA (1990), onde utiliza-se, (i) Peso do animal, (ii) Idade do animal, (iii) Coeficiente de utilização da energia de manutenção, (iv) Consumo total de energia metabólica, (v) Custo adicional de energia despendida no pastejo e (vi) custo metabólico para manutenção da temperatura corpórea. Os resultados obtidos foram comparados aos publicados por CARNEVALLI (1999), que trabalhou com pastagens de *Cynodon spp.* mantidas em condição constante de altura (5, 10, 15 e 20 cm) de agosto de 1998 a março de 1999. O método de pastejo utilizado foi lotação contínua, e o pastejo realizado por ovinos de corte. A taxa de lotação e peso médio dos animais utilizados para alimentar o modelo foram os mesmos medidos e publicados por CARNEVALLI (1999), e os valores de oferta de matéria seca verde, de folhas, foram calculadas utilizando a metodologia proposta por SOLLENBERGER e MOORE (1997). A análise estatística também foi realizada utilizando-se o procedimento Proc GLM do pacote estatístico SAS®, Statistical Analysis System, (SAS INSTITUTE, 1988). Obteve-se como resultado que o modelo proposto por McCALL (1984) estima corretamente o consumo de forragem de *Cynodon spp.* por ovinos, desde que o usuário substitua a oferta de matéria verde (folhas+haste) pela oferta de folhas verdes.

4 DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

O presente trabalho tem como objetivo realizar simulações de sistemas de produção de ruminantes em pastagens de forma que auxilie no processo decisório favorecendo o planejamento de produções. O desenvolvimento do trabalho constituiu-se em quatro etapas: (i) levantamento de informações necessárias para o desenvolvimento, (ii) formulação do problema, (iii) implementação do AG e (iv) validação dos resultados obtidos.

4.1 Levantamento de Informações

Essa etapa do desenvolvimento teve o intuito de reunir todas as informações necessárias em relação aos sistemas de produção de ruminantes em pastagens, o AG pode ser modelado para qualquer sistema de produção extensiva em pastagens, neste caso específico foi reunidas informações ligadas à produção de ovinos para a criação do AG e da modelação da solução. Algumas informações que são de extrema relevância para a elaboração do algoritmo seguem listadas abaixo:

- TMF = Taxa média de acúmulo da forragem medido em kg;
- GMD = Ganho de peso médio diário por animal, medido em kg/animal/dia;
- PV = Peso vivo, medido em kg/animal;
- CMS = Consumo voluntário, medido em kg de alimento/animal/dia;
- MF = Massa de forragem, alimento disponível para os animais, medida em kg;
- SF = Saldo de forragem, medido em kg.

A TMF é obtida através da acumulação de forragem durante o dia, numa relação entre a massa de forragem inicial e a massa de forragem final de um determinado período, sua medida é estimada em kg e varia em relação ao clima, solo e espécie de forrageira.

O GMD é um valor constante medido em kg, que expressa a relação entre o consumo e a conversão do alimento em produto animal.

O PV representa o peso vivo de um animal adulto. Sua medição é expressa em kg numa relação entre seu peso inicial, GMD e quantidade de dias do pastejo.

O CMS é um cálculo que estima a quantidade de matéria seca que os animais irão consumir diariamente. Sua medição é obtida em kg numa relação entre a variação de PV e do GMD. Para encontrar o CMS foi utilizado o modelo proposto por (CABRAL *et al.*, 2008)

onde é estimado o consumo dos animais em função do seu PV e do GMD. A seguir na Equação 1, o cálculo que expressa esta relação.

$$\text{Equação 1: } CMS = 0,311 + (0,0197 * PV) + (0,682 * GMD))$$

MF representa a quantidade de alimento (forragem) disponível para o consumo dos animais, é medida em kg.

SF é a quantidade de alimento que restou após o consumo dos animais. É medido em kg e obtido numa relação entre a TMF, MF e o CMS.

4.2 Formulação do Problema

A fase de formulação do problema é muito importante para o desenvolvimento do trabalho. Está ligada diretamente com o AG, pois nessa etapa são esclarecidos alguns questionamentos que são as peças chaves para a construção do AG. Sendo elas: (i) o que será otimizado, (ii) qual a função objetivo e (iii) quais as restrições do problema.

