

UFRRJ

**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA,
TECNOLOGIA E INOVAÇÃO EM AGROPECUÁRIA**

TESE

**O Planejamento das Rotações de Culturas Agrícolas
e Trânsito Animal Utilizando Programação Inteira
Binária**

Deumara Galdino de Oliveira

2017



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA, TECNOLOGIA E
INOVAÇÃO EM AGROPECUÁRIA**

**O PLANEJAMENTO DAS ROTAÇÕES DE CULTURAS AGRÍCOLAS E
TRÂNSITO ANIMAL UTILIZANDO PROGRAMAÇÃO INTEIRA
BINÁRIA**

DEUMARA GALDINO DE OLIVEIRA

Sob a orientação do professor
Angel Ramon Sanchez Delgado

Tese submetida como requisito parcial
para obtenção do grau de **Doutora**, no
Programa de Pós-graduação em Ciência
Tecnologia e Inovação em
Agropecuária, Área de Concentração
em Recursos Naturais e Proteção
Ambiental

Seropédica, RJ
Janeiro, 2017

Galdino de Oliveira, Deumara, 1982 O Planejamento das Rotações de Culturas Agrícolas e Trânsito Animal Utilizando Programação Inteira Binária / Deumara Galdino de Oliveira. - 2017. 69 f.: il.

Orientador: Angel Ramon Sanchez Delgado. Tese (Doutorado). -- Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós-graduação em Ciência Tecnologia e Inovação em Agropecuária, 2017.

1. Integração Lavoura-Pecuária. 2. Rotação de culturas agrícolas. 3. Planejamento. 4. Sustentabilidade. I. Ramon Sanchez Delgado, Angel, 1956-, orient. II Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Programa de Pós-graduação em Ciência Tecnologia e Inovação em Agropecuária III. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta Tese, desde que seja citada a fonte.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
EM AGROPECUÁRIA**

DEUMARA GALDINO DE OLIVEIRA

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora**, no Programa de Pós-graduação em Ciência Tecnologia e Inovação em Agropecuária, Área de Concentração em Recursos Naturais e Proteção Ambiental

TESE APROVADA EM 19/01/2017

Angel Ramon Sanchez Delgado. Dr. UFRRJ
(Orientador)

Sergio Drumond Ventura. Dr. UFRRJ

Wagner de Souza Tassinari. Dr. UFRRJ

Pedro Paulo da Cunha Machado. Dr. IFRJ

Glaucio da Cruz Genuncio. Dr. UFMT

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Maria do Carmo Galdino de Oliveira e Deusellino de Oliveira (*in memoriam*), pela dedicação imensurável.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela fidelidade em minha vida e por permitir chegar até aqui.

Agradeço aos meus irmãos, por sempre estarem ao meu lado e se disporem a me ajudar.

A minha família que é tudo para mim, em especial meus filhos Lucas e Davi, razões para viver e melhorar a cada dia.

As minhas amigas da UERJ, Ana Caroline e Marina, pois, é muito bom contar com amizade de vocês.

Aos meus amigos do IFRJ, Margareth, Fábio, Poncio, obrigada pela amizade e incentivo de sempre.

Ao meu orientador Angel Ramon Sanchez Delgado por aceitar ao trabalho de parceria e orientação, pelo apoio, sugestões e críticas na elaboração desta Tese.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Ciência Tecnologia e Inovação em Agropecuária, pela qualidade das aulas e a oportunidade de aprender mais, em especial, agradeço a professora Lúcia Helena Cunha dos Anjos, sempre solícita, agradeço pelas sugestões, pelas aulas de Seminário II.

À secretaria do Programa de Pós-graduação em Ciência Tecnologia e Inovação em Agropecuária Renata Gomes, pela atenção e disponibilidade de sempre ajudar.

Ao professor do DEMAT, Sergio Drumond Ventura, pela sua colaboração nesta Tese.

Ao professor do DEMAT Carlos Reyna Veratudela, pelas disciplinas oferecidas.

Aos professores Cezar Augusto Miranda Guedes, Marcelo Dib Cruz e Nivaldo Schultz pelas sugestões no momento do Exame de Qualificação.

A todos meu muito obrigada!

Por isso vos digo: Não andeis cuidadosos quanto à vossa vida, pelo que haveis de comer ou pelo que haveis de beber; nem quanto ao vosso corpo, pelo que haveis de vestir. Não é a vida mais do que o mantimento, e o corpo mais do que o vestuário?

Olhai para as aves do céu, que nem semeiam, nem ceifam, nem ajuntam em celeiros; e vosso Pai celestial as alimenta. Não tendes vós muito mais valor do que elas?

E qual de vós poderá, com todos os seus cuidados, acrescentar um côvado à sua estatura?

E, quanto ao vestuário, por que andais solícitos? Olhai para os lírios do campo, como eles crescem; não trabalham nem fiam;

E eu vos digo que nem mesmo Salomão, em toda a sua glória, se vestiu como qualquer deles.

Bíblia Sagrada - Mateus 6:25-29

BIOGRAFIA

Deumara Galdino de Oliveira nasceu na cidade do Rio de Janeiro, em 1 de agosto de 1982. Filha de Maria do Carmo Galdino de Oliveira e Deusellino de Oliveira. Em 2004, formou-se em Licenciatura em Matemática pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Kursou a Especialização em Docência do Ensino Superior pela Universidade Candido Mendes (UCAM). Concluiu em 2010 o Mestrado em Estudos Populacionais e Pesquisas Sociais pela Escola Nacional de Ciências Estatísticas (ENCE). Trabalha como docente no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ). Ingressou em março de 2013, no doutorado do Programa de Pós-graduação em Ciência, Tecnologia e Inovação em Agropecuária, criado em associação entre a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) e a Universidade Nacional de Rio Cuarto (UNRC), na linha de pesquisa Agromatemática.

RESUMO

OLIVEIRA, Deumara Galdino de. **O planejamento das rotações de culturas agrícolas e trânsito animal utilizando programação inteira binária**. 2016. 54f. Tese. (Doutorado em Ciência, Tecnologia e Inovação em Agropecuária). Pró-reitoria de Pesquisa e Pós graduação, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2016.

A sustentabilidade na agropecuária pode ser prejudicada pelo manejo inadequado como a prática da monocultura ou pela degradação das pastagens. Em ambas situações, a produtividade cai. Em contrapartida, o sistema de produção baseado na adoção da Integração Lavoura-Pecuária (ILP) apresenta diversos benefícios, tais como: a produção diversificada de alimentos, a melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo, o aumento da estabilidade da produção, a reposição de matéria orgânica, a redução de custos da atividade agrícola em virtude da otimização do uso dos insumos, controle de plantas daninhas, pragas e doenças. Observa-se a necessidade de um planejamento das ações a serem implementadas na adoção desse manejo, pois esse sistema de produção baseado na ILP é complexo, a fim de que o produtor obtenha êxito em sua condução. O objetivo da tese é desenvolver e implementar um modelo de programação linear (PL) que forneça como resultado um cronograma com a melhor seleção de cultivos em cada gleba por período e com o maior ganho de peso de cada animal. Assim como nas outras áreas, a PL na agropecuária visa obter uma solução que apresente a melhor eficiência no uso dos recursos, uma vez que os mesmos estão cada vez mais escassos. Dessa forma, é relevante a busca por soluções que forneçam como resultado a combinação ideal entre os mesmos que conduza a melhores desempenhos na agropecuária, gerando maior produtividade e rentabilidade. O modelo de programação linear foi desenvolvido a partir do trabalho empírico realizado por Alvarenga e Neto (2008) implantado na Embrapa Milho e Sorgo (Sete Lagoas, MG) em uma área de 24 hectares. Para a implementação computacional do modelo são necessários os dados sobre aptidão agrícola e ganho de peso do animal em cada período e em cada gleba. A fim de testar o modelo matemático desenvolvido, gerou-se valores para aptidão agrícola e para o peso ganho pelo animal de forma aleatória utilizando o solver do MATLAB 7.4. Com isso, pode-se realizar a implementação computacional do modelo de programação linear no MATLAB. Foram realizados dois ensaios numéricos, o primeiro considerando quatro períodos, quatro glebas e trânsito de dois animais e o segundo com dez períodos, quatro glebas e trânsito de três animais. Os resultados mostram que o modelo de programação linear é compatível com o trabalho empírico realizado por Alvarenga e Neto (2008). O modelo de programação linear satisfaz todas as restrições impostas, maximiza o ganho de peso de cada animal e fornece a melhor seleção de cultivos.

Palavras-chave: Integração Lavoura-Pecuária. Rotação de culturas agrícolas. Planejamento. Sustentabilidade.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Deumara Galdino de. **Planning rotations of agricultural crops and animal traffic using integer programming binary**. 2016. 54p. Thesis. (Doctorate in Science, Technology and Innovation in Agriculture). Pró-reitoria de Pesquisa e Pós graduação, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2016.

The sustainability in agriculture can be hampered by inadequate management, such as in the practice of monocultures, or by degradation of pastures. In both situations, the productivity drops. In contrast, the production system based on the adoption of Crop-Livestock Integration rotation of crops has many benefits, such as the diversified food production, improvement of the physical, chemical and biological soil properties, increased stability production, replenishment of organic matter, reducing costs of agricultural activity due to the optimization of the use of inputs, control weeds, pests and diseases. It is noted the need for planning actions that have to be implemented in the adoption of this management, because the system of production based on the ILP is complex, in order for the farmer to obtain success. The objective of this thesis is to develop and to implement a linear programming model (PL) that will provide as a result a schedule with the best selection of crops in each glebe per period and with the greatest weight gain of each animal. As well as in other areas, the PL in agriculture aims to obtain a solution that provides the best efficiency in the use of resources, since they are increasingly scarce. Thus, it is important to search for solutions that provide as a result the ideal combination between them and that will lead to better performances in agriculture, generating higher productivity and profitability. The linear programming model was developed from empirical work conducted by Alvarenga and Neto (2008) at Embrapa Maize and Sorghum research center (Sete Lagoas, MG) in an area of 24 hectares. For the implementation of the computational model data on agricultural suitability and weight gain of the animal in each period and in each glebe were needed. In order to test the mathematical model developed, values for agricultural suitability and of weight gain of animal were generated at random using the solver of MATLAB 7.4. With this, it was possible to perform the implementation of the computational linear programming model in MATLAB. There were conducted two trials; the first considering four periods, four tracts and transit of two animals, and the second with ten periods, four tracts and transit of three animals. The results show that the linear programming model is consistent with the empirical work conducted by Alvarenga and Neto (2008). The linear programming model satisfies all the restrictions imposed, maximizes the weight gain of each animal and provides the best selection of crops.

Keywords: Crop-livestock integration. Crop rotation. Planning. Sustainability.

RESUMEN AMPLIADO

OLIVEIRA, Deumara Galdino de. **Planificación de rotaciones de cultivos agrícolas e animal tráfico uso de programación entera binaria**. 2016.54f. Tesis. (Doctorado en Ciencia, Tecnología e Innovación en la Agricultura). Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-graduação, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2016.

1. Introducción

En el Brasil se estima que el crecimiento de la demanda por alimentos conduzca a la necesidad de duplicar la producción de leche y carne hasta el 2050, debido al aumento de la población y también del poder económico. Ese escenario tiene como consecuencia un aumento de presión sobre los sistemas de producción (FERREIRA, MAURICIO, MADUREIRA, 2010). Ahora, el aumento de la producción puede ser obtenida a través de la intensificación de los sistemas de producción o por la abertura de nuevas fronteras agrícolas (Pires *et al.*, 2010). La intensificación de los sistemas de producción no es tarea simple de ser realizada debido a la alta degradación de los pastajes y al costo para su recuperación y elevación. Además, se puede observar la existencia de prácticas agrícolas inadecuadas. Esta situación tiene como consecuencia pérdida de productividad.

La práctica de la monocultura a lo largo de los años, ha hecho con que el rendimiento obtenido por la actividad disminuya, en vista de que la productividad cae gradualmente. Más aún, se puede observar una incidencia mayor de dolencias, plagas y plantas dañinas, así como la degradación física, química y biológica del suelo (KLUTHCOUSKI *et al.*, 2015). En contra partida, el sistema de producción basado en la adopción de la integración plantación-pecuaria con rotación de culturas agrícolas presenta diversos beneficios, tales como: producción diversificada de alimentos, mejorías en las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo, aumento de la estabilidad de la producción, reposición de la materia orgánica, reducción de los costos agrícolas, considerando la optimización del uso de insumos, control de plantas dañinas, plagas e dolencias (SALTON *et al.*, 2015).

El siguiente estudio tiene como objetivo analizar la sustentabilidad de la agropecuaria y como la integración plantación-pecuaria se insiere en ese contexto. Además de eso, se tiene como objetivo el desenvolvimiento de un modelo de programación entera binaria (PEB) que simula la rotación de culturas agrícolas y el transito animal en un sistema plantación-pecuaria. El modelo de PEB fue desarrollado utilizando el solver de MATLAB 7.4 y al final se obtiene un cronograma óptimo para el desenvolvimiento de las actividades. El modelo matemático fue construido teniendo como base el trabajo empírico realizado por Alvarenga y Neto (2008) en Embrapa Milho e Sorgo (Sete Lagoas, MG) y en un área de 24 hectáreas. Para la aplicación del modelo computacional son necesarios datos sobre aptitud agrícola y el aumento de peso del animal en cada período y en cada suelo. A fin de poner a prueba el modelo matemático desarrollado, provocó valores de aptitud agrícola y a la ganancia de peso de los animales al azar utilizando el solver de MATLAB 7.4. Con esto, puede realizar la aplicación del modelo de programación lineal computacional en MATLAB. Se realizaron dos ensayos de números, los primeros cuatro períodos, considerando cuatro extensiones y tránsito de dos animales y el segundo con diez períodos, cuatro extensiones y el tránsito de tres animales. Los resultados muestran que el modelo de programación lineal es coherente con el trabajo empírico realizado por Alvarenga y Neto (2008). El modelo de programación lineal satisface todas las restricciones impuestas, maximiza la ganancia de peso de cada animal y ofrece la mejor selección de cultivos.

2. Material y Métodos

2.1 Rotación de culturas

Para ejecutar una modelaje matemática y la implantación computacional del planeamiento rotacional y estratégico de cultivos, el sistema de integración lavoura-pecuária implantado por Embrapa Milho y Sorgo (Sete Lagoas, MG) en una área de 24 hectáreas (ALVARENGA, NETO, 2008). Nessa tecnología, o planeación debe ser ejecutado en la función de que como glebas de la tierra que se utilizan en un momento con lavouras y en otro con pastajes.

El beneficio de la alternancia entre las modalidades de usos de la madera es los nutrientes residuales dejados en las parcelas para un pastizal, que pasan por la producción en mayor cantidad y mejor calidad. Estas forrajes promover una reestructuración en el ambiente del suelo, aumentando la teoría de la materia orgánica, o que estimula una mejora de la producción de las plantas que viene a seguir. De esta manera, o producen una producción de granos, carne, leche, fibras o agroenergía y en consecuencia su renta.

De esta manera considera que los cultivos de Soja (S), Pasquier (PG), Milho + Capim (M + C) y Sorgo + Capim (S + C) en un horizonte de planeamiento predeterminado y determinan un calendario " de las rotaciones de cultivos (consorciadas o no con pasta) a ser desarrollado en cada momento y cada gleba. Suponemos que cada cultivo se desarrolló en una sola y una sola fase de la región. Aquí hay una máxima "adaptación" o peso que se planificó cuando se desarrolló en forma determinada. En general, procuramos un calendario de planes con máximo peso.

Es posible pensar en un análisis físico-químico de un suelo en un entorno determinado, en un enfoque determinado y en un desarrollo de cada cultivo en un determinado período, indicando o porcentual de ventaja que ese cultivo en el tiempo que se desarrolla. En este trabajo, los valores se fijaron de forma aleatoria considerando seis conjuntos de reglas que garanten una sustentación del suelo y de la producción.

En este sentido, desde de la información como el número de lotes, el número de actividades de lavado y el horizonte de planeamiento (períodos), una modelaje matemática y la implementación computacional proporcionan una determinación de un calendario rotacional óptimo de cultivos.

Restricciones para garantizar la rotación de los cultivos

1. Para cada período, el cultivo de una cultura determinada sólo puede desarrollarse en una gleba.

2. Para algunos, esto no puede resultar en el cultivo de la misma cultura en períodos sucesivos.

3. Si durante un cierto período de tiempo, las tierras de pastoreo se mantiene en el suelo, y a continuación en el próximo período, el cultivo de soja se celebrara en esta gleba.

4. Si durante un cierto período de tiempo, el cultivo de la soja es desarrollada en la gleba, a continuación, en el siguiente período, debe desarrollarse el cultivo: maíz + hierba o el cultivo de sorgo + hierba en esta gleba.

5. Si durante un cierto período de tiempo, el cultivo de maíz + hierba es desarrollado en la gleba, a continuación, en el siguiente período debería ser desarrollado el cultivo de pastos o el cultivo de sorgo + hierba en esta gleba.

6. Si durante un cierto período de tiempo, el cultivo de sorgo + hierba es desarrollado en la gleba, a continuación, en el siguiente período debería ser desarrollado el cultivo de pastos o el cultivo de maíz + hierba en esta gleba.

La función objetivo para la rotación de cultivos es maximizar la suma de todos los pesos en que el cultivo está desarrollado, elegir a través de toda la programación, los mayores valores de p, de tal forma que se cumplan las restricciones.

2.2 Animal tráfico

La rotación de cultivos / pastos como estrategia agrícola, además de las mejoras en las propiedades del suelo y la reducción de la incidencia de plagas de insectos, enfermedades y malas hierbas, puede beneficiarse de una mejor estabilidad de la producción de forraje para alimentar al rebaño durante todo el año.

El control operativo de movimiento de los animales se centrará en pesos vivos y el número estimado de periodos para el abatimiento de los animales. Además de cumplir con la restricción de la trama que se desarrolla el cultivo de soja no puede tener movimiento de los animales.

Se definen $i = 1, \dots, m$, es $S_i = \{r: PV_{ri} < PVA_{ri}\}$ y $\bar{S}_i = \{r: PV_{ri} << PVA_{ri}\}$

Ambos conjuntos indican los animales con un peso vivo insuficiente para la masacre y extremadamente bajo para la masacre, respectivamente.

Las restricciones al tránsito animal

1. Si en un determinado período de tiempo, el suelo es en la temporada de siembra de maíz + hierba y el animal está vivo con peso insuficiente para su devolución, el animal debe permanecer en la gleba.

2. Si en un determinado período de tiempo, el suelo es en la temporada de siembra de sorgo + hierba y el animal está vivo con peso insuficiente para su devolución, el animal debe permanecer en la gleba.

3. Si en un determinado período de tiempo, el suelo se encuentra en la siembra de pastos y el animal está vivo con peso extremadamente bajo para su devolución, el animal debe permanecer en la gleba.

4. En el período en el que la siembra de soja se lleva a cabo en la tierra, el ganado no puede ser encontrado en la gleba.

La función objetivo para el tránsito animal es maximizar la suma de la ganancia de peso de los animales, obedeciendo a las restricciones. El modelo matemático se construyó desde los otros dos modelos presentados para la rotación de los cultivos y el tráfico de animales, a través de la suma de las respectivas funciones objetivos, combinando las limitaciones de ambos modelos. Con esto, garantizamos la rotación de cultivos y también las cuestiones relativas al tránsito a través de la restricción.

3. Resultados y Discusión

3.1 Resultados para el modelo con las variables durante cuatro períodos, cuatro parcelas y el tráfico de dos animales

Los resultados obtenidos para los cuatro períodos (Tabla 1) se muestran cuatro parcelas, dos bueyes y cuatro plantaciones (en colaboración con la hierba no). En esta tabla, se puede observar que se cumplan e indican que en cada período, cada cultivo se desarrolla en una y sólo una parcela de las restricciones de la CP. Además, no se siembra se realiza durante dos periodos consecutivos; es decir, las restricciones a la ecuación de PB están satisfechos con él, se asegura la rotación de cultivos, junto con el ciclo de los nutrientes.

Tenga en cuenta que a medida que las restricciones de demanda PB para cada parcela; en el período de siembra se desarrolla pastos, semillas de soja de siembra a continuación se desarrollará el próximo período, que no contribuye a la no-degradación de los pastizales. Este hecho favorece la reducción de costes, ya que los gastos para su renovación o rehabilitación de pastizales degradadas es bastante alto.