O objetivo do problema é encontrar uma solução ótima para a quantidade de dias e animais no sistema de produção de modo que minimize o saldo de forragem em função do consumo, de acordo com a função abaixo:

$$\text{Minimizar: } f(NA, D) = (SF + TMF * D) - (CMS * NA * D)$$

Onde o **SF** é o saldo de forragem após o consumo dos animais, **D** é a quantidade de dias e **NA** é quantidade de animais representado na Figura 13.

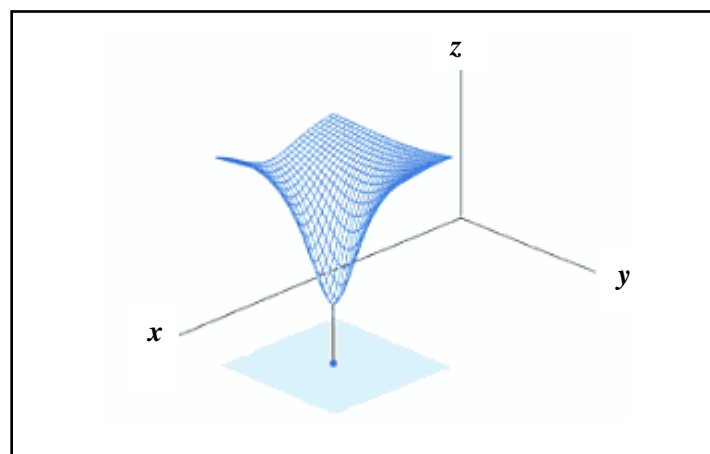


Figura 13: Representação da Função de Minimização

A função objetivo do problema é expressa numa relação entre o consumo e a oferta de forragem.

Faz-se o uso da Equação 1 para calcular o consumo dos animais em função dos dias, calcula-se a acumulação de forragem ao longo dos dias e subtrai-se o consumo total dos animais pelo saldo de forragem final.

Será otimizado a quantidade de dias e animais sujeito as restrições a seguir:

- TMF: deverá ser informado por um sistema ou pelo produtor e não pode ser negativo;
- GMD: deverá ser informado por um sistema ou pelo produtor e não pode ser negativo;
- PV: deverá ser informado por um sistema ou pelo produtor e não pode ser negativo;
- CMS: deverá ser informado por um sistema e não pode ser negativo;
- MF: deverá ser informado por um sistema ou pelo produtor e não pode ser negativo;
- SF: não pode ser negativo.
- Quantidade de dias: o produtor deverá inserir o intervalo mínimo e máximo de dias para a busca da solução.
- Quantidade de animais: o produtor deverá inserir o intervalo mínimo e máximo para quantidade de animais.

Essa configuração deverá retornar uma solução que otimize a quantidade de dias e animais, onde o saldo de forragem seja o mínimo possível acima de zero. A partir do momento que o AG encontrar esses valores deverá finalizar sua execução e retornar a solução.

4.3 Construção do Algoritmo

A construção do AG acarretou-se após o levantamento dos requisitos necessários em relação aos animais e a forragem. O cromossomo que contém a solução é constituído por duas informações: (i) número de animais e (ii) quantidade de dias do pastejo. Foi utilizada a seguinte configuração para obtenção da solução.

- População Inicial = Constituída de 100 indivíduos;
- Taxa de Crossover = 90%;
- Elitismo = Presente;
- Taxa de mutação = 5%;

- Número máximo de gerações = 1000;
- Técnica de Seleção = Torneio Binário;
- Técnica de Cruzamento = 1 ponto;
- Critério de Parada = Estagnação.

4.4 Resultados e Discussões

Para validar os resultados obtidos pelo AG foram utilizados os dados contidos no trabalho realizado por (CARNEVALLI *et al.*, 2001), onde o objetivo do estudo foi detalhar o conhecimento de como o desempenho animal e características do pasto respondem a mudanças na altura do pastejo.

Foram utilizados os seguintes dados para configuração do AG:

- MF;
- TMF;
- PV;
- GMD.

Para extrair o valor da MF foi utilizada a seguinte fórmula:

$$MF = A * D$$

Onde *A* é a altura da forragem expressa em milímetros e *D* é a densidade da forragem expressa em quilogramas por centímetro.

Foram desenvolvidas planilhas para orçamentação forrageira, em relação à quantidade de dias e animais que foram utilizados no experimento de (CARNEVALLI *et al.*, 2001), e outra em relação ao resultado obtido pelo AG com intuito de comparar os resultados a fim de verificar se os resultados que AG encontrou possuem o mesmo comportamento que o do experimento.

A planilha de orçamento forrageiro do trabalho adotada para comparação foi desenvolvida em relação aos períodos estacionais que a produção foi realizada e altura do pasto, considerando a quantidade de dias para cada estação onde a produção foi implementada, foi definido um contingente de 180 dias englobando a estação primavera e verão, e uma quantidade de animais igual a 96 para uma pastagem de altura igual a 100 mm.

A quantidade de animais foi obtida a partir da informação referente ao ganho por área, que está expressa na fórmula a seguir:

$$\text{Ganho por área} = NA * GMD$$

Onde o *NA* é o número de animais.

O AG gerou uma configuração ótima para dada a configuração vista anteriormente retornando os seguintes valores: 120 animais e 96 dias minimizando o saldo de forragem final. Após isso também foi gerada uma planilha com o orçamento forrageiro a fim de verificar se a solução ótima obtida pelo AG atendeu a expectativa de minimizar o saldo de forragem. O resultado obtido pelo AG e o comportamento em relação ao experimento escolhido pode ser observado no gráfico da Figura 14.

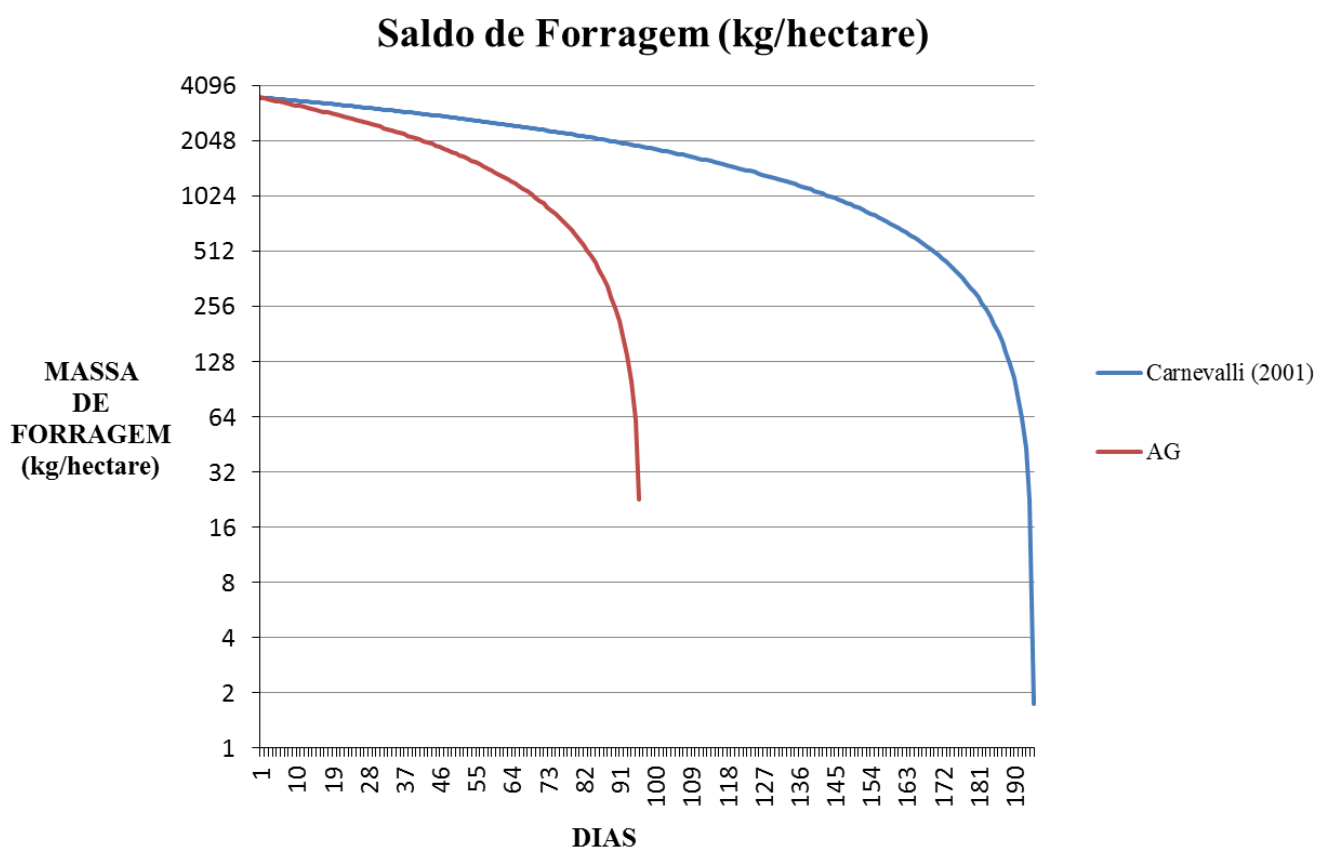


Figura 14: Gráfico de Comparação

Pode-se observar que os eixos possuem o mesmo comportamento, o AG retornou um saldo de 22,74 kg de forragem para o dia 96 minimizando o saldo de forragem atendendo a

expectativa, pois no dia posterior (97) o saldo de forragem estaria em -15,55 kg, ou seja, faltaria alimento para os animais após o dia 96.

A configuração do AG pode ser alterada de forma simples para obter soluções mais específicas. Pode ser definida a quantidade máxima e mínima para dias e animais que será desejado em uma produção visando encontrar soluções específicas para determinados problemas.