El cultivo de soja también para cada parcela, en un período determinado se desarrolla, el cultivo entonces el próximo período debe desarrollarse: el maíz + hierba (véase el gráfico 1, parcela 2 de parcela y 3). Por otro lado, en un período se desarrolla el cultivo de maíz + hierba, entonces el siguiente período se desarrolla el cultivo de sorgo + hierba (ver trama 1, la

trama 3 y 4 parcela). Tenga en cuenta lo siguiente: pastizales, soja, maíz + hierba; Está presente en las parcelas 1 y 2.

Debe tenerse en cuenta que el símbolo * indica que el animal ha alcanzado el peso necesario para su abatimiento. En cuanto a los "pesos" y, como se ha dicho, es posible establecer unos criterios fisiológicos, sobre la base de la adaptación y desarrollo de cada cultivo en una parcela particular y determinado período, de los cuales, los valores asociados podados entre cero y uno en la agricultura, indicando el porcentaje de ventaja de que este cultivo tiene en relación a otros cultivos, cuando se desarrolla en esta parcela y este período.

Tabla 1: Un gran sistema de rotación de las plantaciones de $k = 0$ (pastizales), $k = 1$ (soja), $k = 2$ (maíz + hierba), $k = 3$ (sorgo + hierba) durante cuatro períodos, cuatro parcelas y gran tránsito calendario 2-animal (b_1 y b_2).

	Gleba 1	Gleba 2	Gleba 3	Gleba 4
Período 1	Pastizales b_1 - b_2	Sorgo + Hierba b_1 - b_2	Soja *-*	Maíz + Hierba b_1 - b_2
Período 2	Soja *-*	Pastizales b_1 - b_2	Maíz + Hierba b_1 - b_2	Sorgo + Hierba b_1 - b_2
Período 3	Maíz + Hierba *- b_2	Soja *-*	Sorgo + Hierba *- b_2	Pastizales *- b_2
Período 4	Sorgo + Hierba *- b_2	Maíz + Hierba *- b_2	Pastizales *- b_2	Soja *-*

La Tabla 2 muestra que los animales deberán peso vivo bajo peso para su abatimiento; el valor de uno (1) indica que el animal tiene peso vivo bajo peso para su reembolso y cero (0) indica que el animal alcance el peso para su reembolso.

Puede verse que los animales tienen pesos con bajo peso para su reducción tanto en el primero y el segundo período. En el tercer período, la primera dirección (b_1) alcanza el peso se hace baja, sin embargo dirigir el segundo (b_2) puede ser suministrada durante el tercer y cuarto periodo; la primera, tercera y cuarta parcelas y primera, segunda y tercera parcelas respectivamente.

En la programación óptima para el tráfico de animales, se puede observar que en el primer periodo se recomienda que tanto el ganado (B_1 y B_2) son alimentados en todas las parcelas; excepto en Glebe 3, que debería ser la cosecha de soja y por lo tanto no se permite la estancia de los animales, como la restricción del modelo de programación entera binaria.

Tabla 2: Indicadores de animales que tienen peso vivo bajo peso para su reembolso, por un valor uno si el animal pertenece a S_i y cero en otro caso ($m = 4$ y $p = 2$).

S_i	b_1	b_2
Período 1	1	1
Período 2	1	1
Período 3	0	1
Período 4	0	1

La Tabla 3 muestra los animales que tienen peso vivo muy bajo peso para su abatimiento; el valor de uno (1) indica que el animal tiene peso vivo bajo peso para su reembolso y cero (0) indica que el animal alcance el peso para su reembolso.

Tener en cuenta que tanto los animales tienen un peso muy bajo peso para su reembolso. Además, en el segundo período, tanto los animales deben ser alimentados en parcelas de 2,3 y 4, en vista de sus pesos corporales quedan muy por debajo de la reducción de peso.

Tabla 3: Indicadores de animales que tienen peso vivo muy bajo peso para su reembolso, por un valor uno si el animal pertenece a \bar{S}_i y cero en caso contrario ($m = 4$ y $p = 2$).

\bar{S}_i	b1	b2
Período 1	1	1
Período 2	1	1
Período 3	0	1
Período 4	0	1

Por lo tanto, los resultados de la primera prueba realizada numérica considerarán un total de cuatro veces cuatro parcelas, dos animales (b1, b2) muestran la validez del modelo para cumplir con todas las restricciones impuestas.

4. Conclusiones

Presentamos un programa binario (PB) que simula la rotación de cultivos y animales de movimiento, cuya solución es un gran calendario de cultivos considerados en la tecnología de integración cultivos-ganadería desarrollada en Embrapa - El maíz y el sorgo (Sete Lagoas, Minas Gerais), en una 24 hectáreas; así como la simulación de un tránsito de animales al azar.

Tenga en cuenta que el modelo matemático se produce a partir de datos aleatorios de aptitud agrícola (p_{ijk}) y la ganancia de peso vivo por animales (g_{ijr}) (véase el Apéndice B) para cada período en cada parcela, creando, de este modo, los horarios presentados en las Tablas 4.1 y 4.4. Por lo tanto, el resultado depende de estos parámetros, es decir, diferentes valores de estos pesos (p_{ijk}) y la ganancia de peso del animal (g_{ijr}) producen una programación diferente de los presentados en las Tablas 4.1 y 4.4.

Por lo tanto, se sugiere para profundizar los estudios sobre la construcción de un indicador de la capacidad agrícola para reflejar las variables de interés para el productor, de modo que tiene éxito en la evaluación de las parcelas relativos a los cultivos a desarrollar.

Una característica de la PB tiene, en general, las múltiples soluciones que pueden aparecer; entre otras posibilidades, donde se puede "girar" la programación de las parcelas n a "delante" o "atrás" en el tiempo. En ambos ensayos numéricos se consideró un número igual al número de los cultivos de parcelas; pero se puede considerar un número de parcelas mayores que el número de cultivos como se indica por la restricción (2) el modelo.

La rotación entre las culturas es el más recomendado en las parcelas generadas al azar, y esto es consistente con los resultados experimentales obtenidos en la Embrapa Milho e Sorgo (Sete Lagoas, MG). Dessa forma, o modelo matemático apresentado utilizando programação binária é compatível com o trabalho empírico realizado por Alvarenga e Neto (2008) implantado na Embrapa Milho e Sorgo (Sete Lagoas, MG) em uma área de 24 hectares

Crecimiento de la producción y la reflexión sobre las prácticas agrícolas son algunos de los desafíos de la agricultura moderna y para cumplir con estos intereses, la intensificación del uso de la tierra y el aumento de los sistemas de producción se requiere eficiencia (Vilela; Marha JR; Marchao 2012). De acordó con Fernandes et al. (2010), " O desafio da agropecuária é desenvolver novas tecnologias visando a produção sustentável."

Por lo tanto, a partir de los resultados, se observó que era posible construir un modelo matemático que cumpla con las limitaciones de la rotación de cultivos, orientado a la utilización eficiente de los recursos y, por lo tanto, el productor puede demostrar la viabilidad técnica de la adopción ILP en su propiedad.

Palabras clave: Integración de cultivos y ganadería. La rotación de cultivos. La planificación. La sostenibilidad.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1 Agropecuária no Brasil	2
2.2 Desafios para Alcançar uma Agricultura Sustentável	3
2.3 Integração Lavoura-Pecuária	5
2.4 Importância da Rotação de Culturas	7
2.5 Planejamento para Adoção da Integração Lavoura-Pecuária	9
2.6 Benefícios da Adoção da Integração Lavoura-Pecuária	11
2.7 Programação Linear	12
2.8 Programação Inteira	14
3 MATERIAL E MÉTODOS	15
3.1 Rotação de Culturas	15
3.2 Trânsito Animal	17
3.3 Modelo de Programação Binária Associado ao Problema de Rotação de Culturas Agrícolas e Trânsito Animal em um Sistema ILP	18
3.4 Simulação.....	19
3.5 Modelo com os Parâmetros para Quatro Períodos, Quatro Glebas e Trânsito de Dois Animais	19
3.6 Modelo com os Parâmetros para Dez Períodos, Quatro Glebas e Trânsito de Três Animais	21
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
4.1 Valores Gerados Aleatoriamente do Modelo Matemático para Quatro Períodos, Quatro Glebas e Trânsito de Dois Animais	25
4.2 Resultados para o Modelo com as Variáveis para Quatro Períodos, Quatro Glebas e Trânsito de Dois Animais	26
4.3 Valores Gerados Aleatoriamente do Modelo Matemático para Dez Períodos, Quatro Glebas e Trânsito de Três Animais	28
4.4 Resultados para o Modelo com as Variáveis para Dez Períodos, Quatro Glebas e Trânsito de Três Animais	30
5 CONCLUSÕES.....	34
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	35
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37
8 ANEXOS.....	45

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, estima-se que o crescimento da demanda por alimentos conduza a necessidade de dobrar a produção de leite e carne até 2050, devido ao aumento populacional e também do poder econômico. Esse cenário tem como consequência o aumento da pressão sobre os sistemas de produção (FERREIRA, MAURICIO, MADUREIRA, 2010). E o aumento da produção pode ser obtido por meio da intensificação dos sistemas de produção ou pela abertura de novas fronteiras agrícolas (PIRES et al., 2010).

A intensificação dos sistemas de produção não é tarefa simples de ser realizada, uma vez que se observa as pastagens com algum estágio de degradação e o custo para a sua recuperação é elevado (BRAZ et al., 2012). Além disso, observa-se a existência de práticas agrícolas inadequadas. Tal situação tem como consequência a perda de produtividade.

Dentre as práticas agrícolas inadequadas pode-se citar a prática da monocultura que ao longo dos anos, acarreta uma incidência maior de doenças, pragas e plantas daninhas e também a degradação física, química e biológica do solo (KLUTHCOUSKI et al., 2015). Tal situação faz com que o rendimento obtido pela atividade diminua, visto que a produtividade cai gradativamente.

Diante disso, a sustentabilidade na agropecuária é afetada de forma negativa pelo manejo tradicional do solo na agricultura e pela degradação das pastagens. Para minimizar a queda da produtividade faz-se necessário aumentar os investimentos no setor para recuperar as pastagens degradadas, recuperar solos erodidos, tornando esse sistema insustentável. Daí a necessidade de investir na conservação do solo (BALBINO et al., 2011; MACEDO, 2009; SILVA et al., 2012; TELLES et al., 2011).

Na busca por alternativas de sistemas de produção baseados na sustentabilidade aparece o sistema de produção Integração Lavoura-Pecuária (ILP). Esse sistema de produção apresenta diversos benefícios, tais como: a produção diversificada de alimentos, a melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo, o aumento da estabilidade da produção, a reposição de matéria orgânica, a redução de custos da atividade agrícola em virtude da otimização do uso dos insumos, controle de plantas daninhas, pragas e doenças (SALTON et al., 2015).

Como a adoção da Integração Lavoura-Pecuária é complexa, observa-se a necessidade de um planejamento de ações a serem implementadas na adoção desse manejo a fim de que o produtor obtenha êxito em sua condução. Com os avanços tecnológicos como a agricultura de precisão, sistemas de manejo de solo, melhoramento genético, é possível elevar a produção e diminuir os impactos ao meio ambiente (SANTOS; VIEIRA FILHO, 2016). Cabe ainda ressaltar que a importância da assistência técnica compreende identificar as condições das terras, realizando as correções químicas e físicas do solo, a escolha das culturas, dentre outras etapas (ALVARENGA et al., 2010).

Esse estudo tem como objetivo analisar a sustentabilidade na agropecuária e como a Integração Lavoura-Pecuária se insere nesse contexto. Além disso, tem-se como objetivo o desenvolvimento de um modelo de programação binária que simula a rotação de culturas agrícolas e o trânsito animal em um sistema integrado lavoura-pecuária. Tendo como resultado um cronograma para o desenvolvimento das atividades. Esse modelo matemático foi desenvolvido tendo como base o trabalho empírico realizado por Alvarenga e Neto (2008) implantado na Embrapa Milho e Sorgo (Sete Lagoas, MG) em uma área de 24 hectares. Portanto, tem-se que o resultado do modelo matemático apresentado utilizando programação binária é compatível com o trabalho empírico realizado por Alvarenga e Neto (2008).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Agropecuária no Brasil

O Brasil possui a maior área agricultável disponível do mundo. Saiu da condição de importador para tornar-se um dos maiores fornecedores mundiais de alimentos. Os investimentos em ciência e tecnologia possibilitam a implementação de técnicas visando menor impacto ambiental na agropecuária (MAMEDE et al., 2012).

A agropecuária tem participação significativa na economia brasileira. De acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), a participação do agronegócio no PIB (Produto Interno Bruto) brasileiro ultrapassa 22%. E essa participação do setor no PIB pode aumentar devido às projeções que indicam o aumento na produção de grãos. Daí a importância desse setor para o país.

Embora, a agricultura esteja com previsões de aumento na produção de grãos, o setor gera incertezas no que tange a sustentabilidade. Assad e Almeida (2004) analisaram a sustentabilidade na agricultura e afirmaram que algumas práticas com menos impactos ambientais podem ser observadas, entretanto as mesmas não estão associadas à sustentabilidade social e podem esbarrar muitas vezes em interesses econômicos distintos. Dessa forma, a sustentabilidade deve ser compreendida por meio de três dimensões fundamentais: a dimensão social, a dimensão econômica e a dimensão ambiental. E o atendimento as exigências específicas de cada um desses pilares que possibilita tornar uma prática mais sustentável.

A agricultura moderna tem diversos desafios: por um lado, tem-se que produzir mais a fim de garantir alimento para a população que aumenta a cada ano, ou seja, promover a segurança alimentar, por outro lado, torna-se extremamente necessário refletir acerca das práticas agrícolas adotadas com o objetivo de reduzir os impactos causados ao meio ambiente pelo uso de defensivos e promover a mitigação da emissão de gases de efeito estufa (GEE) (VILELA; MARHA JR; MARCHÃO, 2012). Adicionado a isso, observa-se que é cada vez maior a utilização de insumos para produzir, o que pode ser reflexo do empobrecimento em relação aos nutrientes do solo. De acordo com Loss (2011), em relação à qualidade do solo, o grande desafio reside no planejamento de agrossistemas complexos que estejam baseados na diversificação de culturas agrícolas.

Na pecuária observa-se que as pastagens estão com algum grau de degradação, e em decorrência disso, a produtividade cai. Para minimizar a queda da produtividade faz-se necessário aumentar os investimentos no setor para recuperar as pastagens degradadas, o que torna esse sistema insustentável. Dessa forma, é relevante a busca por alternativas que reduzam tanto o uso de insumos devido à escassez dos mesmos, como também a utilização de defensivos agrícolas que causam grandes danos ao meio ambiente, tais como a contaminação do solo e da água.

No Brasil, a diminuição da diversidade de atividades, o uso de defensivos que poluem o solo, o desgaste do mesmo por processos erosivos e a contaminação dos recursos hídricos, dentre outros, são apontados como os desafios da agropecuária na atualidade (ALMEIDA, 2005 e ANGHINONI et al., 2011). Esse manejo inadequado do solo, ao longo dos anos, pode ocasionar a diminuição da produtividade agrícola e, em decorrência disso, tem-se uma queda na rentabilidade do produtor (MACEDO e ARAÚJO, 2012).

A importância de encontrar meios adequados para que se tenha produtividade na agropecuária de forma rentável e sustentável é justificada não só do ponto de vista em relação

ao meio ambiente, como também manter os recursos para as gerações futuras. Desse modo, torna-se necessária a busca cada vez maior por alternativas que conduzam a práticas agrícolas realizadas com segurança de forma a garantir a produtividade presente e futura, e tais práticas devem ser combinada com reduzido impacto ambiental (NETTO; KATO; GOEDERT, 2009). O manejo adequado promove o aumento do resgate dos Gases de Efeito Estufa (GEE), tão nocivos ao meio ambiente (CARVALHO et al., 2010). Além disso, a conservação da cobertura vegetal contribui de forma eficaz para a sustentabilidade das atividades (BORGES et al., 2014).

De forma mais ampla, pode-se dizer que:

Para se garantir a sustentabilidade futura da atividade produtiva será, portanto, necessário que se invista em conhecimento científico e tecnológico que permita desenvolver sistemas de produção inovadores, voltados para o aumento da produtividade dos recursos naturais e serviços ambientais utilizados pelo agronegócio (LOPES, 2007).

A Integração Lavoura-Pecuária (ILP) é um sistema de produção que possui vantagens como a produção diversificada de alimentos, a melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo, o aumento da estabilidade da produção, a reposição de matéria orgânica, a produção de pasto, a redução de custos da atividade agrícola e da pecuária, em virtude da otimização do uso dos insumos; controle de plantas daninhas, pragas e doenças (ALVARENGA et al., 2006, FRANCHINI et al., 2011, SANTOS et al., 2007, SILVEIRA; STONE, 2003; VILELA; BARCELLOS; SOUSA, 2001). Segundo Balbinot Junior (2009), a sustentabilidade da ILP é consequência da relação estabelecida entre fatores biológicos, econômicos e sociais.

Nesse contexto da busca pelo aumento da produtividade de forma sustentável é que a Integração Lavoura-Pecuária ganha ainda mais força em virtude de a mesma proporcionar o melhor aproveitamento do solo para as atividades agrícola e pecuária, desenvolvidas no mesmo espaço, assegurando sua viabilidade econômica (BARBIERI et al., 2013; COBUCCI et al., 2007, SOUZA et al., 2012). Tal aproveitamento pode ser obtido por meio do manejo dessas atividades em consórcio, sucessão ou até mesmo rotação.

Cabe ressaltar que, no período da entressafra, os produtos agrícolas que não foram colhidos podem ser utilizados na alimentação dos animais, ou seja, integrando a pecuária. Esse procedimento além de fornecer alimentação aos animais, ainda contribui para conservação do solo (GUIMARÃES; OLIVEIRA; YOKOYAMA, 2003). Dessa forma, com o manejo adequado da agrobiodiversidade tem-se como consequência a redução de custos da atividade (SAMBUICHI, 2014).

2.2 Desafios para Alcançar uma Agricultura Sustentável

De acordo com Assmann, Soares e Assmann (2008), “A agricultura sustentável pode ser definida, então, como uma agricultura economicamente viável, ecologicamente sã, socialmente justa e que visa a satisfazer às necessidades humanas sem destruir os recursos naturais.” Portanto, os desafios para alcançar uma agricultura sustentável compreendem o planejamento das práticas agrícolas e pecuárias no que tange aos aspectos econômicos, sociais e ambientais, de modo a garantir a continuidade da atividade sem perdas em nenhum desses aspectos (KICHEL et al., 2012).

Revisões conceituais devem ser consideradas. A sociedade e o mercado sinalizam para além e acima da qualidade, da produtividade, da competitividade, quando não exigem que a sustentabilidade social/econômica/ambiental seja o novo parâmetro para avaliação de produtos e serviços, sob pena de rejeitá-los ou desvalorizá-los. Esse é o novo paradigma. (ROMANO, 2010).

O desafio econômico consiste na adoção de técnicas que combinem a redução de prejuízos com produtividade que garanta a qualidade do produto e sua rentabilidade, ou seja, a atividade deve ser economicamente viável, pois caso contrário o produtor não conseguirá manter a mesma na propriedade (Assad e Almeida, 2004). Sobre a viabilidade econômica, Cobucci et al. (2007) afirmam que a ILP possui tal característica em **virtude da otimização dos insumos agropecuários**. Franchini et al. (2011) alegam que a partir da adoção da rotação de culturas tem-se a racionalização dos insumos utilizados para atividade agrícola e, em decorrência disso, tem-se a redução dos custos de produção.

O desafio ambiental versa a respeito da opção por culturas que não necessitem de muitos insumos e recursos naturais a fim de causar menores danos ao meio ambiente e, com isso, assegurar a permanência da atividade (Assad e Almeida, 2004). A busca por alternativas ao uso de agrotóxicos aponta em direção a rotação de culturas como manejo adequado a fim de reduzir os impactos ao meio ambiente, pois nessa prática observa-se uma redução na incidência de plantas daninhas, pragas e doenças. Para Macedo (2009), são necessários mais estudos a respeito da contabilidade ambiental na ILP, pois com a adoção da mesma na recuperação de pastagens degradadas não haveria a necessidade de novos desmatamentos.

O desafio social estaria ligado à fixação do homem no campo com condições de trabalho e renda adequadas. Além disso, o desafio social passa pela garantia da segurança alimentar, por meio da agricultura e contempla a reforma agrária e novas formas de produção (Assad e Almeida, 2004). A rotação de culturas propicia a estabilidade da produção e, com isso, o produtor tem maior segurança em relação a sua renda oriunda da atividade agrícola. Cobucci et al. (2007) relatam que a ILP pode ser empregada por qualquer produtor e a mesma proporciona uma distribuição mais igualitária da renda.