Quando comparamos o resultado obtido pelo AG com o experimento, podemos notar que existe uma diferença em relação a quantidade de dias. O experimento tem uma quantidade de dias maior, pois existe um contingente menor de animais, onde o mesmo retornou uma sobra de alimento, já o AG retornou uma solução ótima que minimizou a sobra de alimento mantendo uma relação inversamente proporcional para a quantidade de dias e animais da produção.

Um dos métodos ideais para a validação dos resultados obtidos pelo AG seria através da realização de experimentos reais para que os dados obtidos no experimento real fossem comparados com os resultados obtidos pela simulação, tornando assim uma validação mais concreta.

A seguir na Tabela 1 é apresentada uma lista experimental de configurações para encontrar soluções (cromossomos) ótimas e logo após serão apresentadas as tabelas e gráficos com os resultados obtidos para cada configuração listada abaixo.

Tabela 1: Simulações

Simulações	MF (kg)	TMF (kg)	PV (kg)	GMD (kg)
Configuração 1	2120	100	25	0,0313
Configuração 2	3560	62	25	0,0125
Configuração 3	4935	90	25	0,0468
Configuração 4	6340	113	25	0,0448

Tabela 2: Saídas do AG para a configuração 1

Soluções	Nº de animais	Quantidade de dias	Saldo de forragem final (kg)
Cromossomo 1	146	87	6,01
Cromossomo 2	135	127	11,98
Cromossomo 3	127	180	2,44
Cromossomo 4	134	132	15,73
Cromossomo 5	125	198	1,82
Cromossomo 6	148	82	6,59
Cromossomo 7	131	149	29,18
Cromossomo 8	147	84	18,81
Cromossomo 9	140	105	23,41
Cromossomo 10	142	98	25,26

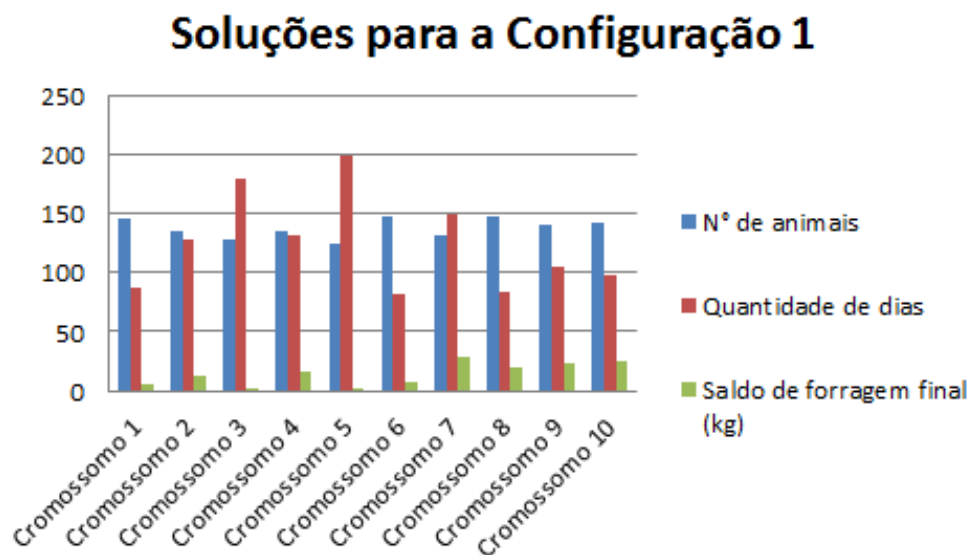


Figura 15: Soluções para a configuração 1

Tabela 3: Saídas do AG para a configuração 2

Soluções	Nº de animais	Quantidade de dias	Saldo de forragem final (kg)
Cromossomo 1	149	59	16,70
Cromossomo 2	117	103	8,94
Cromossomo 3	109	126	8,27
Cromossomo 4	116	105	23,57
Cromossomo 5	94	212	4,24
Cromossomo 6	122	92	24,07
Cromossomo 7	107	133	18,78
Cromossomo 8	136	71	37,86
Cromossomo 9	113	113	21,16
Cromossomo 10	114	110	28,91

Soluções para a Configuração 2

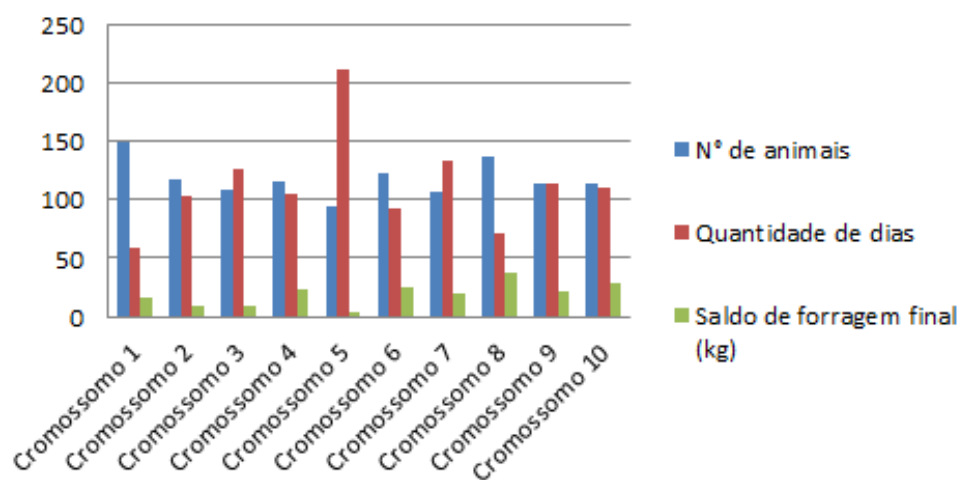


Figura 16: Soluções para a configuração 2

Tabela 4: Saídas do AG para a configuração 3

Soluções	Nº de animais	Quantidade de dias	Saldo de forragem final (kg)
Cromossomo 1	145	125	7,0
Cromossomo 2	147	120	30,56
Cromossomo 3	133	159	38,18
Cromossomo 4	129	175	14,69
Cromossomo 5	150	113	69,54
Cromossomo 6	127	184	1,65
Cromossomo 7	126	187	60,63
Cromossomo 8	137	146	28,00
Cromossomo 9	150	114	18,60
Cromossomo 10	141	135	7,08