Segundo Assad e Almeida (2004), os desafios para alcançar uma agricultura sustentável ainda compreendem mais dois aspectos: o territorial e o tecnológico. O desafio territorial se refere à capacidade de desenvolver na mesma área diversas atividades. Por isso, a ILP tem papel fundamental no cumprimento desse desafio, pois diversifica as atividades desenvolvidas no mesmo espaço. Já o desafio tecnológico, está relacionado à busca por tecnologias para as práticas agrícolas com menos impactos ao meio ambiente.

Portanto, a proposta da adoção do sistema ILP, considerando o potencial de cada região, apoio técnico e financeiro, fundamenta-se no cumprimento desses desafios, promovendo, com isso, o desenvolvimento sustentável. Além disso, a adoção da Integração Lavoura-Pecuária favorece a recuperação de pastagens degradadas e os produtos agrícolas que não foram colhidos podem servir de alimento para o gado, o que diminui ainda mais os custos com ração.

As políticas públicas voltadas para a agropecuária devem ser focadas em aspectos econômicos, sociais e ambientais e são essenciais para promover a agricultura sustentável. A viabilidade de determinada atividade agropecuária deve ser avaliada em relação a sua permanência ao longo dos anos, sem perdas na produtividade, sem danos ao meio ambiente e nem mesmo perdas na rentabilidade. Cabe ressaltar que com a adoção da ILP, realizada de

forma planejada e adequada, observa-se que esse manejo atende satisfatoriamente os aspectos envolvidos em sua viabilidade.

2.3 Integração Lavoura-Pecuária

De acordo com Balbinot Junior (2009),

A ILP pode ser definida como um sistema de produção que alterna, na mesma área, o cultivo de pastagens anuais ou perenes, destinadas à produção animal, e culturas destinadas à produção vegetal, sobretudo grãos. É importante considerar nesse conceito que a ILP é considerada como um sistema de produção, em que vários fatores biológicos, econômicos e sociais se inter-relacionam e determinam a sua sustentabilidade.

Dessa maneira, a ILP se caracteriza pela integração entre a lavoura e a pecuária estabelecida de maneira a favorecer ambas as atividades e a continuidade sem prejuízo desse sistema. A inovação dessa técnica reside na associação de conhecimento técnico especializado e na escolha de atividades tanto na agricultura como na pecuária a serem desenvolvidas na área, promovendo geração de renda por meio do aumento da produtividade, condições de trabalho dignas e menor perturbação ao meio ambiente.

Em relação ao surgimento da ILP, segundo a Embrapa, a diversificação de atividades acontecia na Europa desde a Idade Média, onde culturas anuais ou perenes dividiam o espaço com as árvores para diversos fins. Com a introdução da mecanização tal diversificação diminuiu, dando lugar a especialização de cultivos. A partir do cenário de degradação dos solos, buscou-se tecnologias com intuito de reverter esse quadro e aumentar a produtividade de forma sustentável.

De acordo com a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO- Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2010) a Integração Lavoura-Pecuária é praticada a vários anos. No entanto, esse sistema de produção tem sido apontado como uma alternativa diante de questões atuais como: atender de forma sustentável a expansão das necessidades globais de produção, a necessidade de práticas agrícolas que não agredam ao meio ambiente e que possam mitigar os efeitos das mudanças climáticas, dentre outros.

A ILP pode contribuir para a reforma de pastagens, fixação de nitrogênio no solo, fornece alimento para o gado, pois alguns produtos não são colhidos pelas máquinas, dentre outros. Mas, conforme Carvalho (2010), a adoção desse sistema demanda por planejamento, pois requer o uso eficiente do solo e tanto a atividade agrícola como a pecuária se beneficiam dessa integração.

Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), que realiza a Integração Lavoura-Pecuária com a componente florestal, surgiu nas décadas de 60 e 70, período caracterizado pelo manejo inadequado, com foco na diversificação das atividades agropecuárias e na formação de pasto, no Cerrado. Esse manejo inadequado resultou na degradação das pastagens, o que gerou a necessidade da recuperação das pastagens. Com isso, os produtores utilizaram as lavouras de arroz e de milho para melhorar as condições do pasto e obtiveram capital na comercialização desses produtos.

A Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) promove a recuperação de áreas de pastagens degradadas agregando, na mesma

propriedade, diferentes sistemas produtivos, como os de grãos, fibras, carne, leite e agroenergia. Busca melhorar a fertilidade do solo com a aplicação de técnicas e sistemas de plantio adequados para a otimização e a intensificação de seu uso. Dessa forma, permite a diversificação das atividades econômicas na propriedade e minimiza os riscos de frustração de renda por eventos climáticos ou por condições de mercado. (MAPA)

O governo brasileiro, para estimular ainda mais a adoção desse manejo lançou, em 30 de abril de 2013, a Política Nacional de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (Lei nº 12.805). Dentre os objetivos dessa política pode-se citar: a recuperação de pastagens degradadas, a melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo e da produtividade. Além disso, essa política visa incentivar à pesquisa, ao desenvolvimento e à inovação tecnológica em relação à ILPF.

A ILPF abrange quatro modalidades de sistemas de produção: Integração Lavoura-Pecuária (sistema agropastoril), Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (sistema agrossilvipastoril), Integração Pecuária-Floresta (sistema silvipastoril) e Integração Lavoura-Floresta (sistema silviagrícola), cujo princípios residem na diversificação de atividades (KLUTHCOUSKI et al, 2015). Portanto a ILP é uma modalidade da ILPF.

A componente florestal da ILPF tem enorme relevância devido à crescente demanda por madeira para diferentes finalidades e também por promover o conforto térmico aos animais por meio do sombreamento (VENTURIN et al., 2010). Cabe ressaltar que para o sucesso da implementação da ILPF é fundamental a disseminação de informações. E o produtor deve ter acesso ao crédito, seguro e assistência técnica. Além disso, uma maneira de estimular ainda mais a adoção desse manejo pode ser por meio do pagamento pelos serviços ambientais prestados.

O Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono) é uma política pública que apresenta o detalhamento das ações de mitigação e adaptação às mudanças do clima para o setor agropecuário, e aponta de que forma o Brasil pretende cumprir os compromissos assumidos de redução de emissão de gases de efeito estufa neste setor. Tais ações compreendem seis programas, a saber: Programa 1: Recuperação de Pastagens Degradadas; Programa 2: Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) e Sistemas Agroflorestais (SAFs); Programa 3: Sistema Plantio Direto (SPD); Programa 4: Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN); Programa 5: Florestas Plantadas; Programa 6: Tratamento de Dejetos Animais; Programa 7: Adaptação às Mudanças Climáticas.

Este Plano é importante parte do compromisso de reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE), assumido pelo Brasil na 15ª Conferência das Partes – COP15, em 2009 em Copenhague. A redução deve ser entre 36,1% e 38,9% as emissões de gases de efeito estufa (GEE) até 2020. Observa-se que o Programa 2 de ações do Plano ABC contempla a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta e está interligado aos demais programas, favorecendo esses outros programas pelos benefícios provenientes da implementação da ILPF.

Portanto, têm aumentado o destaque dos sistemas ILPF no panorama agrícola nacional, tendo sido assunto recente de palestras, seminários, publicações científicas e cursos de capacitação. O número de publicações se elevou bastante e a justificativa para esse fato é a sustentabilidade que esse sistema de produção propicia (CHAVES; FERNANDES; FREITAS, 2009). A disseminação de informações é importante devido à complexidade exigida em sua implementação e desenvolvimento. Cabe destacar que de acordo com Kluthcouski et al. (2015), “Atualmente, o sistema agropastoril ou ILP é a forma mais adotada

nas regiões produtoras brasileiras, possivelmente como forma de intensificar a produção em regiões agrícolas e recuperar áreas com pastagens em alguma fase de degradação”.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) tem papel de destaque nas pesquisas em ILPF, sendo um caso de sucesso em inovação (CRUZ, 2007). A Embrapa, em parceria com o Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária e as instituições de ensino, coordena o Projeto Transferência de Tecnologia em ILPF. Esse projeto visa à transferência de tecnologias e informações a respeito da adoção do sistema ILPF com o objetivo de melhorar a produtividade na agropecuária e recuperar áreas degradadas, em decorrência disso, não haveria a necessidade da abertura de novas fronteiras para as atividades agropecuárias e, com isso, o desmatamento diminuiria.

A pesquisas desenvolvidas pela EMBRAPA são conduzidas nas Unidades de Referência Tecnológica (URT) que são áreas demonstrativas que estão localizadas em propriedades rurais onde atualmente são conduzidos sistemas de produção de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF). Além da demonstração desses sistemas, nessas áreas são realizados trabalhos de pesquisa e validação de tecnologia.

Na Figura 1 é apresentada a distribuição geográfica das Unidades de Referência Tecnológica dos sistemas de produção ILPF no Brasil. Pode-se observar que são sistemas já consolidados em todas as regiões, sendo que a maior parte desses sistemas está localizada na Região Sul, com destaque para os Estados do Rio Grande do Sul e Paraná.



Figura 1 Distribuição das Unidades de Referência Tecnológica (URT)

Fonte: Embrapa

2.4 Importância da Rotação de Culturas

Franchini et al. (2010) descrevem a implementação da Integração Lavoura-Pecuária (ILP) realizado com rotação das culturas da soja, do milho, do sorgo e do arroz no Vale do Rio Xingu. Os autores afirmam que os resultados obtidos até então “(...) indicam que a ILP tem papel importante na intensificação do uso da terra com grande potencial para elevação dos níveis de produtividade das lavouras e da pecuária”. Dessa forma, a adoção da ILP juntamente com a rotação de culturas proporcionou diversos benefícios. Cabe ainda destacar que o Projeto Transferência de Tecnologia em Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), desenvolvido pela Embrapa, possibilitou o monitoramento dos resultados e a disseminação das informações obtidas.

Em outro trabalho Franchini et al (2011), falam acerca da importância da rotação de culturas e dos aspectos necessários à sua implementação:

Os resultados de pesquisa comprovam que a rotação de culturas é uma prática viável para a sustentabilidade da produção agrícola. É preciso que a assistência técnica e os produtores tratem a rotação de culturas como um investimento na propriedade, cujo retorno irá ocorrer a médio e longo prazo (FRANCHINI et al., 2011).

Macedo (2009) destaca o manejo do solo de forma tradicional e a degradação das pastagens como fatores que afetam à sustentabilidade na agropecuária. E Júnior et al. (2006) relacionam a queda de produtividade, a maior incidência de patógenos na agricultura, os desgastes do solo e os impactos ao meio ambiente como resultado da perda da diversidade de culturas, ou seja, a adoção da monocultura como prática agrícola e o manejo inadequado. Os autores ainda asseguram que a adoção da ILP pode solucionar a maioria desses problemas.

Embora tenha muitos benefícios, a adoção do sistema de rotação de culturas não é simples, uma vez que engloba a diversificação de atividades e exige que o produtor tenha conhecimento de cada uma das culturas a serem cultivadas na propriedade. Deste modo, é indispensável que o produtor tenha acesso tanto à assistência técnica especializada como também aos recursos necessários para a produção.

A rotação de culturas agrícolas consiste na adoção, para a mesma área agrícola, de distintos cultivos de espécies vegetais realizados alternadamente no correr do tempo. Com isso, o manejo de cada cultura é feito de modo que terminado seu ciclo, o manejo de uma cultura diferente da primeira é feito. Além disso, cada cultura deve ser escolhida de modo a favorecer a cultura sucessora, seja por deixar algum nutriente ou pelo fato de não ser suscetível às mesmas doenças da cultura anterior.

A prática da monocultura, ao longo dos anos, faz com que o rendimento obtido pela atividade diminua, visto que a produtividade cai gradativamente. Observa-se ainda uma incidência maior de doenças, pragas e plantas daninhas e também a degradação física, química e biológica do solo. Dessa forma, **o produtor tem que investir mais para diminuir esses efeitos negativos decorrentes da prática excessiva da monocultura** (GONÇALVES, 2007).

A incidência de doenças, pragas e plantas daninhas na monocultura tendem a ser maior que no sistema de rotação de culturas agrícolas devido aos agentes propagadores de doenças se tornarem cada vez mais resistentes e, em decorrência disso, tem-se o aumento do uso de produtos químicos para acabarem tais efeitos. Com isso, o custo da atividade se eleva e a rentabilidade da cultura cai ainda mais. Já na rotação de culturas, a escolha de espécies de plantas de famílias diferentes pode propiciar que a cultura sucessora não seja atacada pelos

mesmos patógenos que a anterior, reduzindo assim o uso de produtos no combate a esses patógenos.

Com a adoção do sistema de rotação de culturas os problemas apresentados pelo solo tipicamente da monocultura são amenizados e, em alguns casos, eliminados por meio da diversificação de culturas que não necessitam dos mesmos insumos das culturas anteriores. Além disso, pode-se escolher uma cultura com a finalidade de melhorar as propriedades físicas do solo, ou seja, escolher culturas que deixem massa verde e com raízes profundas (SPERA et al., 2012). As características do solo têm influência significativa no desenvolvimento das culturas. De acordo com Altieri (2004), a adoção da rotação de culturas permite a reciclagem dos nutrientes e também preserva a fertilidade do solo.

Outro aspecto a ser considerado na rotação de culturas agrícolas refere-se a fato de que a mesma não fica tão dependente em relação às oscilações de mercado nem está tão sujeita a crises econômicas como no caso da monocultura, pois caso uma determinada cultura apresente algum tipo de problema e, com isso, não se obtenha a rentabilidade desejada para a mesma, com a rotação de culturas o produtor dispõe de outras atividades que poderão minimizar esses prejuízos. Portanto, o agricultor que utiliza a monocultura fica ainda mais vulnerável a não obter rentabilidade suficiente em sua atividade, pois esta depende de diversos fatores, não só se restringindo ao seu cultivo. Daí a importância da rotação de culturas para a economia do país.

Por outro lado, a rotação de culturas agrícolas realizada de maneira adequada a longo prazo, promove o aumento da produtividade e favorece a redução dos custos de cada cultura. Adicionado a isso, tem-se uma maior estabilidade da produção. O manejo adequado desse sistema de produção envolve o planejamento do uso da terra, pois as culturas que irão ser desenvolvidas e a forma de conduzir tais atividades devem ser pautadas na sustentabilidade (OLIVEIRA NETO; PAIVA, 2010). Em relação ao planejamento, o produtor deve levar em consideração a rentabilidade de cada cultura, a propensão de incidência de doenças, pragas e plantas daninhas e os insumos para o desenvolvimento da mesma.

2.5 Planejamento para Adoção da Integração Lavoura-Pecuária

De acordo com a publicação da FAO (2010), a Integração Lavoura-Pecuária é um sistema de produção que por meio da escolha apropriada de tecnologias voltadas para a diversificação da produção gera benefícios ao grande, médio e pequeno produtor rural. Cada um desses tipos de produtores tem suas limitações à adoção desse manejo. Dentre os desafios dos sistemas de integração pode-se citar: o tradicionalismo e a resistência à adoção de novas tecnologias por parte dos produtores; exigência de maior qualificação e dedicação por parte dos produtores, gestores, técnicos e colaboradores; necessidade de infraestrutura e recursos financeiros; dificuldades para obtenção de maquinários; riscos devido à complexidade do sistema de produção (BALBINO et al., 2012, VILELA et al., 2003).

Para que a adoção do sistema Integração Lavoura-Pecuária obtenha sucesso, isto é, tenha como resultado a redução de custos e o aumento da renda, e ambas as atividades lavoura e pecuária apresentem produtividade, torna-se essencial o planejamento das ações a serem executadas no manejo desse sistema (ALVARENGA et al., 2010). Cabe destacar que a prática da monocultura ao longo dos anos acarreta a perda na qualidade do solo, a perda na produtividade, o aumento no uso de insumos agrícolas, dentre outros (AIDAR; KLUTHCOUSKI, 2003). De acordo com Franchini et al. (2011), esses efeitos negativos podem ser revertidos por meio do planejamento adequado.

O conhecimento produzido evidencia que a repetição, ano após ano, de uma mesma cultura na mesma área, contribui para a diminuição da biodiversidade e, conseqüentemente, estimula os desequilíbrios físicos, químicos e biológicos do solo. O planejamento cultural estratégico na propriedade proporciona o equilíbrio necessário quanto aos aspectos físicos, químicos, biológicos e econômicos dos sistemas de produção (DUARTE JÚNIOR E COELHO, 2010).

Silva et al. (2009), entendem o planejamento como uma ferramenta administrativa, onde passa pela avaliação das possibilidades, elaboração das etapas e os objetivos a serem alcançados são definidos. Na agropecuária, o planejamento deve contemplar a análise não só de aspectos econômicos, sociais e ambientais como também deve analisar os aspectos técnicos e de mercado. De acordo com Salton (2002), a implementação de cada fase presente no planejamento deve visar à eficiência combinada com os conhecimentos e recursos requeridos para o desenvolvimento da atividade.

Segundo Alvarenga et al. (2012), a implementação da ILP é um projeto cujos resultados podem ser observados a longo prazo e o produtor deve ter conhecimento de todos os aspectos envolvidos na adoção desse manejo. Dessa forma, cada etapa do planejamento desse manejo deve ser analisada com responsabilidade. Martha Júnior et al. (2011) afirmam que as diversas demandas da adoção da ILP devem ser atendidas, pois caso contrário, haveria um comprometimento do sucesso desse manejo.

O planejamento da adoção da ILP deve ser feito, pois envolve diversas etapas que devem estar em consonância com os objetivos do produtor e também para que o mesmo tenha sucesso na adoção desse manejo. Essas etapas compreendem a avaliação da aptidão agrícola de cada gleba, a definição dos objetivos, a escolha da rotação de culturas e da cobertura vegetal do solo, a identificação dos insumos necessários às culturas e à pecuária, o estabelecimento do calendário de plantio, a preparação do solo, caso seja necessária, a implementação do manejo, a observação dos resultados alcançados e avaliação dos mesmos.

De acordo com Manzatto (2002), “O uso adequado da terra é o primeiro passo no sentido da preservação do recurso natural solo e da agricultura sustentável”. A avaliação da aptidão agrícola de cada gleba consiste em verificar o potencial agrícola a partir dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, levando em consideração a época de plantio e o clima da região. A adaptação dos cultivos ao tipo de solo também deve ser considerada e o tipo de pecuária a ser desenvolvida.

Os objetivos devem ser definidos para que ao final do processo, o produtor possa avaliar esse manejo. Dentre os objetivos, pode-se destacar a melhoraria na qualidade física, química e biológica do solo, a diminuição do custo devido à otimização do uso dos insumos, controle de plantas daninhas, pragas e doenças, o aumento da produtividade, a produção de pasto e a recuperação de pastagens degradadas.

Na escolha da rotação de culturas deve ser observada a adaptação de cada cultivo ao clima e deve ser feita a seleção de distintas espécies, pois plantas de mesma espécie costumam sofrer dos ataques das mesmas pragas. Assim, para acabar com o ciclo de pragas selecionam-se espécies diferentes, o que reduz consideravelmente o uso de defensivos. Além disso, é necessário identificar como cada cultura beneficia a outra na rotação, pois uma cultura pode favorecer a outra em sucessão por deixar no solo alguns nutrientes necessários ao desenvolvimento da outra.

A cobertura vegetal do solo colabora na conservação do mesmo, fornecendo palhada, importante no combate aos processos erosivos e promovendo a redução na incidência de ervas

daninhas. Nesse sentido, o produtor deve fazer a opção por espécies com elevada produção de biomassa, com maior adaptabilidade às condições da região, alto valor nutritivo e se desenvolvam bem nesse sistema de produção (ASSMANN et al., 2008). Outro aspecto a ser considerado é a opção por cultivos de espécies fixadoras de nitrogênio do ar, o que gera menor uso de insumos como adubos e que possuam raízes bem profundas e abundantes.

A preparação do solo deve ser feita visando às necessidades de cada cultura, corrigindo o solo para o melhor desempenho de cada cultivo. A coleta de amostras e análise química e física do solo ajudam a definir a recomendação adequada de correção e adubação. A sequência do plantio das culturas agrícolas deve ser determinada de modo a favorecer a eficiência da rotação de culturas, minimizando a correção e a adubação.

O estabelecimento do calendário de plantio torna-se fundamental para se alcançar bons resultados nesse sistema. O calendário deve ser fruto de diversas reflexões acerca das características e necessidades da pecuária e de cada cultivo, a época em o que mesmo será realizado, o clima da região, as características do solo e dos resultados esperados. Esses aspectos devem ser analisados e estar em consonância entre si. Após o estabelecimento do calendário de plantio pode ser conduzida a implementação do manejo.