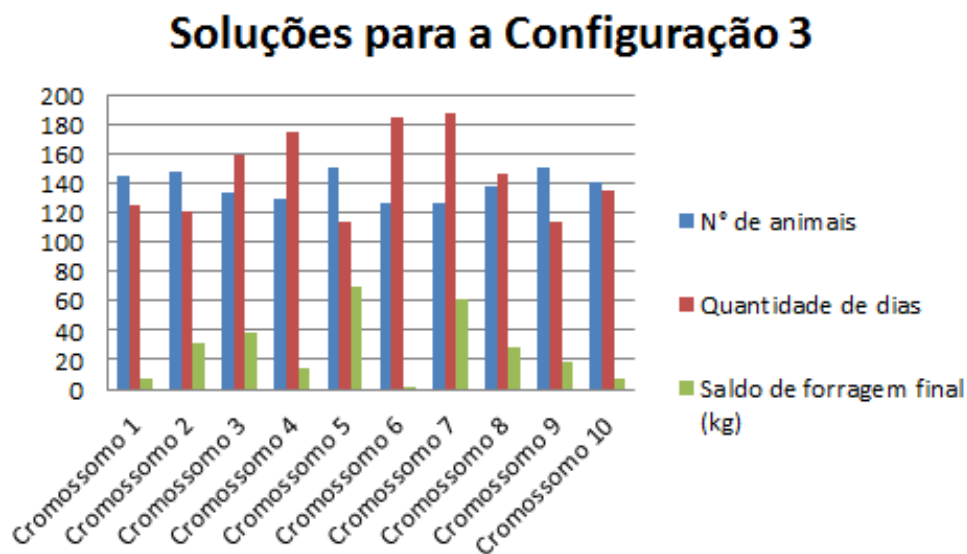


Figura 17: Soluções para a configuração 3

Tabela 5: Saídas do AG para a configuração 4

Soluções	Nº de animais	Quantidade de dias	Saldo de forragem final (kg)
Cromossomo 1	198	103	51,36
Cromossomo 2	180	133	7,27
Cromossomo 3	182	129	8,96
Cromossomo 4	158	195	40,21
Cromossomo 5	181	131	6,54
Cromossomo 6	165	171	13,55
Cromossomo 7	166	168	8,74
Cromossomo 8	170	156	34,97
Cromossomo 9	177	139	28,53
Cromossomo 10	168	162	12,80

Soluções para a Configuração 4

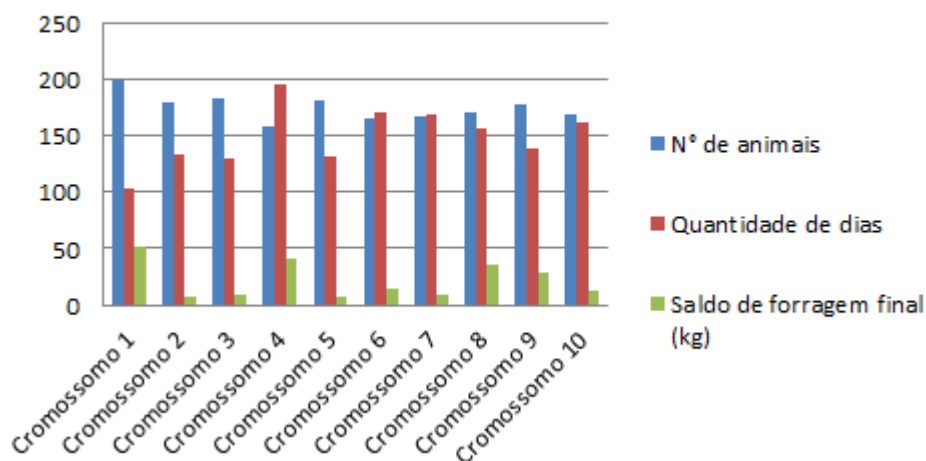


Figura 18: Soluções para a configuração 4

Após a análise das tabelas e gráficos podemos observar que os resultados obtidos nas simulações estão retornando valores concisos em relação às condições dos problemas, concluindo-se que o AG obteve um resultado satisfatório em todas as soluções obtidas nos experimentos visando à otimização de dias e animais da produção, mantendo essa relação de forma inversamente proporcional e ocorreu a minimização do saldo de forragem na simulação desses cenários de produção.

5 CONCLUSÃO

O AG apresentado neste trabalho tem o objetivo de realizar simulações de áreas pastejáveis de forma que possibilite a criação de cenários produtivos para fins de planejamento de produções de ruminantes em pastagens, determinando a quantidade de animais e dias que se pode ter na produção, proporcionando um auxílio na tomada de decisões para a criação de sistemas de produções de ruminantes em pastagens.

A possibilidade de simular diversas configurações de cenários de produção proporciona que haja um melhor planejamento de produções, auxiliando na definição de qual produção melhor se adapta a problemática que está inserida, suprimindo as dificuldades encontradas no planejamento de produções por se tratarem de períodos longos e que se eventualmente forem alterados ao longo da produção ocasionarão em uma perda de produtividade.

A utilização de AG se mostrou bastante satisfatória na pesquisa tendo em vista que lidam com qualquer problema de otimização. O AG desenvolvido atendeu o objetivo proposto, onde as soluções encontradas proporcionaram a otimização da quantidade de dias e animais, minimizando o saldo de forragem em função do consumo animal.

Como trabalhos futuros serão elencados os seguintes itens:

- Acoplamento do AG em um sistema de gerenciamento de produções de ruminantes em pastagens para auxiliar o produtor no processo decisório de produções no campo;
- Utilização de mais características da produção para encontrar outros resultados mais abrangentes;
- Realizar uma análise do AG, verificando seu desempenho em relação a outros métodos da literatura a fim de adotar métodos mais rápidos de simulação;
- Utilização do AG como ferramenta auxiliar no desenvolvimento de atividades no âmbito acadêmico dos cursos das ciências agrárias.

REFERÊNCIAS

- BANZHAF, Wolfgang *et al.* Genetic programming: an introduction. San Francisco: Morgan Kaufmann, 1998.
- BAZZO, W. A.; PEREIRA, L. T.V. Introdução à engenharia: conceitos, ferramentas e comportamentos. Florianópolis: da Ufsc, 2006., p. 183.
- BITTENCOURT, Guilherme. Inteligência artificial: ferramentas e teorias. 1998.
- CABRAL, L. S. *et al.* Estimativas dos requisitos nutricionais de ovinos em condições brasileiras Nutrients. **Revista Brasileira de saúde e produção animal**, v. 9, n. 3, p. 529–542, 2008.
- CÂMARA JÚNIOR; A. C. Suporte à decisão para o planejamento agrícola utilizando algoritmos genéticos. 2005.
- CARNEVALLI, R. A. Desempenho de ovinos e respostas de pastagens de *Cynodon* spp submetidos a regimes de desfolha sob lotação contínua. Piracicaba, 1999. 90p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- CARNEVALLI, R. A. *et al.* Desempenho de ovinos e respostas de pastagens de tifton 85 (*Cynodon* spp.) sob lotação contínua. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 1, p. 7–15, 2001.
- CARVALHO, A.; BRAGA, A.; LUDEMIR, T. Sistemas inteligentes: Fundamentos e aplicações. In: _____. São Paulo: Manole, 2002. cap. Computação Evolutiva, p. 225-248.
- DA SILVA, Sila Carneiro; NASCIMENTO JÚNIOR, D. Sistema intensivo de produção de pastagens. In: Congresso Latino-Americano de Nutrição Animal. 2006. p. 1-30.
- DA SILVA, S.C.; PASSANEZI, M.M. Planejamento do sistema de produção a pasto. In: PEIXOTO, A.M.; MOURA, J.C.; FARIA, V.P. (ed.). Planejamento da exploração leiteira. Piracicaba: FEALQ, 1998, p.143-150.
- DA SILVA, S.C.; PEDREIRA, C.G.S. Princípios de ecologia aplicados ao manejo de pastagem. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMA DE PASTAGENS, 3., Jaboticabal, 1997. Anais. Jaboticabal: FUNEP, 1997. p. 1-62.
- DA SILVA, S.C.; SBRISSIA, A.F. A planta forrageira no sistema de produção. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGENS, 17., Piracicaba, 2000. Anais. Piracicaba: FEALQ, 2000. p. 3-20.
- DARWIN, C. (1859). On the Origin of Species. Cambridge: Harvard University Press.
- DIAS, C. T, dos S. Planejamento de uma fazenda em condições de risco: programação linear e simulação multidimensional. 1996. 100 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- EMBRAPA. Grupo de Produção Animal (GPA). Disponível em <<https://www.embrapa.br/gado-de-corte/pesquisa-e-desenvolvimento/grupo-de-producao-animal>>. Acesso em outubro de 2016.

FERREIRA, A. *et al.* Algoritmos evolutivos no projeto de irrigação de lavouras de arroz. v. d, 2015.

FREER, M.; MOORE, A. D.; DONNELLY, J. R. GRAZPLAN: Decision Support Systems for Australian Grazing Enterprises--II. The Animal Biology Model for Feed Intake, Production and Reproduction and the GrazFeed DSS, *Agricultural Systems*, v. 54, n. 1, p. 77-126, 1997.

GUERVÓS, Juan Julián Merelo; JULIÁN, Juan. *Informática evolutiva: Algoritmos genéticos*. 2009.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. **Introdução à Pesquisa Operacional**. Rio de Janeiro: Editora Campus Ltda./Editora USP, 1988.

HODGSON, J. *Grazing management: science into practice*. London: Longman Scientific and Technical, 1990. 203

HOLLAND, J. H. *Adaptation in natural and artificial systems*. The University of Michigan Press, Ann Arbor, MI, 1975

IBGE. Censo Agropecuário 2006.

LACERDA, E.; CARVALHO, A. *Sistemas Inteligentes: aplicações a recursos hídricos e ciências ambientais*. In:____. Porto Alegre: UFRGS, 1999. Cap. Introdução aos algoritmos genéticos, p. 99-150.