A avaliação dos resultados alcançados permite verificar a eficiência do sistema ILP. Daí a importância de se definir os objetivos anteriormente à implementação desse manejo. Com isso, tem-se maior subsídio para avaliar e fazer ajustes necessários à próxima rotação de culturas, tendo em vista a sustentabilidade desse sistema.

Ao final dessas etapas, o produtor terá condições de perceber tanto a produtividade alcançada como a qualidade do solo. Em suma, como a prática da ILP é complexa, sua adoção necessita que os técnicos e produtores tenham conhecimentos a respeito desse manejo. Desse modo, o agricultor deve instruir-se para que o planejamento da escolha das culturas agrícolas e da pecuária atenda aos objetivos definidos e, com isso, tenha menor risco em sua implantação.

2.6 Benefícios da Adoção da Integração Lavoura-Pecuária

A adoção da Integração Lavoura-Pecuária tem diversos benefícios, dentre os quais: a diversificação da produção, o controle de pragas agrícolas e ervas daninhas, conservação do solo, a melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo, o aumento da estabilidade da produção, o aumento da produtividade e a redução dos custos das atividades agrícola e pecuária, a produção de pasto e a recuperação de pastagens degradadas. Alguns desses benefícios estão interligados entre si.

Com a diversificação da produção tem-se que caso ocorra algum problema relacionado à determinada cultura ou à pecuária, ocasionado um prejuízo, o produtor adotando a rotação de culturas, terá outras culturas para compensar esse prejuízo. Dessa forma, os riscos associados às atividades agrícolas ou pecuárias são minimizados, o produtor fica menos vulnerável e tem maior estabilidade em sua renda (ALVARENGA et al., 2006). Sobre o risco financeiro, Martha Júnior et al. (2011) afirmam que “A Integração Lavoura-Pecuária pode ter efeito favorável sobre a redução do risco de produção e de preço, pela diversificação de atividades. Entretanto, a alta demanda por capital desses sistemas aumenta o risco financeiro do empreendimento”.

De acordo com Macedo (2009), por meio do controle de pragas agrícolas e ervas daninhas, tem-se a redução do uso de defensivos agrícolas que contaminam a água e o solo, prejudicando tanto o meio ambiente como também a saúde. E com a redução do uso de defensivos agrícolas, tem-se, como consequência a redução nos custos. Além disso, o controle de pragas agrícolas e ervas daninhas contribui para a estabilidade da produção.

A conservação e a melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo podem ser obtidas por meio da seleção de plantas que produzam bastante biomassa e que sejam fixadoras de nitrogênio e com raízes profundas e em abundância. Essa combinação resulta na diminuição da erosão do solo e no menor uso de insumos na correção do mesmo e, em decorrência disso, tem-se novamente a redução nos custos (FRANCHINI et al., 2011 e Duarte Júnior e Coelho, 2010).

A escolha adequada dos cultivos na rotação de culturas ainda favorece o aumento da produtividade, que combinado com diversos aspectos que contribuem para a redução dos custos da atividade agrícola, tem-se o aumento da renda do produtor. E, dessa forma, o produtor tem condições de dar continuidade a sua atividade. Assim sendo, a rotação de culturas é extremamente importante para o adequado controle de pragas agrícolas e ervas daninhas e para a estabilidade da produção (GONÇALVES, 2007).

Portanto, os benefícios da adoção da Integração Lavoura-Pecuária são diversos, o que torna fundamental e urgente o incentivo a esse sistema de produção. Além disso, o manejo desse sistema constitui uma oportunidade do ponto de vista econômico, social e ambiental, favorecendo a sustentabilidade.

2.7 Programação Linear

A Programação Linear (PL) é uma ferramenta matemática que possibilita resolver problemas mesmo diante de algumas restrições a respeito de certas variáveis atingindo o objetivo do problema, que pode ser maximizar lucros ou minimizar custos. Esses problemas são denominados Problemas de Programação Linear (PPL). De acordo com Lins e Calôba (2006), “(...) caracteriza-se por utilizar métodos de cálculo baseados na execução repetida de operações relativamente simples, beneficiando-se do advento do computador”.

A formulação de um Problema de Programação Linear consiste em definir todas as variáveis envolvidas na aplicação, quantificar, se possível, a contribuição de cada uma e o objetivo a ser atingido. Com isso, deve-se definir quais atividades que consomem cada recurso (PUCCINI, 1972). Além disso, deve exprimir por meio equações ou inequações as restrições das variáveis, denominadas Restrições do Modelo e estabelecer o objetivo do problema por meio de uma função, denominada Função Objetivo.

A solução de um Problema de Programação Linear deve satisfazer todas as restrições do modelo. Caso, a função objetivo seja maximizar (ou minimizar), a solução que aplicada à função objetivo resulta na maximização (ou minimização) da mesma é denominada Solução Ótima. Para que a busca por tal solução não se torne dispendiosa e gaste muito tempo, o computador é fundamental na resolução de Problemas de Programação Linear (PPL).

Segundo Yang (2008), os estudos de otimização envolvem o planejamento de rotinas diárias até projetos de engenharia. As aplicações da PL abrangem diversas áreas, por exemplo, pode-se ter um problema de programação linear (PPL) que consiste no agendamento de funcionários em turnos de forma a garantir que o nível de serviços seja máximo e a redução dos custos. Outro exemplo seria pensar na questão do transporte escolar em relação às matrículas e a localização das escolas. Todas essas aplicações resultaram em significativas economias. Nesse sentido, Puccini (1972) afirma que “Os problemas de programação linear referem-se à distribuição eficiente de recursos limitados entre atividades competitivas (...)”.

Assim como nas outras áreas, o PPL na agropecuária visa obter uma solução que apresente a melhor eficiência no uso dos recursos, uma vez que os mesmos estão cada vez mais escassos. Dessa forma, é relevante a busca por soluções que forneçam como resultado a combinação ideal entre os mesmos que conduza a melhores desempenhos na agropecuária, gerando maior produtividade e rentabilidade. Para Alvarenga et al. (2010), “ Não é demais

lembrar que cada um dos componentes da ILPF deve ser considerado como uma cultura e, portanto, conduzido dentro dos princípios técnicos que permitam a maximização da produtividade sem perder de vista a sustentabilidade.”

Os elementos do PPL são as variáveis de decisão, a função objetivo e as restrições do modelo. As variáveis de decisão são aquelas relevantes ao problema, ou seja, que representam o cerne do mesmo e podem ser quantificadas. A função objetivo é uma função que relaciona a questão de otimização com as variáveis de decisão. Esse objetivo pode ser a maximização do lucro ou a minimização do custo, visando à eficiência no uso dos recursos disponíveis. As restrições se referem às limitações que problema está sujeito em relação aos recursos produtivos, capital para investimento, fertilizantes, dentre outros.

Thie e Keough (2008), ao descrever as etapas envolvidas no processo de organização e modelagem do PPL, consideram que é necessário reconhecer o problema, elaborar a formulação de um modelo matemático, resolver esse modelo dando uma solução e, por fim, avaliar essa solução no contexto do problema original, isto é, analisar essa solução na aplicação da área do PPL.

Sobre a aplicação da modelagem matemática na agropecuária, Gameiro, Caixeta Filho e Barros (2010) destacam a importância da mesma na contribuição para o uso racional dos recursos. O uso de tecnologias na agropecuária como a programação linear ajuda no processo de tomada de decisão, visto que nos sistemas de produção baseados na ILP tem-se diversos fatores a serem considerados. Segundo os autores, a maioria dos modelos consideram os aspectos técnicos e econômicos, poucos modelos avaliam os aspectos ambientais e sociais, embora esses dois últimos sejam relevantes para garantir a sustentabilidade do sistema de produção.

Eleger as culturas mais adequadas, suas respectivas áreas cultivadas, o padrão tecnológico, o número e as categorias de animais, diante de recursos escassos (terra, equipamentos, mão de obra, insumos etc.) caracteriza-se como o problema central desses modelos. (GAMEIRO; CAIXETA FILHO; BARROS, 2010)

A seguir tem-se a descrição Modelagem Matemática do Problema de Programação Linear (BIGELOW, 2007; BACHEM; KERN, 1992; EISELT; SANDBLOM, 2007).

Função Objetivo:

$$Z = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n \quad (1)$$

Sujeito a:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1 \quad (2)$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2 \quad (3)$$

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m \quad (4)$$

$$x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0$$

Onde:

x_1, x_2, \dots, x_n : representam as variáveis de decisão;

a_{ij} : representa a contribuição da alternativa j em relação à restrição i;

b_i : representa o fator limitante em relação à restrição i;

c_j : representa o custo da alternativa j.

De acordo com Goldbarg & Luna (2005), “A tomada de decisão é um tema de grande importância no mundo atual. Decisões e ações são o produto final do trabalho de gerentes, executivos, engenheiros e políticos. A tomada de decisão é o ato de selecionar, dentre várias decisões possíveis, a mais adequada para o alcance de certo objetivo”.

As inequações de restrições podem ser apresentadas de forma equivalente (GOLDBARG, LUNA, 2005; FERRIS, MANGASARIAN, WRIGHT, 2007): $Ax \leq b$.

Onde:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & \cdots & a_{mn} \end{pmatrix}, x = \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} \text{ e } b = \begin{pmatrix} b_1 \\ \vdots \\ b_m \end{pmatrix}$$

Para resolver o PPL, precisamos encontrar valores para x_1, x_2, \dots, x_n . Uma solução do PPL é dita solução viável quando satisfaz as restrições do PPL. A solução viável é representada pelo vetor $x = \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix}$.

Uma solução viável do PPL é dita ótima se dentre todas as soluções viáveis, produz o melhor valor da função objetivo, ou seja, maximiza (ou minimiza) a função objetivo.

2.8 Programação Inteira

Em alguns problemas de Programação Linear há certas restrições para as variáveis, como é o caso da Programação Inteira, onde as variáveis de decisão x_1, x_2, \dots, x_n devem assumir valores inteiros (VANDERBEI, 2001; MATOUSEK & GARTNER, 2007). Tal situação faz sentido diante de problemas em que as variáveis representam a quantidade de unidades produzidas. Segundo Zionts (1974), a solução ótima para um problema de programação inteira é a melhor solução inteira para esse problema.

No caso de um Problema de Programação Inteira em que as variáveis devem assumir os valores 0 ou 1, o programa é chamado de programa binário ou um programa de inteiros 0-1. Esse tipo de programa é bastante usado quando buscamos soluções do tipo: valor 1 significa que tem a característica e valor 0 sua ausência.

Na agropecuária, a programação inteira binária pode ser empregada a fim de se obter o uso eficiente dos recursos. Nesse contexto, a programação 0-1 significa que, em uma área dividida em lotes, o 1 (um) indica que determinada cultura se desenvolve nesse lote e o 0 (zero), indica que a cultura não se desenvolve nesse lote. Diversos fatores podem influenciar a decisão por determinada cultura. Tais fatores estão relacionados à aptidão agrícola do lote e à garantia da manutenção da rotação de culturas. Esses fatores são verificados para cada lote e para o número de períodos pré-determinados.

O resultado da verificação para cada lote é um cronograma que representa o calendário de plantios em cada gleba para cada período. Esse calendário indica a melhor escolha dos cultivos e da sequência de plantios por gleba, realizado com uso eficiente dos recursos. Portanto, em um cenário de escassez de recursos e a necessidade de se produzir cada vez mais, esse calendário representa um avanço do ponto de vista tecnológico, pois o mesmo possibilita a sustentabilidade da atividade agropecuária e a comprovação da viabilidade técnica do manejo adotado.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Nessa seção é apresentado um modelo de programação binária (NEMHAUSER; WOLSEY, 1999), cuja solução representa um calendário ótimo de plantios de várias culturas (em consórcio ou não com pastagem), cultivado em uma área dividida em glebas e com alternância periódica (ALVARENGA; NETO, 2008); assim como também, o controle operacional de um trânsito animal.

3.1 Rotação de Culturas

Para realizar a modelagem matemática e implantação computacional do planejamento rotacional e estratégico de cultivos, foi considerado como cenário, o sistema de Integração Lavoura-Pecuária implantado pela Embrapa Milho e Sorgo (Sete Lagoas, MG) em uma área de 24 hectares (ALVARENGA; NETO, 2008). Nessa tecnologia, o planejamento deve ser executado em função de que as glebas de terra têm que ser utilizadas em um momento com lavouras e em outro com pastagens.

O benefício da alternância entre as modalidades de usos da gleba são os nutrientes residuais deixados pelas lavouras para a pastagem, que passam a produzir forragem em maior quantidade e melhor qualidade. Estas forragens promovem uma reestruturação no ambiente do solo, aumentando o teor de matéria orgânica, o que estimula a melhoria da produção das lavouras que vem a seguir. Desta forma, o produtor aumenta a produção de grãos, carne, leite, fibras ou agroenergia e em consequência sua renda.

No cenário considerado, as componentes principais são o milho e a soja para a produção de grãos e sorgo para silagem. O plantio da lavoura de milho BRS 1030 realizado pela Embrapa (2008), foi feito de forma consorciada com os capins braquiária Piatã e *Braquiária brizanta* ou *Panicum massai* (Sistema Santa Fé). Já o sorgo forrageiro BRS 5610 foi consorciado com o capim Tanzânia. Para Freitas et al. (2010), o milho e a soja são culturas agrícolas anuais com retorno econômico rápido. De acordo com Oliveira et al. (2000), o sorgo pode ser utilizado para produção de grãos e de forragens.

Desta maneira considera-se os cultivos de Soja (S), Pastagem (PG), Milho+ Capim (M+C) e Sorgo + Capim (S+C) em um horizonte de planejamento predeterminado (número de períodos) e determinamos um calendário “ótimo” de rotações de culturas (consorciadas ou não com pastagem) a ser desenvolvidas em cada período e cada gleba. Estamos supondo que cada cultivo é desenvolvido em uma e só uma gleba da área considerada. Aqui o ótimo é a máxima “adaptação” ou peso que determinado plantio tem quando se desenvolve em determinada gleba num certo período. Em geral, procuramos um calendário de plantios com máximo peso.

É possível pensar que por meio de uma análise físico-química do solo em cada gleba, possamos estabelecer um critério fisiológico, baseado na adaptação e desenvolvimento de cada cultivo em um determinado período, a partir do qual, associamos valores entre zero e um a cada cultivo, indicando o percentual de vantagem que esse cultivo tem em relação ao resto quando é desenvolvido nessa gleba e nesse período. Neste trabalho tais valores foram gerados de forma aleatória considerando seis conjuntos de regras (ou conjunto de restrições) que garantem a sustentação do solo e da produção.

Dessa forma, a partir de informações como número de lotes, número de atividades de lavouras e o horizonte de planejamento (períodos), a modelagem matemática e implementação computacional fornecem a determinação de um calendário rotacional ótimo de cultivos.

A continuação o modelo matemático que representa a determinação de um calendário rotacional ótimo de cultivos, com dados gerados aleatoriamente. Iniciamos indicando com i – Períodos ($i = 1, \dots, m$); j – Glebas ou Lotes ($j = 1, \dots, n$; $n \geq 4$) e k -Cultivo., onde $k = 0$ (Pastagem), $k = 1$ (Soja), $k = 2$ (Milho + Capim), $k = 3$ (Sorgo + Capim).

Também definem-se as variáveis:

$$x_{ijk} = 1 \quad \text{Se no período } i \text{ o cultivo } k \text{ é desenvolvido na gleba } j. \\ = 0 \quad \text{Caso contrário.}$$

Seja p_{ijk} o peso associado pelo desenvolvimento do cultivo k na gleba j no período i .

Restrições

1. Em qualquer período i , cada cultivo k , deve ser desenvolvido (ou não) em uma e só uma gleba j .

$$\sum_{j=1}^n x_{ijk} = 1 \quad k = 0, 1, 2, 3; \quad i = 1, \dots, m \quad (5)$$

$$\sum_{k=0}^3 x_{ijk} = 1 \quad j = 1, \dots, n; \quad i = 1, \dots, m \quad \text{Se } n = 4 \quad (6)$$

$$\sum_{k=0}^3 x_{ijk} \leq 1 \quad j = 1, \dots, n; \quad i = 1, \dots, m \quad \text{Se } n > 4 \quad (7)$$

2. Se no período i , o cultivo k é desenvolvido na gleba j , então o cultivo k não pode ser desenvolvido na gleba j no período $i + 1$.

$$x_{ijk} + x_{i+1jk} \leq 1 \quad i = 1, \dots, m - 1; j = 1, \dots, n; k = 0, 1, 2, 3 \quad (8)$$

3. Se no período i a pastagem ($k = 0$) é realizada na gleba j , então no período $i + 1$, o cultivo da soja ($k = 1$) deve ser realizada na gleba j .

$$x_{ij0} - x_{i+1j1} \leq 0 \quad i = 1, \dots, m - 1; j = 1, \dots, n \quad (9)$$

4. Se no período i , o cultivo da soja ($k = 1$) é desenvolvido na gleba j , então no seguinte período $i + 1$, na gleba j , deve ser desenvolvido o cultivo: Milho + Capim ($k = 2$), ou Sorgo + Capim ($k = 3$).

$$x_{ij1} - x_{i+1j2} - x_{i+1j3} \leq 0 \quad i = 1, \dots, m - 1; j = 1, \dots, n \quad (10)$$

5. Se no período i , o cultivo Milho + Capim ($k = 2$) é desenvolvido na gleba j , então no seguinte período $i + 1$, na gleba j , deve ser desenvolvido o cultivo da pastagem ($k = 0$) ou o cultivo de Sorgo + Capim ($k = 3$).

$$x_{ij2} - x_{i+1j0} - x_{i+1j3} \leq 0 \quad i = 1, \dots, m - 1; j = 1, \dots, n \quad (11)$$

6. Se no período i , o cultivo de Sorgo + Capim ($k = 3$) é desenvolvido na gleba j , então no seguinte período $i + 1$, na gleba j , deve ser desenvolvido o cultivo da pastagem ($k = 0$) ou o cultivo de Milho + Capim ($k = 2$).

$$x_{ij3} - x_{i+1j0} - x_{i+1j2} \leq 0 \quad i = 1, \dots, m - 1; j = 1, \dots, n \quad (12)$$

Função Objetivo Maximizar

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=0}^3 P_{ijk} X_{ijk} \quad (13)$$

3.2 Trânsito Animal

A rotação entre a lavoura e a pastagem como estratégia de produção agrícola, além das melhorias nas propriedades do solo e a redução da incidência insetos-praga, doenças e plantas daninhas, podem se beneficiar da melhor estabilidade de produção de forragem para alimentar o rebanho durante o ano todo.

Em relação à intensificação da atividade pecuária, segundo Dias-Filho (2011), “Nos últimos anos, a pecuária desenvolvida a pasto em áreas de fronteira agrícola do Brasil vem sofrendo diversas transformações, em decorrência da busca por maior eficiência (i.e., produzir mais em menor área).”

No que segue, o controle operacional do trânsito animal será focado em relação aos pesos vivos e ao número de períodos estimados para o abatimento do animal. A continuação o modelo matemático que representa a determinação de um trânsito animal ótimo, com dados gerados aleatoriamente.

Índices

$r = 1, \dots, p$ (Animais)

Parâmetros

PV_{ri} – Peso vivo do animal r no período i (kg).

PVA_{ri} – Peso vivo para o abatimento do animal r no período i (kg).

g_{ijr} – Peso vivo ganho pelo animal r na gleba j durante o período i (kg).

Notação

Para cada $i = 1, \dots, m$, seja $S_i = \{r: PV_{ri} < PVA_{ri}\}$ e $\bar{S}_i = \{r: PV_{ri} \ll PVA_{ri}\}$

Ambos os conjuntos nos indicam os animais com peso vivo insuficiente para o abate e extremadamente baixo para o abate respectivamente.

Variáveis

$y_{ijr} = 1$ Se no período i o animal r encontra-se na gleba j
 $= 0$ Caso Contrário.