LINDEN, R. *Algoritmos genéticos*. Rio de Janeiro: Brasport, 2008.

McCALL, D. G. *A systems approach to research planning for north island hill country*. . Palmerston North, 1984, Thesis (PhD) - Massey University. 261p. McCALL,

MEDEIROS, H. R. DE; PEDREIRA, C. G. S.; MELLO, A. C. L. DE. *Avaliação do modelo Stockpol em sistemas de Pasturas Tropicales*, v. 28, n. 2, 2006.

MEDEIROS, H. R. **Avaliação de modelos matemáticos desenvolvidos para auxiliar a tomada de decisão em sistemas de produção de ruminantes em pastagens (Tese de doutorado)** Piracicaba Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da Universidade de São Paulo, 17 out. 2003. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11139/tde-27112003-100019/>>. Acesso em: 28 set. 2016

MEDEIROS, H. R. D. *et al.* *Planejamento de Sistemas de Produção de Caprinos e Ovinos Utilizando Orçamento Forrageiro*. **Embrapa**, p. 1–7, 2008.

MILLIGAN , K. E.; BROOKES, I. M.; THOMPSON, K. R. *Feedplanning on pasture*. In: NICOL, A. M. (Ed.) *Livestock feeding on pasture*. Hamilton, N.Z.: New Zealand Society of Animal Production, 1987. p. 75-88. (*New Zealand Society of Animal Production Occasional Publication*, n. 10).

MIRANDA, M. N. de. *Algoritmos Genéticos: Fundamentos e Aplicações*. Disponível em <http://www.gta.ufrj.br/~marcio/genetic.html>, 2009.

MITCHELL, M. an introduction to genetic algorithms. MIT Press, 1996.

OENEMA, O.; GEBAUERS, G.; RODRIGUEZ, M.; SAPEK, A.; JARVIS, S. C.; CORRÉ, W. J.; YAMULKI, S. Controlling nitrous oxide emissions from grassland production systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 52, p. 141-149, 1998.

RODRIGUES, Wesley Osvaldo Pradella; SOUZA, Celso Correia de; REIS NETO, José Francisco dos. Uma ferramenta para suporte à decisão no planejamento de produção de uma indústria utilizando Algoritmos Genéticos. In: ADMPG, II. 2009, Ponta Grossa: ADMPG, 2009.

SANTA CATARINA, A.; BACH, S. L. Estudo do efeito dos parâmetros genéticos na solução otimizada e no tempo de convergência em algoritmos genéticos com codificações binária e real. *Acta Scientiarum: Technology*. Maringá, v. 25, n.2, p. 147- 152, 2003

SANTANA, L. E. A. DOS S. Otimização em comitês de classificadores: Uma abordagem baseada em filtro para seleção de subconjuntos de atributos. 2012.

SAS INSTITUTE, SAS User's guide: Release 6.03 ed. Cary, 1988. 1028p.

SBRISSIA, A. F.; DA SILVA, S.C.; O ecossistema de pastagens e a produção animal. *Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, v. 38, p. 731-754, 2001.

SLIDEPLAYER. **Redes Neurais Artificiais**. Disponível em: <<http://slideplayer.com.br/slide/3258057/>>. Acesso em: 9 dez. 2017.

SHEATH, G. W.; CLARK, D. A. Management of grazing systems: temperate pastures. **The ecology and management of grazing systems**, p. 301-324, 1996.

SOLLENBERGER, L. E.; MOORE, J.E. Assessing forage allowance – animal performance relationships on grazed pasture. *Agronomy Journal*. V. 89, p. 140-141, 1997.

TONATO, FELIPE. *et al.* Desenvolvimento de modelos preditores de acúmulo de forragem em pastagens tropicais. **Pesq. agropec. bras.**, v. 45, n. 5, p. 522–529, 2011.

TONATO, FELIPE *et al.* Produção de matéria seca total e taxa média de acúmulo de forragem de cinco cultivares do gênero *Cynodon* manejados para a produção de feno sob irrigação. Compact disc) REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, v. 39, 2002.

USDA. USDA Foreign Agricultural Service. Disponível em <<http://apps.fas.usda.gov/psdonline/>> . Acesso em outubro de 2016.

VIEIRA, Danilo Augusto Heredia *et al.* Algoritmos Genéticos como Ferramenta Auxiliar na Tomada de Decisão em Atividades de Gestão Agroindustrial. 2010