Restrições

1. Se no período i , a gleba j , encontra-se em entressafra do plantio Milho + Capim e o animal r encontra-se com peso vivo insuficiente para seu abatimento, então esse animal deve permanecer na gleba j no período i .

$$(x_{ij2} - y_{ijr}) \leq 0 \quad i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n; r \in S_i \quad (14)$$

2. Se no período i , a gleba j , encontra-se em entressafra do plantio Sorgo + Capim e o animal r encontra-se com peso vivo insuficiente para seu abatimento, então esse animal deve permanecer na gleba j no período i .

$$(x_{ij3} - y_{ijr}) \leq 0 \quad i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n; r \in S_i \quad (15)$$

3. Se no período i , a gleba j , encontra-se em o plantio de Pastagem e o animal r encontra-se com peso vivo extremamente baixo para seu abatimento, então esse animal deve permanecer na gleba j no período i .

$$(x_{ij0} - y_{ijr}) \leq 0 \quad i = 1, \dots, m; \quad j = 1, \dots, n; \quad r \in \bar{S}_i \quad (16)$$

4. Se no período i o plantio de soja ($k = 1$) é realizado na gleba j , então o gado r não pode se encontrar na gleba j .

$$\sum_{r \in S_i} y_{ijr} \leq p(1 - x_{ij1}) \quad i = 1, \dots, m; \quad j = 1, \dots, n \quad (17)$$

Função Objetivo Maximizar

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{r=1}^p g_{ijr} y_{ijr} \quad (18)$$

3.3 Modelo de Programação Binária Associado ao Problema de Rotação de Culturas Agrícolas e Trânsito Animal em um Sistema ILP

Esse modelo será construído a partir dos outros dois modelos apresentados, por meio da soma das respectivas funções objetivos, juntando as restrições de ambos modelos. Com isso, asseguramos a rotação de culturas e também as questões relativas ao trânsito animal, por meio das restrições.

Função Objetivo Maximizar

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=0}^3 p_{ijk} x_{ijk} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{r=1}^p g_{ijr} y_{ijr} \quad (19)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n x_{ijk} = 1 \quad k = 0, 1, 2, 3; \quad i = 1, \dots, m \quad (20)$$

$$\sum_{k=0}^3 x_{ijk} = 1 \quad j = 1, \dots, n; \quad i = 1, \dots, m \quad \text{Se } n = 4 \quad (21)$$

$$\sum_{k=0}^3 x_{ijk} \leq 1 \quad j = 1, \dots, n; \quad i = 1, \dots, m \quad \text{Se } n > 4 \quad (22)$$

$$x_{ijk} + x_{i+1jk} \leq 1 \quad i = 1, \dots, m-1; \quad j = 1, \dots, n; \quad k = 0, 1, 2, 3 \quad (23)$$

$$x_{ij0} - x_{i+1j1} \leq 0 \quad i = 1, \dots, m-1; \quad j = 1, \dots, n \quad (24)$$

$$x_{ij1} - x_{i+1j2} - x_{i+1j3} \leq 0 \quad i = 1, \dots, m-1; \quad j = 1, \dots, n \quad (25)$$

$$x_{ij2} - x_{i+1j0} - x_{i+1j3} \leq 0 \quad i = 1, \dots, m-1; \quad j = 1, \dots, n \quad (26)$$

$$x_{ij3} - x_{i+1j0} - x_{i+1j2} \leq 0 \quad i = 1, \dots, m-1; \quad j = 1, \dots, n \quad (27)$$

$$(x_{ij2} - y_{ijr}) \leq 0 \quad i = 1, \dots, m; \quad j = 1, \dots, n; \quad r \in S_i \quad (28)$$

$$(x_{ij3} - y_{ijr}) \leq 0 \quad i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n; r \in S_i \quad (29)$$

$$(x_{ij0} - y_{ijr}) \leq 0 \quad i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n; r \in \bar{S}_i \quad (30)$$

$$\sum_{r \in S_i} y_{ijr} \leq p(1 - x_{ij1}) \quad i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (31)$$

$$x_{ijk}, y_{ijr} = 0, 1 \quad i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n; k = 0, 1, 2, 3; r = 1, \dots, p \quad (32)$$

3.4 Simulação

Para que o modelo de programação inteira binária apresentado possa ser utilizado devemos ter, portanto, informações acerca da aptidão agrícola (p_{ijk}), que indica o percentual de vantagem que esse cultivo tem em relação aos demais cultivos e do peso vivo ganho pelo animal (g_{ijr}). Esses valores para aptidão agrícola (p_{ijk}) e para o peso vivo ganho pelo animal (g_{ijr}) são determinados a cada período e em cada gleba.

A fim de testar o modelo matemático, gerou-se valores para aptidão agrícola (p_{ijk}) e para o peso vivo ganho pelo animal (g_{ijr}) aleatoriamente no solver do MATLAB 7.4, cuja linguagem é baseada em matrizes. Foram realizados dois ensaios numéricos, o primeiro considerando quatro períodos, quatro glebas e trânsito de dois animais e o segundo com dez períodos, quatro glebas e trânsito de três animais

O procedimento de gerar valores aleatórios é fundamental para assegurar que o modelo apresentado pode ser utilizado para dados reais. Além disso, foi realizada uma comparação com o trabalho empírico realizado por Alvarenga e Neto (2008) implantado na Embrapa Milho e Sorgo (Sete Lagoas, MG) em uma área de 24 hectares. O resultado obtido foi compatível com o modelo empírico, ou seja, o modelo de programação inteira binária é válido.

3.5 Modelo com os Parâmetros para Quatro Períodos, Quatro Glebas e Trânsito de Dois Animais

Nas tabelas 1 a 4 são apresentados todos os parâmetros referentes à aptidão agrícola em cada período e em cada gleba para um modelo matemático considerando quatro períodos ($m = 4$), quatro glebas ($n = 4$). Cada célula (p_{ijk}) representa um valor que indica a aptidão agrícola da cultura k , no período i na gleba j . Por exemplo, no peso p_{231} , tem-se $i = 2$, $j = 3$ e $k = 1$, ou seja, tem-se o valor do peso associado pelo desenvolvimento da soja no período 2 e na gleba 3.

Tabela 1 Parâmetros referentes à aptidão agrícola da pastagem ($k=0$) por gleba e período.

	Gleba 1	Gleba 2	Gleba 3	Gleba 4
Período 1	p_{110}	p_{120}	p_{130}	p_{140}
Período 2	p_{210}	p_{220}	p_{230}	p_{240}
Período 3	p_{310}	p_{320}	p_{330}	p_{340}
Período 4	p_{410}	p_{420}	p_{430}	p_{440}

Tabela 2 Parâmetros referentes a aptidão agrícola da soja (k=1) por gleba e período.

	Gleba 1	Gleba 2	Gleba 3	Gleba 4
Período 1	p ₁₁₁	p ₁₂₁	p ₁₃₁	p ₁₄₁
Período 2	p ₂₁₁	p ₂₂₁	p ₂₃₁	p ₂₄₁
Período 3	p ₃₁₁	p ₃₂₁	p ₃₃₁	p ₃₄₁
Período 4	p ₄₁₁	p ₄₂₁	p ₄₃₁	p ₄₄₁

Tabela 3 Parâmetros referentes a aptidão agrícola do Milho + Capim (k=2) por gleba e período.

	Gleba 1	Gleba 2	Gleba 3	Gleba 4
Período 1	p ₁₁₂	p ₁₂₂	p ₁₃₂	p ₁₄₂
Período 2	p ₂₁₂	p ₂₂₂	p ₂₃₂	p ₂₄₂
Período 3	p ₃₁₂	p ₃₂₂	p ₃₃₂	p ₃₄₂
Período 4	p ₄₁₂	p ₄₂₂	p ₄₃₂	p ₄₄₂

Tabela 4 Parâmetros referentes a aptidão agrícola Sorgo + Capim (k=3) por gleba e período.

	Gleba 1	Gleba 2	Gleba 3	Gleba 4
Período 1	p ₁₁₃	p ₁₂₃	p ₁₃₃	p ₁₄₃
Período 2	p ₂₁₃	p ₂₂₃	p ₂₃₃	p ₂₄₃
Período 3	p ₃₁₃	p ₃₂₃	p ₃₃₃	p ₃₄₃
Período 4	p ₄₁₃	p ₄₂₃	p ₄₃₃	p ₄₄₃

Nas tabelas 5 e 6 são apresentados todos os parâmetros referentes ao ganho de peso por animal em cada período e em cada gleba para um modelo matemático considerando quatro períodos ($m = 4$), quatro glebas ($n = 4$) e o trânsito de dois animais ($p = 2$). Cada célula (g_{ijr}) representa um valor que indica o ganho de peso do boi r , no período i na gleba j . Por exemplo, para o ganho g_{412} tem-se $i = 4$, $j = 1$ e $r = 2$, ou seja, tem-se o valor para o ganho de peso no período 4, na gleba 1 pelo animal 2.

Tabela 5 Parâmetros referentes ao ganho de peso do animal 1 por gleba e período.

	Gleba 1	Gleba 2	Gleba 3	Gleba 4
Período 1	g ₁₁₁	g ₁₂₁	g ₁₃₁	g ₁₄₁
Período 2	g ₂₁₁	g ₂₂₁	g ₂₃₁	g ₂₄₁
Período 3	g ₃₁₁	g ₃₂₁	g ₃₃₁	g ₃₄₁
Período 4	g ₄₁₁	g ₄₂₁	g ₄₃₁	g ₄₄₁

Tabela 6 Parâmetros referentes ao ganho de peso do animal 2 por gleba e período.

	Gleba 1	Gleba 2	Gleba 3	Gleba 4
Período 1	g ₁₁₂	g ₁₂₂	g ₁₃₂	g ₁₄₂
Período 2	g ₂₁₂	g ₂₂₂	g ₂₃₂	g ₂₄₂
Período 3	g ₃₁₂	g ₃₂₂	g ₃₃₂	g ₃₄₂
Período 4	g ₄₁₂	g ₄₂₂	g ₄₃₂	g ₄₄₂

Nas tabelas apresentadas, cada célula representa um parâmetro do modelo de programação inteira proposto, isto é, tem-se 64 parâmetros relativos à aptidão agrícola e 32 parâmetros relativos ao ganho de peso por animal, o que totaliza 96 parâmetros. E para cada um desses parâmetros associa-se a uma variável (x_{ijk} ; y_{ijr}), isto é, 96 variáveis. Desse modo, apesar de o problema ser considerado de pequeno porte, pois tem-se quatro períodos ($m = 4$), quatro glebas ($n = 4$) e trânsito de dois animais ($p = 2$), o mesmo envolve grande quantidade de variáveis.

3.6 Modelo com os Parâmetros para Dez Períodos, Quatro Glebas e Trânsito de Três Animais

Nas tabelas 7 a 10 são apresentados todos os parâmetros referentes à aptidão agrícola em cada período e em cada gleba para um modelo matemático considerando quatro períodos ($m = 10$), quatro glebas ($n = 4$). Cada célula (p_{ijk}) representa um valor que indica a aptidão agrícola da cultura k , no período i na gleba j . Por exemplo, no peso p_{920} , tem-se $i = 9$, $j = 2$ e $k = 0$, ou seja, tem-se o valor do peso associado pelo desenvolvimento da pastagem no período 9 e na gleba 2. Observe que aumenta o número de células para cada cultivo, ou seja, tivemos um acréscimo no número de variáveis envolvidas para cada cultivo.

Tabela 7 Parâmetros referentes a aptidão agrícola da pastagem ($k=0$) por gleba e período.

	Gleba 1	Gleba 2	Gleba 3	Gleba 4
Período 1	p_{110}	p_{120}	p_{130}	p_{140}
Período 2	p_{210}	p_{220}	p_{230}	p_{240}
Período 3	p_{310}	p_{320}	p_{330}	p_{340}
Período 4	p_{410}	p_{420}	p_{430}	p_{440}
Período 5	p_{510}	p_{520}	p_{530}	p_{540}
Período 6	p_{610}	p_{620}	p_{630}	p_{640}
Período 7	p_{710}	p_{720}	p_{730}	p_{740}
Período 8	p_{810}	p_{820}	p_{830}	p_{840}
Período 9	p_{910}	p_{920}	p_{930}	p_{940}
Período 10	p_{1010}	p_{1020}	p_{1030}	p_{1040}

Tabela 8 Parâmetros referentes a aptidão agrícola da soja ($k=1$) por gleba e período.

	Gleba 1	Gleba 2	Gleba 3	Gleba 4
Período 1	p_{111}	p_{121}	p_{131}	p_{141}
Período 2	p_{211}	p_{221}	p_{231}	p_{241}
Período 3	p_{311}	p_{321}	p_{331}	p_{341}
Período 4	p_{411}	p_{421}	p_{431}	p_{441}
Período 5	p_{511}	p_{521}	p_{531}	p_{541}
Período 6	p_{611}	p_{621}	p_{631}	p_{641}
Período 7	p_{711}	p_{721}	p_{731}	p_{741}
Período 8	p_{811}	p_{821}	p_{831}	p_{841}
Período 9	p_{911}	p_{921}	p_{931}	p_{941}
Período 10	p_{1011}	p_{1021}	p_{1031}	p_{1041}

A seleção adequada das plantas para a rotação de culturas garante a eficiência do sistema de produção. De acordo com o Ministério da Agricultura, as técnicas agrícolas envolvidas no cultivo da soja no sistema de produção Integração Lavoura-Pecuária são implementadas visando o menor impacto ambiental combinado a intensificação do uso da terra.

Tabela 9 Parâmetros referentes a aptidão agrícola do Milho + Capim (k=2) por gleba e período.

	Gleba 1	Gleba 2	Gleba 3	Gleba 4
Período 1	p ₁₁₂	p ₁₂₂	p ₁₃₂	p ₁₄₂
Período 2	p ₂₁₂	p ₂₂₂	p ₂₃₂	p ₂₄₂
Período 3	p ₃₁₂	p ₃₂₂	p ₃₃₂	p ₃₄₂
Período 4	p ₄₁₂	p ₄₂₂	p ₄₃₂	p ₄₄₂
Período 5	p ₅₁₂	p ₅₂₂	p ₅₃₂	p ₅₄₂
Período 6	p ₆₁₂	p ₆₂₂	p ₆₃₂	p ₆₄₂
Período 7	p ₇₁₂	p ₇₂₂	p ₇₃₂	p ₇₄₂
Período 8	p ₈₁₂	p ₈₂₂	p ₈₃₂	p ₈₄₂
Período 9	p ₉₁₂	p ₉₂₂	p ₉₃₂	p ₉₄₂
Período 10	p ₁₀₁₂	p ₁₀₂₂	p ₁₀₃₂	p ₁₀₄₂

Tabela 10 Parâmetros referentes a aptidão agrícola Sorgo + Capim (k=3) por gleba e período.

	Gleba 1	Gleba 2	Gleba 3	Gleba 4
Período 1	p ₁₁₃	p ₁₂₃	p ₁₃₃	p ₁₄₃
Período 2	p ₂₁₃	p ₂₂₃	p ₂₃₃	p ₂₄₃
Período 3	p ₃₁₃	p ₃₂₃	p ₃₃₃	p ₃₄₃
Período 4	p ₄₁₃	p ₄₂₃	p ₄₃₃	p ₄₄₃
Período 5	p ₅₁₃	p ₅₂₃	p ₅₃₃	p ₅₄₃
Período 6	p ₆₁₃	p ₆₂₃	p ₆₃₃	p ₆₄₃
Período 7	p ₇₁₃	p ₇₂₃	p ₇₃₃	p ₇₄₃
Período 8	p ₈₁₃	p ₈₂₃	p ₈₃₃	p ₈₄₃
Período 9	p ₉₁₃	p ₉₂₃	p ₉₃₃	p ₉₄₃
Período 10	p ₁₀₁₃	p ₁₀₂₃	p ₁₀₃₃	p ₁₀₄₃

Nas tabelas 11, 12 e 13 são apresentados todos os parâmetros referentes ao ganho de peso por animal em cada período e em cada gleba para um modelo matemático considerando dez períodos ($m = 10$), quatro glebas ($n = 4$) e o trânsito de três animais ($p = 3$). Cada célula (g_{ijr}) representa um valor que indica o ganho de peso do boi r , no período i na gleba j . Por exemplo, para o ganho g_{843} tem-se $i = 8$, $j = 4$ e $r = 3$, ou seja, tem-se o valor para o ganho de peso no período 8, na gleba 4 pelo animal 3.

Tabela 11 Parâmetros referentes ao ganho de peso do animal 1 por gleba e período.

	Gleba 1	Gleba 2	Gleba 3	Gleba 4
Período 1	g_{111}	g_{121}	g_{131}	g_{141}
Período 2	g_{211}	g_{221}	g_{231}	g_{241}
Período 3	g_{311}	g_{321}	g_{331}	g_{341}
Período 4	g_{411}	g_{421}	g_{431}	g_{441}
Período 5	g_{511}	g_{521}	g_{531}	g_{541}
Período 6	g_{611}	g_{621}	g_{631}	g_{641}
Período 7	g_{711}	g_{721}	g_{731}	g_{741}
Período 8	g_{811}	g_{821}	g_{831}	g_{841}
Período 9	g_{911}	g_{921}	g_{931}	g_{941}
Período 10	g_{1011}	g_{1021}	g_{1031}	g_{1041}

Tabela 12 Parâmetros referentes ao ganho de peso do animal 2 por gleba e período.

	Gleba 1	Gleba 2	Gleba 3	Gleba 4
Período 1	g_{112}	g_{122}	g_{132}	g_{142}
Período 2	g_{212}	g_{222}	g_{232}	g_{242}
Período 3	g_{312}	g_{322}	g_{332}	g_{342}
Período 4	g_{412}	g_{422}	g_{432}	g_{442}
Período 5	g_{512}	g_{522}	g_{532}	g_{542}
Período 6	g_{612}	g_{622}	g_{632}	g_{642}
Período 7	g_{712}	g_{722}	g_{732}	g_{742}
Período 8	g_{812}	g_{822}	g_{832}	g_{842}
Período 9	g_{912}	g_{922}	g_{932}	g_{942}
Período 10	g_{1012}	g_{1022}	g_{1032}	g_{1042}

Tabela 13 Parâmetros referentes ao ganho de peso do animal 3 por gleba e período.

	Gleba 1	Gleba 2	Gleba 3	Gleba 4
Período 1	g_{113}	g_{123}	g_{133}	g_{143}
Período 2	g_{213}	g_{223}	g_{233}	g_{243}
Período 3	g_{313}	g_{323}	g_{333}	g_{343}
Período 4	g_{413}	g_{423}	g_{433}	g_{443}
Período 5	g_{513}	g_{523}	g_{533}	g_{543}
Período 6	g_{613}	g_{623}	g_{633}	g_{643}
Período 7	g_{713}	g_{723}	g_{733}	g_{743}
Período 8	g_{813}	g_{823}	g_{833}	g_{843}
Período 9	g_{913}	g_{923}	g_{933}	g_{943}
Período 10	g_{1013}	g_{1023}	g_{1033}	g_{1043}

Note que no segundo ensaio o número de períodos e o número de bois aumentou e, em decorrência disso, o número de variáveis envolvidas no modelo aumentou bastante. Nos quadros apresentados, cada célula representa uma variável do modelo de programação inteira proposto, isto é, tem-se 160 variáveis relativas à aptidão agrícola e 120 variáveis relativas ao ganho de peso por animal, o que totaliza 280 variáveis. Desse modo, o uso do computador se torna imperativo, pelo ganho de tempo e pelos diversos cálculos envolvidos da programação inteira binária.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para testar a validade do modelo foram realizados dois ensaios numéricos, considerando $m = 4$, $n = 4$ e $p = 2$ e $m = 10$, $n = 4$ e $p = 3$. O modelo foi resolvido utilizando o solver do MATLAB 7.4, a partir de dados gerados aleatoriamente. A seguir são apresentados esses dados com os valores para aptidão agrícola (p_{ijk}) e para o peso vivo ganho pelo animal (g_{ijr}) para ambos ensaios numéricos.

4.1 Valores Gerados Aleatoriamente do Modelo Matemático para Quatro Períodos, Quatro Glebas e Trânsito de Dois Animais

Nas tabelas 14 a 17 são apresentados os valores utilizados para aptidão agrícola em cada período e em cada gleba.

Tabela 14 Valores referentes a aptidão agrícola da pastagem ($k=0$) por gleba e período.

	Gleba 1	Gleba 2	Gleba 3	Gleba 4
Período 1	0,8014	0,3668	0,8169	0,6379
Período 2	0,3465	0,7395	0,1895	0,0161
Período 3	0,0833	0,5247	0,1237	0,8960
Período 4	0,3107	0,7128	0,6168	0,3559

Tabela 15 Valores referentes a aptidão agrícola da soja ($k=1$) por gleba e período.

	Gleba 1	Gleba 2	Gleba 3	Gleba 4
Período 1	0,5445	0,3829	0,8397	0,1295
Período 2	0,6064	0,0846	0,3717	0,8799
Período 3	0,7604	0,7339	0,8282	0,0441
Período 4	0,5831	0,1406	0	0,622

Tabela 16 Valores referentes a aptidão agrícola do Milho + Capim ($k=2$) por gleba e período.

	Gleba 1	Gleba 2	Gleba 3	Gleba 4
Período 1	0,7338	0,3990	0,3141	0,4089
Período 2	0,4372	0,4402	0,8945	0,7080
Período 3	0,3798	0,1568	0,2470	0,1436
Período 4	0,4293	0,0268	0,0751	0,5647

Tabela 17 Valores referentes a aptidão agrícola Sorgo + Capim ($k=3$) por gleba e período.

	Gleba 1	Gleba 2	Gleba 3	Gleba 4
Período 1	0,0832	0,7000	0,8507	0,3581
Período 2	0,4617	0,2145	0,5586	0,4890
Período 3	0,0304	0,6799	0,9018	0,2560
Período 4	0,6908	0,0323	0	0,6606

Nas tabelas 18 e 19 são apresentados os valores utilizados para o ganho de peso em cada período e em cada gleba (kg/por dia).

Tabela 18 Valores referentes a aptidão agrícola da pastagem ($k=0$) por gleba e período.

	Gleba 1	Gleba 2	Gleba 3	Gleba 4
Período 1	0,8014	0,3668	0,8169	0,6379
Período 2	0,3465	0,7395	0,1895	0,0161
Período 3	0,0833	0,5247	0,1237	0,8960
Período 4	0,3107	0,7128	0,6168	0,3559

Tabela 19 Valores referentes ao ganho de peso do animal 1 por gleba e período.

	Gleba 1	Gleba 2	Gleba 3	Gleba 4
Período 1	0,6692	0,9816	0,3763	0,1206
Período 2	0,1904	0,1564	0,1909	0,5895
Período 3	0,3689	0,8555	0,4283	0,2262
Período 4	0,4607	0,6448	0,4820	0,3846

4.2 Resultados para o Modelo com as Variáveis para Quatro Períodos, Quatro Glebas e Trânsito de Dois Animais

Na tabela 14, são apresentados os resultados obtidos para quatro períodos, quatro glebas, dois bois e quatro plantios (em consórcio ou não com capim). Nessa tabela, se pode observar que as restrições (20) e (21) do PB são satisfeitas e indicam que em cada período, cada cultivo é desenvolvido em uma e só uma gleba. Além disso, nenhum plantio é desenvolvido durante quaisquer dois períodos consecutivos; isto é, as restrições referentes à equação (23) são satisfeitas, com isso, a rotação de culturas é assegurada, juntamente com a ciclagem dos nutrientes.

Note que como exigem as restrições (24), para cada gleba; se em determinado período é desenvolvido o plantio da pastagem, então no período seguinte será desenvolvido o plantio da soja, o que contribui para não degradação da pastagem. Tal fato promove a redução dos custos, uma vez que os custos para a renovação ou recuperação das pastagens degradadas é bastante elevado.

Igualmente para cada gleba, se em um determinado período é desenvolvido o cultivo de soja, então no período seguinte deve ser desenvolvido o cultivo: Milho + Capim (ver gleba 1, gleba 2 e gleba 3). Por outra parte, se em um período se desenvolve o cultivo Milho + Capim, então no período seguinte se desenvolve o cultivo Sorgo + Capim (ver gleba 1, gleba 3 e gleba 4). Note que a sequência: Pastagem, Soja, Milho + Capim; se faz presente nas glebas 1 e 2.

Cabe destacar que o símbolo * indica que o animal alcançou o peso necessário para seu abatimento. Em relação aos “pesos” e como foi dito, é possível estabelecer um critério fisiológico, baseado na adaptação e desenvolvimento de cada cultivo em uma determinada gleba e certo período, a partir do qual, podemos associar valores entre zero e um a cada cultivo, indicando o percentual de vantagem que esse cultivo tem em relação aos demais cultivos, quando é desenvolvido nessa gleba e nesse período.

Tabela 20 Calendário rotacional ótimo dos plantios $k = 0$ (Pastagem), $k = 1$ (Soja), $k = 2$ (Milho + Capim), $k = 3$ (Sorgo + Capim) para quatro períodos, quatro glebas e calendário ótimo do trânsito de 2-bois (b1 e b2).

	Gleba 1	Gleba 2	Gleba 3	Gleba 4
Período 1	Pastagem b1-b2	Sorgo + Capim b1-b2	Soja *_*	Milho + Capim b1-b2
Período 2	Soja *_*	Pastagem b1-b2	Milho + Capim b1-b2	Sorgo + Capim b1-b2
Período 3	Milho + Capim *_-b2	Soja *_*	Sorgo + Capim *_-b2	Pastagem *_-b2
Período 4	Sorgo + Capim *_-b2	Milho + Capim *_-b2	Pastagem *_-b2	Soja *_*

A tabela 21 indica quais animais tem peso vivo abaixo do peso para seu abatimento; o valor um (1) sinaliza que o animal tem peso vivo abaixo do peso para seu abatimento e o valor zero (0) sinaliza que o animal alcançou o peso para seu abatimento.

Pode-se observar que os animais têm pesos abaixo do peso para seu abatimento tanto no primeiro como no segundo períodos. Já no terceiro período, o primeiro boi (b1) alcança o peso para seu abatimento, no entanto o segundo boi (b2) deve ser alimentado durante o terceiro e quarto período; na primeira, terceira e quarta glebas e primeira, segunda e terceira glebas respectivamente.

Em relação ao calendário ótimo para o trânsito animal, se pode observar que no primeiro período o recomendável é que ambos os bois (b1 e b2) sejam alimentados em todas as glebas; salvo na gleba 3, onde deve ser cultivada a cultura de soja e, portanto, não é permitido a permanência animal, conforme a restrição (31) do modelo de programação inteira binária.

Tabela 21 Indicadores dos animais que tem peso vivo abaixo do peso para seu abatimento, valendo um se o animal pertence a S_i e zero caso contrário ($m = 4$ e $p = 2$).

S_i	b1	b2
Período 1	1	1
Período 2	1	1
Período 3	0	1
Período 4	0	1

A tabela 22 apresenta os animais que tem peso vivo muito abaixo do peso para seu abatimento; o valor um (1) indica que o animal tem peso vivo abaixo do peso para seu abatimento e o valor zero (0) indica que o animal alcançou o peso para seu abatimento.

Nota-se que ambos os animais têm peso muito abaixo do peso para seu abatimento. Além disso, no segundo período, ambos os animais devem ser alimentados nas glebas 2,3 e 4, em vista de que seus pesos vivos se mantêm muito abaixo dos pesos de abatimento.

Tabela 22 Indicadores dos animais que tem peso vivo muito abaixo do peso para seu abatimento, valendo um se o animal pertence a $(S_i)^-$ e zero caso contrário. ($m = 4$ e $p = 2$).

$\overline{S_i}$	b1	b2
Período 1	1	1
Período 2	1	1
Período 3	0	1
Período 4	0	1

Os resultados obtidos a partir do primeiro ensaio numérico, que considerou um total de quatro períodos, quatro glebas e dois animais (b1, b2) mostram a validade do modelo ao satisfazer todas as restrições impostas e maximizar a função objetivo, assegurando, para cada período considerado, o ganho de peso de cada animal e a seleção do cultivo em cada gleba.

4.3 Valores Gerados Aleatoriamente do Modelo Matemático para Dez Períodos, Quatro Glebas e Trânsito de Três Animais

Nas tabelas 23 a 26 são apresentados os valores utilizados para aptidão agrícola em cada período e em cada gleba.

Tabela 23 Valores referentes a aptidão agrícola da pastagem ($k=0$) por gleba e período.

	Gleba 1	Gleba 2	Gleba 3	Gleba 4
Período 1	0,5186	0,3909	0,4317	0,9203
Período 2	0,9730	0,8314	0,0155	0,0527
Período 3	0,6490	0,8034	0,9841	0,7379
Período 4	0,6707	0	0,0593	0,0390
Período 5	0,2106	0,1914	0,1023	0,4097
Período 6	0,2701	0,3260	0,1264	0,3634
Período 7	0,6576	0,4261	0,1833	0,9330
Período 8	0,0308	0,6090	0,4641	0,3153
Período 9	0,0656	0,5465	0,3079	0,8922
Período 10	0,0090	0,1855	0,9058	0,0682

Tabela 24 Valores referentes a aptidão agrícola da soja ($k=1$) por gleba e período.

	Gleba 1	Gleba 2	Gleba 3	Gleba 4
Período 1	0,7011	0,5612	0,3763	0,2904
Período 2	0,6663	0,8819	0,1909	0,6171
Período 3	0,5391	0,6692	0,4283	0,2653
Período 4	0,3476	0	0,2939	0,6792
Período 5	0,3334	0	0,0251	0,6741
Período 6	0	0,1261	0,3754	0,5976
Período 7	0	1	0,0792	0,0043
Período 8	0,8324	0,1924	0,372	0,247
Período 9	0,2168	0,7925	0,3953	0
Período 10	0,0555	0,1314	0,2122	0,9042

Tabela 25 Valores referentes a aptidão agrícola do Milho + Capim (k=2) por gleba e período.

	Gleba 1	Gleba 2	Gleba 3	Gleba 4
Período 1	0,8797	0,0942	0,6544	0,4235
Período 2	0,8178	0,5985	0,4076	0,0908
Período 3	0,2607	0,4709	0,8200	0,2665
Período 4	0	0,6253	0,2275	0
Período 5	0	0,2510	0,6629	0,2129
Período 6	0,2297	0,2853	0	0,2402
Período 7	0,3618	0	0,1545	0,6501
Período 8	0,6046	0	0	0,2978
Período 9	0,0065	0,1056	0,6737	0,6952
Período 10	0,1516	0,8574	0,6629	0,0305

Tabela 26 Valores referentes a aptidão agrícola Sorgo + Capim (k=3) por gleba e período.

	Gleba 1	Gleba 2	Gleba 3	Gleba 4
Período 1	0,9436	0,2240	0,0012	0,7218
Período 2	0,6377	0,6678	0,4624	0,4735
Período 3	0,9577	0,8444	0,4243	0,1527
Período 4	0	0,1764	0,4601	0
Período 5	0,1978	0,2796	0,4233	0,2523
Período 6	0	0,0420	0,0042	0,0772
Período 7	1	0	0,4397	0,8886
Período 8	0,5468	0,3924	0,1539	0,0536
Período 9	0,3899	0,3552	0,0326	0,8595
Período 10	0	1	0	0

Nas tabelas 27, 28 e 29 são apresentados os valores utilizados para o ganho de peso em cada período e em cada gleba (kg/por dia).

Tabela 27 Valores referentes ao ganho de peso do animal 1 por gleba e período.

	Gleba 1	Gleba 2	Gleba 3	Gleba 4
Período 1	0,7655	0,679	0,6619	0,5407
Período 2	0,1887	0,6358	0,7703	0,8699
Período 3	0,2875	0,9452	0,3502	0,2648
Período 4	0,0911	0,2089	0,662	0,3181
Período 5	0,5762	0,7093	0,4162	0,1192
Período 6	0,6834	0,2362	0,8419	0,9398
Período 7	0,5466	0,1194	0,8329	0,6456
Período 8	0,4257	0,6073	0,2564	0,4795
Período 9	0,6444	0,4501	0,6135	0,6393
Período 10	0,6476	0,4587	0,5822	0,5447

Tabela 28 Valores referentes ao ganho de peso do animal 2 por gleba e período.

	Gleba 1	Gleba 2	Gleba 3	Gleba 4
Período 1	0,6473	0,4484	0,0938	0,1500
Período 2	0,5439	0,3658	0,5254	0,5861
Período 3	0,7210	0,7635	0,5303	0,2621
Período 4	0,5225	0,6279	0,8611	0,0445
Período 5	0,9937	0,7720	0,4849	0,7549
Período 6	0,2187	0,9329	0,3935	0,2428
Período 7	0,1058	0,9727	0,6714	0,4424
Período 8	0,1097	0,192	0,7413	0,6878
Período 9	0,0636	0,1389	0,5201	0,3592
Período 10	0,4046	0,6963	0,3477	0,7363

Tabela 29 Valores referentes ao ganho de peso do animal 3 por gleba e período.

	Gleba 1	Gleba 2	Gleba 3	Gleba 4
Período 1	0,3947	0,4299	0,9493	0,8843
Período 2	0,6834	0,8878	0,3276	0,5880
Período 3	0,7040	0,3912	0,6713	0,1548
Período 4	0,4423	0,7691	0,4386	0,1999
Período 5	0,0196	0,3968	0,8335	0,4070
Período 6	0,3309	0,8085	0,7689	0,7487
Período 7	0,4243	0,7551	0,1673	0,8256
Período 8	0,2703	0,3774	0,8620	0,7900
Período 9	0,1971	0,2160	0,9899	0,3185
Período 10	0,8217	0,7904	0,5144	0,5341

4.4 Resultados para o Modelo com as Variáveis para Dez Períodos, Quatro Glebas e Trânsito de Três Animais

Na tabela 30 tem-se o cronograma para dez períodos, quatro glebas e trânsito de três animais, observa-se as restrições (20) e (21) do PB são satisfeitas e indicam que em cada período, cada cultivo é desenvolvido em uma e só uma gleba. Além disso, nenhum plantio é desenvolvido durante quaisquer dois períodos consecutivos; isto é, as restrições referentes à equação (23) são satisfeitas. Note que como exigem as restrições (24), para cada gleba; se em determinado período é desenvolvido o plantio da pastagem, então no período seguinte será desenvolvido o plantio da soja.

Novamente, para cada gleba, se em um determinado período é desenvolvido o cultivo de soja, então no período seguinte deve ser desenvolvido o cultivo: Milho + Capim (gleba 2 e gleba 3) ou Sorgo + Capim (ver gleba 1, gleba 2, gleba 3 e gleba 4), seguindo a restrição (25) do modelo.

Por outra parte, se em um período se desenvolve o cultivo Milho + Capim, então no período seguinte se desenvolve o cultivo Sorgo + Capim (ver gleba 1, gleba 3 e gleba 4) ou a pastagem (ver gleba 2, gleba 3 e gleba 4), conforme a restrição (26) do modelo. Analogamente, o cultivo do Sorgo + Capim deve ser seguido do cultivo Milho + Capim (ver gleba 1, gleba 3 e gleba 4) ou a pastagem (ver gleba 1 e gleba 4), de acordo com a restrição (27) do modelo.

A restrição (31) do modelo de programação binária associado ao problema de rotação de culturas agrícolas e trânsito animal é atendida, isto é, se em certo período o plantio da soja ($k = 1$) é realizado na gleba j , então o gado r não pode se encontrar na gleba j . Dessa forma, onde é cultivada a soja não tem-se a presença de animais, para todos os períodos considerados.

Por meio da implementação do calendário rotacional ótimo dos plantios Pastagem, Soja, Milho + Capim e Sorgo + Capim tem-se múltiplos benefícios como a produção diversificada de alimentos, a diminuição da incidência de pragas e doenças, muito comuns em sistemas de produção baseados na monocultura, a ciclagem de nutrientes, a melhoria das condições das pastagens, a redução nos custos para sua recuperação e também evita que as mesmas sofram processos de degradação.

Observa-se ainda que a partir da diversificação das atividades, a frequência do cultivo das culturas em cada gleba diminui. Com isso, os efeitos negativos provocados pela monocultura como perda de produtividade e degradação do solo e dos recursos naturais são atenuados ou até mesmo eliminados (LOSS *et al.*, 2011). Ao mesmo tempo, tem-se a otimização dos recursos e, em decorrência disso, a diminuição dos custos das atividades agropecuárias, o que contribui para a permanência da atividade ao longo dos anos, isto é, tem-se a eficiência no sistema de produção.

Tabela 30 Calendário rotacional ótimo dos plantios $k = 0$ (Pastagem), $k = 1$ (Soja), $k = 2$ (Milho + Capim), $k = 3$ (Sorgo + Capim) para dez períodos, quatro glebas e calendário ótimo do trânsito de 3-bois (b_1 , b_2 , b_3).

	Gleba 1	Gleba 2	Gleba 3	Gleba 4
Período 1	Sorgo + Capim $b_1 - b_2 - b_3$	Milho + Capim $b_1 - b_2 - b_3$	Pastagem $b_1 - b_2 - b_3$	Soja $*_{-}*_{-}*_{-}$
Período 2	Milho + Capim $* - b_2 - b_3$	Pastagem $* - b_2 - b_3$	Soja $*_{-}*_{-}*_{-}$	Sorgo + Capim $* - b_2 - b_3$
Período 3	Sorgo + Capim $*_{-}2_{-}3$	Soja $*_{-}*_{-}*_{-}$	Milho + Capim $*_{-}2_{-}3$	Pastagem $*_{-}2_{-}3$
Período 4	Pastagem $* - b_2 - b_3$	Milho + Capim $* - b_2 - b_3$	Sorgo + Capim $* - b_2 - b_3$	Soja $*_{-}*_{-}*_{-}$
Período 5	Soja $*_{-}*_{-}*_{-}$	Pastagem $*_{-}*_{-}*_{-}$	Milho + Capim $*_{-}*_{-}*_{-}$	Sorgo + Capim $*_{-}*_{-}*_{-}$
Período 6	Sorgo + Capim $*_{-}*_{-}*_{-}$	Soja $*_{-}*_{-}*_{-}$	Pastagem $*_{-}*_{-}*_{-}$	Milho + Capim $*_{-}*_{-}*_{-}$
Período 7	Pastagem $*_{-}*_{-}*_{-}$	Milho + Capim $*_{-}*_{-}*_{-}$	Soja $*_{-}*_{-}*_{-}$	Sorgo + Capim $*_{-}*_{-}*_{-}$
Período 8	Soja $*_{-}*_{-}*_{-}$	Pastagem $*_{-}*_{-}*_{-}$	Sorgo + Capim $*_{-}*_{-}*_{-}$	Milho + Capim $*_{-}*_{-}*_{-}$
Período 9	Sorgo + Capim $*_{-}*_{-}*_{-}$	Soja $*_{-}*_{-}*_{-}$	Milho + Capim $*_{-}*_{-}*_{-}$	Pastagem $*_{-}*_{-}*_{-}$
Período 10	Milho + Capim $*_{-}*_{-}*_{-}$	Sorgo + Capim $*_{-}*_{-}*_{-}$	Pastagem $*_{-}*_{-}*_{-}$	Soja $*_{-}*_{-}*_{-}$

A tabela 31 indica quais animais tem peso vivo abaixo do peso para seu abatimento; o valor um (1) sinaliza que o animal tem peso vivo abaixo do peso para seu abatimento e o valor zero (0) sinaliza que o animal alcançou o peso para seu abatimento. Nessa tabela, tem-se que no primeiro período os três animais devem ser alimentados nas glebas onde são cultivados a pastagem, o Milho + Capim e o Sorgo + Capim. O animal atinge o peso para seu abatimento no segundo período.

Para o segundo período, b1 tem peso para seu abatimento e, portanto, sai dos conjuntos S_i e \bar{S}_i , enquanto neste período, b2 e b3 continuam abaixo do peso para seu abatimento e, com isso, devem ser alimentados nas glebas onde a pastagem, o Milho + Capim e o Sorgo + Capim são cultivados, de acordo com a restrição (24) do modelo de programação inteira binária.

No terceiro e quarto período, b2 e b3 ainda se encontram fora do peso de abatimento e devem ser alimentados nas glebas onde o cultivo da soja não se desenvolve. Finalmente, a partir do quinto período; b1, b2 e b3, ficam com um peso vivo suficiente para o abatimento. Dessa forma, os animais podem ser abatidos.

Tabela 31 Indicadores dos animais que tem peso vivo abaixo do peso para seu abatimento, valendo um se o animal pertence a S_i e zero caso contrário ($m = 10$ e $p = 3$).

S_i	b1	b2	b3
Período 1	1	1	1
Período 2	0	1	1
Período 3	0	1	1
Período 4	0	1	1
Período 5	0	0	0
Período 6	0	0	0
Período 7	0	0	0
Período 8	0	0	0
Período 9	0	0	0
Período 10	0	0	0

A tabela 32 apresenta os animais que tem peso vivo muito abaixo do peso para seu abatimento; o valor um (1) indica que o animal tem peso vivo abaixo do peso para seu abatimento e o valor zero (0) indica que o animal alcançou o peso para seu abatimento. Os animais b1 e b3 encontram-se com um peso vivo bem abaixo do peso de abatimento, enquanto o peso vivo de b2, simplesmente está abaixo do peso de abatimento; isto é, b2 não pertence a \bar{S}_i . A partir do quinto período todos os animais não têm seu peso vivo muito abaixo do peso para seu abatimento.

Tabela 32 Indicadores dos animais que tem peso vivo muito abaixo do peso para seu abatimento, valendo um se o animal pertence a $(S_i)^-$ e zero caso contrário ($m = 10$ e $p = 3$).

$\overline{S_i}$	b1	b2	b3
Período 1	1	0	1
Período 2	0	0	1
Período 3	0	1	1
Período 4	0	1	1
Período 5	0	0	0
Período 6	0	0	0
Período 7	0	0	0
Período 8	0	0	0
Período 9	0	0	0
Período 10	0	0	0

Dessa forma, os resultados obtidos a partir do segundo ensaio numérico realizado que considerou um total de dez períodos, quatro glebas e três animais (b1, b2, b3) também mostram a validade do modelo ao satisfazer todas as restrições impostas e maximizar a função objetivo, assegurando, para cada período considerado, o ganho de peso de cada animal e a seleção do cultivo em cada gleba.

De acordo com Gameiro, Caixeta Filho e Barros (2010), o grande benefício na implementação de modelos de programação linear nos sistemas de produção agropecuários se deve ao fato desses considerarem diversas informações, oferecendo como resultado a melhor solução. Além disso,

O modelo pode ser utilizado como ferramenta para simular os impactos na realocação dos recursos diante de mudanças nas prioridades (pesos) atribuídas a cada um dos três grupos de variáveis consideradas: econômicas, ambientais e sociais. Em outras palavras, como mudaria o planejamento das culturas na propriedade se fosse aumentado o peso atribuído às variáveis ambientais? (GAMEIRO; CAIXETA FILHO; BARROS, 2010).

Portanto, o modelo de programação inteira apresentado nessa seção não apenas fornece a solução ótima diante das restrições impostas e que maximize o ganho de peso de cada animal com a melhor seleção de cultivos em cada gleba por período, como também possibilita que o produtor possa verificar variações de alguns atributos, melhorando ainda mais os resultados do sistema de produção agropecuário.

5 CONCLUSÕES

Apresentamos um programa binário (PB) que simula a rotação de culturas e trânsito animal, cuja solução representa um calendário ótimo dos plantios considerados na tecnologia de integração lavoura-pecuária, desenvolvida na Embrapa - Milho e Sorgo (Sete Lagoas, MG), em uma área de 24 hectares; como também a simulação de um trânsito animal.

Cabe ressaltar que o modelo matemático foi produzido a partir de dados aleatórios para aptidão agrícola (p_{ijk}) e para o peso vivo ganho pelo animal (g_{ijr}) para cada período em cada gleba, gerando, com isso, os cronogramas apresentados nas Tabelas 4.1 e 4.4. Dessa forma, o resultado depende desses parâmetros, isto é, valores diferentes para esses pesos (p_{ijk}) e para ganho de peso pelo animal (g_{ijr}) produziriam um cronograma diferente daqueles apresentados nas Tabelas 4.1 e 4.4.

Assim sendo, sugere-se que se aprofunde os estudos na construção de um indicador para a aptidão agrícola que reflita as variáveis de interesse do produtor, de forma que o mesmo obtenha êxito na avaliação das glebas em relação às culturas a serem desenvolvidas.

Uma característica do PB é ter, em geral, múltiplas soluções que podem aparecer; dentre outras possibilidades, quando é possível “rotar” a programação das n glebas para “frente” ou para “atrás” no tempo. Nos dois ensaios numéricos realizados foi considerado um número de glebas igual ao número de cultivos; mas pode ser considerado um número de glebas maior que o número de cultivos como indica a restrição (2) do modelo.

A rotação entre as culturas é o mais recomendável nas glebas geradas aleatoriamente, e tal resultado está em conformidade com os resultados experimentais obtidos na Embrapa-Milho e Sorgo (Sete Lagoas, MG). Dessa forma, o modelo matemático apresentado utilizando programação binária é compatível com o trabalho empírico realizado por Alvarenga e Neto (2008) implantado na Embrapa Milho e Sorgo (Sete Lagoas, MG) em uma área de 24 hectares.

O aumento da produção e a reflexão acerca das práticas agrícolas estão entre os desafios da agricultura moderna e para atender esses interesses, é necessária a intensificação do uso da terra e o aumento da eficiência dos sistemas de produção (VILELA; MARHA JR; MARCHÃO, 2012). De acordo com Fernandes et al. (2010), “O desafio da agropecuária é desenvolver novas tecnologias visando a produção sustentável”.

Portanto, a partir dos resultados apresentados, observa-se que foi possível construir um modelo matemático que atenda às restrições da rotação de culturas, visando o uso eficiente dos recursos e que, com isso, o produtor possa comprovar a viabilidade técnica da adoção da ILP em sua propriedade.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A necessidade de se produzir mais para atender à crescente demanda por alimentos da população em um cenário na agropecuária com pastagens com algum estágio de degradação e práticas agrícolas inadequadas torna ainda mais relevante a busca por tecnologias pautadas pela sustentabilidade. Dessa forma, é um desafio para agropecuária, desenvolver um sistema de produção que atenda aos aspectos econômicos, ecológicos e sociais, isto é, os princípios da sustentabilidade. Além disso, o sistema de produção deve atender aos aspectos territorial e tecnológico, preconizando a diversificação das atividades no mesmo espaço e a utilização de estratégias com menor impacto ambiental possível.

Diversos estudos apontam para a adoção da Integração Lavoura-Pecuária como sistema de produção na agropecuária em virtude de atender de forma eficiente aos aspectos econômicos, ecológicos, sociais, territoriais e tecnológicos. A Integração Lavoura-Pecuária apresenta benefícios tanto para a pecuária como também para a agricultura. Esse sistema de produção tem vantagens como a produção diversificada de alimentos, a melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo, o aumento da estabilidade da produção, a reposição de matéria orgânica, a produção de pasto, a redução de custos da atividade agrícola e da pecuária em virtude da otimização do uso dos insumos, controle de plantas daninhas, pragas e doenças (ALVARENGA et al., 2006, FRANCHINI et al, 2011, VILELA et al, 2001).

A adoção da ILP é complexa e exige conhecimento de todo processo de implementação e maior investimento financeiro (FERNANDES et al., 2008). Com isso, é necessário o planejamento das ações a serem implementadas. Como contribuição tem-se a identificação das etapas envolvidas na adoção desse manejo. Cabe destacar que os objetivos devem estar bem definidos para que haja sucesso em sua adoção. Além disso, apresenta-se um cronograma como resultado do desenvolvimento de um modelo de programação binária que simula a rotação de culturas agrícolas e o trânsito animal em um sistema integrado lavoura-pecuária.

A ILP apresenta vantagens agronômicas, porém seus benefícios são percebidos em médio e longo prazo como maior estabilidade da produção agrícola, o aumento da produção, a melhora a qualidade física, química e biológica do solo e, quando associada à pecuária na ILP, contribui para a recuperação das pastagens. Em médio prazo tem-se como consequência, além da redução dos gastos para a correção das características do solo, a diversificação na produção de alimentos que podem ser destinados tanto a comercialização como também à alimentação do produtor e sua família. Portanto, a rotação de culturas em uma aplicação do sistema ILP também apresenta vantagens socioeconômicas sobre as práticas tradicionais.

Para o desenvolvimento sustentável, tem-se que a rotação de culturas se torna essencial, pois a partir da adoção desse sistema consegue-se continuar produzindo sem grandes impactos ambientais não comprometendo, dessa forma, o futuro das próximas gerações. Aliada à ILP, a colaboração da rotação de culturas na direção da sustentabilidade é ainda maior, pois há um aumento comprovado do resgate dos Gases de Efeito Estufa (GEE), tão nocivos ao meio ambiente. Com isso, pode-se perceber a importância socioeconômica e ambiental da ILP combinada com a rotação de culturas rumo a uma economia mais verde, promovendo o desenvolvimento sustentável e erradicação da pobreza.

Os produtores percebem como entraves para a implementação da ILP, a resistência às mudanças de tecnologias, necessidade de pessoal qualificado, maior investimento financeiro, disponibilidade de maquinários e infraestrutura. Dessa forma, é fundamental que se estimule a ILP e uma forma de estimular ainda mais sua adoção seria o pagamento de serviços ambientais.

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) reconhece e incentiva a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta por meio de políticas para a concessão de créditos, com recursos provenientes do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e Banco do Brasil (BB). Além disso, o MAPA dissemina informações sobre como realizar a implementação desse sistema de produção visando não somente o aumento da produtividade como também assegurar a sustentabilidade ambiental.

Assim sendo, sugere-se que mais estudos acerca da adoção da ILP sejam feitos a fim de que as políticas públicas sejam implementadas no Brasil, levando em consideração as particularidades de cada região em relação ao clima, ao solo, adaptabilidade das culturas, o tipo de pecuária, dentre outras, a fim de aprimorar as informações e o apoio aos produtores que adotam tal manejo, objetivando a obtenção de melhores desempenhos na agropecuária.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIDAR, H.; KLUTHCOUSKI, J. Evolução das atividades lavoureira e pecuária nos Cerrados. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. (orgs.). Integração lavoura-pecuária, 1ª Edição, Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, p. 25-58, 2003.
- ALMEIDA, J. Sustentabilidade, ética e cidadania: novos desafios da agricultura. Extensão Rural e Desenvolvimento Sustentável, v.1, n.4, p.15-20, 2005.
- ALTIERI, M.A. Agroecologia: a dinâmica produtiva da agricultura sustentável. 5. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2004.
- ALVARENGA, R.C.; COBUCCI, T.; KLUTHCOUSKI, J.; WRUCK, F.J.; CRUZ, J.C.; GONTIJO NETO, M.M. A cultura do milho na integração lavoura-pecuária. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.27, n.233, p.106-126, 2006.
- ALVARENGA, R.C., NETO, M.G.M. Inovações Tecnológicas nos Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta. In: SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE, 8, SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE, 4, 2012, Viçosa, MG. Anais... Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, p. 267-276, 2012.
- ALVARENGA, R. C.; NETO, M. M. G.; Sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) de corte da Embrapa Milho e sorgo. Ed. Embrapa, 6p., 2008.
- ALVARENGA, R.C.; PORFIRIO-SA-SILVA, V.;GONTIJO NETO,M.M.; VIANC, M.C.M.; VILELA, L. Sistema Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: condicionamento do solo e intensificação da produção de lavouras. Informe Agropecuário, v.31, n, 257, p.59-67, 2010.
- ANGHINONI, I.; MORAES, A.; CARVALHO, P.C.F.; SOUZA, E.D.; CONTE, O.; LANG, C.R. Benefícios da Integração Lavoura-Pecuária sobre a fertilidade do solo em sistema plantio direto. In: Da Fonseca, A.F.; Caires, E.F.; Barth, G. Fertilidade do solo e nutrição de plantas no sistema plantio direto. AEACG/Inpag: Ponta Grossa, 2011.
- ASSAD, M.L.L. ALMEIDA, J. Agricultura e Sustentabilidade: Contextos, Desafios e Cenários. Ciência e Ambiente, n. 29, p. 15-30, jul/dez 2004.
- ASSMANN, A.L.; SILVA, H.L.; KIRCHNER, R.; KOZELINSKI, S.M. Espécies forrageiras para o sistema integração lavoura-pecuária. In: ASSMANN, A.L.; SOARES, A.B.; ASSMANN, T.S. Integração Lavoura-Pecuária para a agricultura familiar. Instituto Agrônômico do Paraná. Londrina, 2008.
- ASSMANN, T.S.; ASSMANN, A.L.; SOARES, A.B. Desenvolvimento sustentável e integração lavoura-pecuária. In: ASSMANN, A.L.; SOARES, A.B.; ASSMANN, T.S. Integração Lavoura-Pecuária para a agricultura familiar. Instituto Agrônômico do Paraná. Londrina, 2008.
- BACHEM, A.; KERN, W. Linear Programming Duality: an Introduction to Oriented Matroids, Springer-Verlag, 1992.

BALBINO, L.C.; BARCELLOS, A.O.; STONE, L.F. (Ed.). Marco referencial: Integração Lavoura-Pecuária-Floresta. Brasília: Embrapa, 130p. 2011.

BALBINO, L.C.; CORDEIRO, L.A.M.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; MORAES, A. de; MARTÍNEZ, G.B.; ALVARENGA, R.C.; KICHEL, A.N.; FONTANELI, R.S.; SANTOS, H.P. dos; FRANCHINI, J.C.; GALERANI, P.R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta no Brasil. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 46, n. 10, 2011.

BALBINO, L.C.; KICHEL, A. N.; BUNGENSTAB, D.J.; ALMEIDA, R. G. 2.Sistemas de integração: o que são, suas vantagens e limitações. In: BUNGENSTAB, D. J. (org.). Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: a produção sustentável, 2ª Edição, Brasília, DF: Embrapa, p. 12-18, 2012.

BALBINOT JUNIOR, A.A.; MORAIS, A.; VEIGA, M.; PELISSARI, A.; DIECKOW, J. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. Cienc. Rural, Santa Maria, v. 39, n. 6, Sept. 2009 .

BARBIERI, D.M.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G.T.; LA SCALA JUNIOR, N.; SIQUEIRA, D.S.; PANOSSO, A.R. Comportamento dos óxidos de ferro da fração argila e do fósforo adsorvido, em diferentes sistemas de colheita de cana-de-açúcar. Rev. Bras. Ciênc. Solo, Viçosa, v. 37, n. 6, dez. 2013.

BIGELOW, J. H. Using linear programming to design samples for a complex survey United States. Prepared for the United States Air Force, 2007.

BORGES, W. L. B.; FREITAS, R.S.; MATEUS, G.P. SÁ, M.E.; ALVES, M.C. Absorção de nutrientes e alterações químicas em Latossolos cultivados com plantas de cobertura em rotação com soja e milho. Rev. Bras. Ciênc. Solo, Viçosa, v. 38, n. 1, fev. 2014.

BRASIL. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Integração Lavoura-Pecuária Floresta – ILPF. Disponível em: < <https://www.Embrapa.br/tema-integracao-lavoura-pecuaria-floresta-ilpf/nota-tecnica>>. Acesso em: 8 de setembro de 2016.

BRASIL. Lei n.º 12.805, de 29 de abril de 2013. Institui a Política Nacional de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 30 de abril de 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Agronegócio. Disponível em: < <http://www.brasil.gov.br/sobre/economia/setores-da-economia/agronegocio>>. Acesso em: 31 de maio de 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Integração, Lavoura, Pecuária e Floresta. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/desenvolvimento-sustentavel/integracao-lavoura-pecuaria-silvicultura>>. Acesso em: 28 de agosto de 2016.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Cartilha Do Produtor: Integracao Lavoura Pecuaria Floresta. Disponível em: <www.fbb.org.br/.../C6FBF3101298EBF3BD983EA8/cartilha_ilpf_17_final.pdf> Acesso em: 4 de junho de 2016.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura: plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono) / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Ministério do Desenvolvimento Agrário, coordenação da Casa Civil da Presidência da República. – Brasília: MAPA/ACS, 2012. 173 p.

BRAZ, F.P.; MION, T.D.; GAMEIRO, A.H. Análise Socioeconômica Comparativa de Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária em propriedades rurais nas Regiões Sul, Sudeste e Centro-oeste do Brasil. *Informações Econômicas*, SP, v. 42, n. 2, mar. /abr. 2012.

CARVALHO, J.L.N.; AVANZI, J.C.; SILVA, L.M.N.; MELLO, C.R. de; CERRI, C.E.P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p.277-289, 2010.

CHAVES, S. S. de F.; FERNANDES, P. C. C.; FREITAS, D. R. de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta-análise e síntese do conhecimento por meio de meta-análise. In: Seminário Científico da UFRA, & Seminário [de Iniciação Científica] da Embrapa Amazônia Oriental, 13 Seminário de Pesquisa da UFRA, 1, 2009, Belém, PA. Pesquisa e desenvolvimento tecnológico na formação do jovem cientista: anais. Belém, PA: UFRA: Embrapa Amazônia Oriental, 2009.

COBUCCI, T.; WRUCK, F. J.; KLUTHCOUSKI, J.; MUNIZ, L. C.; MARTHA JUNIOR, G. B.; CARNEVALLI, R. A.; TEIXEIRA, S. R.; MACHADO, A. A.; TEIXEIRA NETO, M. L. Opções de Integração Lavoura-Pecuária e alguns de seus aspectos econômicos. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 28, n. 240, p. 64-79, 2007.

CRUZ, C.H.B. Ciência e tecnologia no Brasil. *Revista USP*, São Paulo, n.73, p. 58-90, março/maio 2007.

DELGADO, A.R.S.; VENTURA, S.D.; DIB, M.; RODRIGUES, P.P. Rotações de culturas agrícolas utilizando programação inteira binária. *Revista eletrônica Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento*, v.5, n.3, p. 428-442, 2013.

DIAS-FILHO, M.B. Os desafios da produção animal em pastagens na fronteira agrícola brasileira. *R. Bras. Zootec.*, v.40, p.243-252, 2011 (supl. especial).

DUARTE JÚNIOR, J.B.; COELHO, F.C. Rotação de Culturas. Programa de Desenvolvimento Rural Sustentável em Microbacias Hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro. Secretaria de Agricultura, Pecuária, Pesca e Abastecimento. Programa Rio Rural. Manual Técnico 22, 2010.

EISELT, H.A.; SANDBLOM, C.L. *Linear Programming and its Applications*. Springer-Verlag, 2007.

FAO. An international consultation on integrated crop-livestock systems for development. The Way Forward for Sustainable Production Intensification. *Integrated Crop Management Vol.13*, 2010.

FERNANDES, P. C. C.; GRISE, M.M.; ALVES, L.W.; SILVEIRA FILHO, A.; DIAS-FILHO, M.B. Diagnóstico e modelagem da integração lavoura e pecuária na região de Paragominas, PA. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2008. 31p. (Série Embrapa Amazônia Oriental. Documento 327).

FERNANDES, P. C. C.; FREITAS, D. R. de; CHAVES, S. S. de F.; SILVA, A. V.; ALVES, L. W. R.; SILVEIRA FILHO, A. Consolidação das pesquisas em Integração Lavoura-Pecuária-Floresta no Brasil. In: WORKSHOP INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA EM RONDÔNIA, 1. 2010, Porto Velho. Resumos expandidos... Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2010. p. 30-35. (Embrapa Rondônia. Documentos, 141).

FERREIRA, J.M.L.; MAURICIO, R.M.; MADUREIRA, A.P. Oportunidades e desafios na Integração Lavoura-Pecuária-Floresta. Informe Agropecuário, v.31, n, 257, p.112-120, 2010.

FERRIS, M.C.; MANGASARIAN, O.L.; WRIGHT, S.J. Linear Programming with MATLAB, University of Wisconsin–Madison Madison, Wisconsin, 2007.

FRANCHINI, J.C.; COSTA, J.M.; DEBIASI, H.; TORRES, E. Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná. Londrina, PR: Embrapa Soja, 52p. 2011. (Embrapa Soja. Documentos, 327).

FRANCHINI, J. ; DEBIASI, H.; WRUCK, F.J. ; SKORUPA, L.A. Integração Lavoura-Pecuária: Alternativa para diversificação e redução do impacto ambiental do sistema produtivo no Vale do Rio Xingu. Londrina-PR: Embrapa Soja, 2010 (Circular Técnica).

FREITAS, F.C.L.; FERREIRA, L.R.; MACHADO, A.F.L.; NASCIMENTO, P.G.H.L. Culturas agrícolas em Sistema Agrossilvipastoril. In: NETO, S.N.O.; VALE, A.B.; VILAR, M.B.; ASSIS, J.B. (orgs.). Sistema Agrossilvipastoril: integração lavoura, pecuária e floresta. 1ª Edição, Viçosa: Sociedade de Investigações Florestais, p. 69-104, 2010.

GAMEIRO, A.H.; CAIXETA FILHO, J.V.; BARROS, C.S. Modelagem matemática para o planejamento, otimização e avaliação da produção agropecuária. In: SANTOS, M.V.; ALBUQUERQUE, R.; RENNÓ, F.P.; SILVA, L.F.P. Novos desafios da pesquisa em nutrição e produção animal. Pirassununga, SP: Editora 5D; Programa de Pós-Graduação em Nutrição e Produção Animal, 260 p., 2010.

GOLDBARG, M. C.; LUNA, H.P.L. Otimização combinatória e programação linear: modelos e algoritmos, 2ª Edição, Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

GONÇALVES, S.L.; GAUDENCIO, C.A.; FRANCHINI, J.C.; GALERANI, P.R.; GARCIA, A. Rotação de Culturas. Londrina: Embrapa Soja, 9 p. 2007. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 45).

GUIMARÃES, C.M.; OLIVEIRA, I.P.; YOKOYAMA, L.P. Sistemas alternativos de produção de arroz após a pastagem. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. (orgs.). Integração lavoura-pecuária, 1ª Edição, Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, p. 333-343, 2003.

KICHEL, A. N.; BUNGENSTAB, D.J. ZIMMER, A.H.; SOARES, C.O.; ALMEIDA, R. G. Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta e o progresso do setor agropecuário

brasileiro. In: BUNGENSTAB, D. J. (org.). Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: a produção sustentável, 2ª Edição, Brasília, DF: Embrapa, p. 2-9, 2012.

KLUTHCOUSKI, J.; CORDEIRO, L.A.M.; VILELA, L.; MARCHÃO, R. L.; SALTON, J.C.; MACEDO, M.C.M.; ZIMMER, A.H.; BALBINO, L.C.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; MÜLLER, M.D. Conceitos e Modalidades da Estratégia de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta. In: CORDEIRO, L.A.M.; VILELA, L.; KLUTHCOUSKI, J.; MARCHÃO, R. L.; Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: o produtor pergunta, a Embrapa responde. (orgs.). Brasília, DF : Embrapa, p. 21-34, 2015.

LECCA, E.R. Cuaderno de investigacion de operaciones. Formulacion de Programas Lineales. Lima, Peru: Raffo-Lecca Editores, 79 p. 1986.

LINS, M. P. E.; CALÔBA, G. M. Programação linear: com aplicações em teorias dos jogos e avaliação de desempenho (data envelopment analysis), Rio de Janeiro: Interciência, 300 p. 2006.

LOPES, M.A. A agricultura e o desafio da sustentabilidade. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). Artigos técnicos. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/189985>> Acesso em: 17 de novembro de 2014.

LOSS, A. Dinâmica da matéria orgânica, fertilidade e agregação do solo em áreas sob diferentes sistemas de uso no cerrado goiano. 2011. 122f. Tese (Doutorado em Agronomia - Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2011.

LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; GIÁCOMO, S.G.; PERIN, A.; ANJOS, L.H.C. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.46, n.10, p.1269-1276, out. 2011.

MACEDO, M.C.M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. Revista Brasileira de Zootecnia, Viçosa, v. 38, supl. especial, p. 133-146, 2009.

MACEDO, M.C.M.; ARAÚJO, A. R. Sistemas de produção em integração: alternativa para recuperação de pastagens degradadas. In: BUNGENSTAB, D. J. (org.). Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: a produção sustentável, 2ª Edição, Brasília, DF: Embrapa, p. 28-48, 2012.

MAMEDE, R. R.; BUNGENSTAB, D. J.; BISCOLA, P. H. N.; CARROMEU, C.; SERRA, A. P. Empreendedorismo para a sustentabilidade em sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta. In: BUNGENSTAB, D. J. (org.). Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: a produção sustentável, 2ª Edição, Brasília, DF: Embrapa, p. 20-25, 2012.

MANZATTO, C.V.; RAMALHO FILHO, A.; COSTA, T.C.C.; SANTOS, M.L.M.; COELHO, M.R.; OLIVEIRA, R.P. Potencial de uso e uso atual das terras. IN: MANZATTO, C.V.; FREITAS JUNIOR, E.; PERES, J.R.R. (orgs.). Uso agrícola dos solos brasileiros. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, p. 13-21, 2002.

MARTHA JÚNIOR, G.B.; ALVES, E.; CONTINI, E. Dimensão econômica de sistemas de integração lavoura-pecuária. *Pesq. agropec. bras.* Brasília, v.46, n.10, p.1117-1126, out. 2011.

MARTHA JÚNIOR, G.B., BARCELLOS, A.O., VILELA, L.; SOUSA, D.M.G. Benefícios Bioeconômicos e Ambientais da Integração Lavoura-Pecuária. Planaltina, DF. Embrapa Cerrados: 28 p. 2006. (Embrapa Cerrados. Documentos, 154).

MATLAB. Funciones. MATLAB habla matemáticas. Disponível em: <<http://es.mathworks.com/products/MATLAB/features.html>> Acesso em: 29 de maio de 2016.

MATOUSEK, J.; GÄRTNER, B. Understanding and Using Linear Programming. Springer-Verlag, 2007.

NEMHAUSER, G.L.; WOLSEY, L.A.; 1. In: Publication, W.I. (Ed). Integer and combinatorial optimization. USA, 1999, p. 2-20.

NETTO, I. T. P.; KATO, E.; GOEDERT, W. J. Atributos físicos e químicos de um latossolo vermelho-amarelo sob pastagens com diferentes históricos de uso. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa, v. 33, n. 5, out. 2009.

OLIVEIRA, E.; MEDEIROS, G.B.; MARUN, F.; OLIVEIRA, J.C.; SÁ, J.P.G.; FILHO, A.C.; KRANZ, W.M.; SILVA JR, N.F.; ABRAHÃO, J.J.S.; GUERINI, V.L.; MARTIN, G.L. Recuperação de pastagens no Noroeste do Paraná. Bases para plantio direto e integração lavoura e pecuária. Instituto Agrônômico do Paraná, 96 p. 2000.

OLIVEIRA NETO, S.N.; PAIVA, H.N. Implantação e manejo do componente arbóreo em Sistema Agrossilvipastoril. In: NETO, S.N.O.; VALE, A.B.; VILAR, M.B.; ASSIS, J.B. (orgs.). Sistema Agrossilvipastoril: integração lavoura, pecuária e floresta. 1ª Edição, Viçosa: Sociedade de Investigações Florestais, p. 15-68, 2010.

PIRES, J.A.A.; ROSA, W.J.; EBOLI, I.P.; ALBERNAZ, W.M.; PINTO JÚNIOR, E.S.; MENDES, M.A. Programa Estadual de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta. Informe Agropecuário v.31, n, 257, p.122-127, 2010.

PUCCINI, A. L. Introdução à Programação Linear, Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 252 p. 1978.

ROMANO, P.A. Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: uma estratégia para a sustentabilidade. Informe Agropecuário, v.31, n, 257, p.7-15, 2010.

SALTON, J.C.; FABRÍCIO, A.C.; MACHADO, L. Integração Lavoura-Pecuária no sistema plantio direto. III Simpósio de Produção de Gado de Corte. Anais... Dourados, MG, 2002.

SALTON, J.C.; OLIVEIRA, P.; TOMAZI, M.; RICHETTI, A.; BALBINO, L.C.; FLUMIGNAM, D.; MERCANTE, F.M.; MARCHÃO, R. L.; CONCENÇO, G.; SCORZA JUNIOR, R.P.; ASMUS, G. L. Benefícios da Adoção da Estratégia de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta. In: CORDEIRO, L.A.M.; VILELA, L.; KLUTHCOUSKI, J.; MARCHÃO, R. L.; Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: o produtor pergunta, a Embrapa responde. (orgs.). Brasília, DF : Embrapa, p. 21-34, 2015.

SAMBUICHI, R.H.R. O desafio da sustentabilidade na produção agropecuária. Revista Desafios do Desenvolvimento, Ano 10, nº 80, 2014.

SANTOS, M.A.; VIEIRA FILHO, J.E.R. O agronegócio brasileiro e o desenvolvimento sustentável. Revista Desafios do Desenvolvimento, Ano 13, nº 87, 2016.

SANTOS, L.M.R.; SANTOS R.H.; ARENALES, M.N.; RAGGI, L.A. Um modelo para a programação de rotação de culturas. Pesq. Operacional, v. 27, n.3, 2007, p.535-547.

SILVA, J.L.S. Manejo sustentável de pastagem de estação fria em integração com arroz irrigado em uma unidade de transferência de tecnologias, Santa Vitória do Palmar, RS. Pelotas: Embrapa Clisilvama Temperado, 33 p. 2009. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 262).

SILVA, H.A.; MORAES, A.; CARVALHO, P.C.F. Maize and soybeans production in integrated system under no-tillage with different pasture combinations and animal categories. Revista Ciência Agronômica, v. 43, n. 4, p. 757-765, out-dez, 2012.

SILVEIRA, P.M. DA; STONE, L.F.; Sistemas de preparo do solo e rotação de culturas na produtividade de milho, soja e trigo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.7, n.2, 2003, p.240-244.

SOUZA, M.A.S.; FAQUIN, V.; GUELFI, D.R.; OLIVEIRA, G.C.; BASTOS, C.E.A. Acúmulo de macronutrientes na soja influenciado pelo cultivo prévio do capim-marandu, correção e compactação do solo. Revista Ciência Agronômica, v. 43, n. 4, p. 611-622, out-dez, 2012.

SPERA, S.T.; SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S.; DREON, G. Efeito de sistemas de Integração Lavoura-Pecuária sob plantio direto em alguns atributos físicos do solo. Rev. Bras. Ciênc. Agrár. Recife, v.7, n.3, p.388-393, 2012.

Silvio T. Spera¹ Henrique P. dos Santos^{2,5} Renato S. Fontaneli³ Geizon Dreoni⁴

TELLES, T. S.; GUIMARAES, M. F.; DECHEN, S. C. F. The costs of soil erosion. Rev. Bras. Ciênc. Solo, Viçosa, v. 35, n. 2, abr. 2011.

THIE, P.R.; KEOUGH, G.E. An Introduction to Linear Programming and Game Theory, 3ª Edição, John Wiley & Sons, 2008.

VANDERBEI, R.J. Linear Programming: Foundations and Extensions, 2ª Edição, United States of America, 2001.

VENTURIN, R.P.; GUERRA, A.R.; MACEDO, R.L.G.; VENTURIN, N.; MESQUITA, H.A. Sistemas Agrossilvipastoris: origem, modalidades e modelos de implantação. Informe Agropecuário, v.31, n. 257, p.16-24, 2010.

VILELA, L.; BARCELLOS, A. de O.; SOUSA, D.M.G. Benefícios da integração entre lavoura e pecuária. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2001. 21p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 42).

VILELA, L.; MACEDO, M.C.M.; MARHA JR, G.B.; KLUTHCOUSKI, J. Benefícios da integração lavoura-pecuária. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. (orgs.). Integração lavoura-pecuária, 1ª Edição, Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, p. 145-170, 2003.

VILELA, L.; MARHA JR, G.B.; MARCHÃO, R.L. A Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: alternativa para intensificação do uso da terra. Revista UFG, ano XIII nº 13, 2012.

YANG, X. Introduction to Mathematical Optimization – From Linear Programming to Metaheuristics, 1ª Edição, University of Cambridge, United Kingdom: Cambridge International Science Publishing, 2008.

ZIONTS, S. Linear and Integer Programming, New Jersey: Prentice-Hall, 514 p., 1974.

8 ANEXOS

Nesta seção, encontram-se os códigos utilizados para a implementação da programação inteira binária no MATLAB 7.4 utilizados para obtenção dos resultados dos ensaios numéricos: $m = 4$, $n = 4$ e $p = 2$ e $m = 10$, $n = 4$ e $p = 3$ apresentados na Tese. Cabe destacar que as funções do programa necessitam apenas dos parâmetros m , n e p . Na Tese, ambos ensaios numéricos consideram o valor $n = 4$, isto é, em ambos tem-se o número de glebas igual a quatro, no entanto, pode-se ter outros valores para n , pois o programa testa o número de glebas.

ANEXO A – Programação no MATLAB

1) Gerar valores aleatórios

```
function gera4( m, n, p );

% m: número de períodos
% n: número de glebas
% p: número de animais

save( 'data/parametros', 'm', 'n', 'p' );

P= rand(m,n,4);

for i=4:m
    for j= 1:n
        P(i,j,1)= P(i,j,1) - P(i-3,j,1) / 4;
        P(i,j,2)= P(i,j,2) - P(i-3,j,2) / 2;
        P(i,j,3)= P(i,j,3) - 3 * P(i-3,j,3) / 4;
        P(i,j,4)= P(i,j,4) - 3 * P(i-3,j,4) / 4;
    end
end
P= max(P,0);
save( 'data/peso', 'P' );

g= rand(m,n,p);
save( 'data/ganho', 'g' );

Si= ones(m,p);
Si(1,1:p)= ones(1,p);
for i= 2:m

    for j= 1:p
        Si(i,j)= Si(i-1,j);
    end

    q= round( p*rand );
    for j= 1:q
        Q= ceil( p*rand );
        Si(i,Q)= Si(i-1,Q) - 1;
```

```

    end
end
Si= max(Si,0);
save( 'data/Si', 'Si' );

Sibar= zeros(m,p);
for i= 1:m
    for r= 1:p
        if Si(i,r)==1
            Sibar(i,r)= round( rand );
        end
    end
end
save( 'data/Sibar', 'Sibar' );

end

```

2) Programação inteira binária

function rotacao

```

load( 'data/parametros' );
load( 'data/peso' );
load( 'data/ganho' );
load( 'data/Si' );
load( 'data/Sibar' );

%% *****
%% funcao objetivo:
%%           $\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^4 p(i,j,k) x(i,j,k) + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{r=1}^p g(i,j,r) y(i,j,r)$ 
%% *****

l= 1;
for i= 1:m
    for j= 1:n
        for k= 1:4
            f(l)= -P(i,j,k);
            l= l+1;
        end
    end
end

for i= 1:m
    for j= 1:n
        for r= 1:p
            f(l)= -g(i,j,r);

```

```

        l= l+1;
    end
end
end

%% *****
%% RESTRICOES
%% *****

%% restricao:
%%      sum_{j=1}^n x(i,j,k) = 1
%%      i= 1,...,m
%%      k= 0, 1, 2, 3
leq= 1;
for i= 1:4*n:4*n*(m-1)+1
    for k= i:i+3
        for j= k:4:k+4*(n-1)
            Aeq(leq,j)= 1;
        end
        beq(leq)= 1;
        leq= leq+1;
    end
end

%%%%% TESTA O NÚMERO DE GLEBAS //////////////////////////////////////

if n==4

    %%%% restricao:
    %%%%      sum_{k=0}^3 x(i,j,k) = 1
    %%%%      i= 1,...,m
    %%%%      j= 1, 2, 3, 4
    for i= 1:16:16*(m-1)+1
        for j= i:4:i+12
            for k= j:j+3
                Aeq(leq,k)= 1;
            end
            beq(leq)= 1;
            leq= leq+1;
        end
    end
    l= 1;

else

    %%%% restricao:
    %%%%      sum_{k=0}^3 x(i,j,k) <= 1
    %%%%      i= 1,...,m

```

```

%% j= 1,...,n
l= 1;
for i= 1:4*n:4*n*(m-1)+1
    for j= i:4:i+4*(n-1)
        for k= j:j+3
            A(l,k)= 1;
        end
        b(l)= 1;
        l= l+1;
    end
end

end

%%%% FIM DO TESTE DO NÚMERO DE GLEBAS //////////////////////////////////////

%% restricao:
%%       $x(i,j,k) + x(i+1,j,k) \leq 1$ 
%%      i= 1,...,m-1
%%      j= 1,...,n
%%      k= 0, 1, 2, 3
for i= 1:4*n:4*n*(m-2)+1
    for k= i:i+3
        for j= k:4:k+4*(n-1)
            A(l,j)= 1;
            A(l,j+4*n)= 1;
            b(l)= 1;
            l= l+1;
        end
    end
end

%% restricao:
%%       $x(i,j,0) - x(i+1,j,1) \leq 0$ 
%%      i= 1,...,m-1
%%      j= 1,...,n
for i= 1:4*n:4*n*(m-2)+1
    for j= i:4:i+4*(n-1)
        A(l,j)= 1;
        A(l,j+4*n+1)= -1;
        b(l)= 0;
        l= l+1;
    end
end

%% restricao:
%%       $x(i,j,1) - (x(i+1,j,2) + x(i+1,j,3)) \leq 0$ 
%%      i= 1,...,m-1

```

```

%%          j= 1,...,n
for i= 1:4*n:4*n*(m-2)+1
    for j= i+1:4:i+4*(n-1)+1
        A(l,j)= 1;
        A(l,j+4*n+1)= -1;
        A(l,j+4*n+2)= -1;
        b(l)= 0;
        l= l+1;
    end
end

%% restricao:
%%          x(i,j,2) - ( x(i+1,j,0) + x(i+1,j,3) ) <= 0
%%          i= 1,...,m-1
%%          j= 1,...,n
for i= 1:4*n:4*n*(m-2)+1
    for j= i+2:4:i+4*(n-1)+2
        A(l,j)= 1;
        A(l,j+4*n-2)= -1;
        A(l,j+4*n+1)= -1;
        b(l)= 0;
        l= l+1;
    end
end

%% restricao:
%%          x(i,j,3) - ( x(i+1,j,0) + x(i+1,j,2) ) <= 0
%%          i= 1,...,m-1
%%          j= 1,...,n
for i= 1:4*n:4*n*(m-2)+1
    for j= i+3:4:i+4*(n-1)+4
        A(l,j)= 1;
        A(l,j+4*n-3)= -1;
        A(l,j+4*n-1)= -1;
        b(l)= 0;
        l= l+1;
    end
end

%% *****

%% restricao:
%%          x(i,j,0) - y(i,j,r) <= 0
%%          i= 1,...,m
%%          j= 1,...,n
%%          r in Sibar
for i= 1:m

```



```

for j= 1:n
  for r= 1:p
    if Sibar(i,r)==1
      j1= m*n*4 + n*p*(i-1) + (j-1)*p + r;
      A(l,j1)= -1;
      j2= (i-1)*n*4 + (j-1)*4 + 1; %% <-----
      A(l,j2)= 1;
      b(l)= 0;
      l= l+1;
    end
  end
end
end

```

```

%% restricao:
%%      x(i,j,2) - y(i+1,j,r) <= 0
%%      i= 1,...,m-1
%%      j= 1,...,n
%%      r in Si(i+1)
for i= 1:m-1
  for j= 1:n
    for r= 1:p
      if Si(i+1,r)==1
        j1= m*n*4 + n*p*i + (j-1)*p + r;
        A(l,j1)= -1;
        j2= (i-1)*n*4 + (j-1)*4 + 3; %% <-----
        A(l,j2)= 1;
        b(l)= 0;
        l= l+1;
      else
        j1= m*n*4 + n*p*i + (j-1)*p + r;
        Aeq(leq,j1)= 1;
        beq(leq)= 0;
        leq= leq+1;
      end
    end
  end
end
end

```

```

%% restricao:
%%      x(i,j,3) - y(i+1,j,r) <= 0
%%      i= 1,...,m-1
%%      j= 1,...,n
%%      r in Si(i+1)
for i= 1:m-1
  for j= 1:n

```

```

for r= 1:p
    if Si(i+1,r)==1
        j1= m*n*4 + n*p*i + (j-1)*p + r;
        A(l,j1)= -1;
        j2= (i-1)*n*4 + (j-1)*4 + 4; %% <-----
        A(l,j2)= 1;
        b(l)= 0;
        l= l+1;
    else
        j1= m*n*4 + n*p*i + (j-1)*p + r;
        Aeq(leq,j1)= 1;
        beq(leq)= 0;
        leq= leq+1;
    end
end
end
end

%% restricao:
%%      sum_{r=1}^p y(i,j,r) + p*x(i,j,1) <= p
%%      i= 1,...,m
%%      j= 1,...,n
%%      r in Si
for i= 1:m
    for j= 1:n
        j1= 4*n*(i-1) + (j-1)*4 + 2;
        entrou= 0;
        for r= 1:p
            if Si(i,r)==1
                entrou= 1;
                A(l,j1)= p;
                j2= m*n*4 + n*p*(i-1) + (j-1)*p + r;
                A(l,j2)= 1;
            end
        end
        if entrou==1
            b(l)= p;
            l= l+1;
        end
    end
end
end

%% ajusta dimensões
[fm,fn]= size(f);
[Am,An]= size(A);
[bm,bn]= size(b);
[Aeqm,Aeqn]= size(Aeq);
A= [A zeros(Am,fn-An)];

```

```
Aeq= [Aeq zeros(Aeqm,fn-Aeqn)];
```

```
%% *****  
%% SOLVER  
%% *****
```

```
[y, fval, exitflag] = bintprog( f, A, b, Aeq, beq );
```

```
exitflag
```

```
%% *****  
%% CONVERSAO: y(l) -> x(i,j,k)  
%% *****
```

```
l= 1;  
for i= 1:m  
    for j= 1:n  
        for k= 1:4  
            X(i,j,k)= y(l);  
            l= l+1;  
        end  
    end  
end  
for i= 1:m  
    for j= 1:n  
        for r= 1:p  
            Y(i,j,r)= y(l);  
            l= l+1;  
        end  
    end  
end  
end
```

```
%% *****  
%% SAIDA  
%% *****
```

```
R= -1*ones( m, n );  
for i= 1:m  
    for j= 1:n  
        for k= 1:4  
            if X(i,j,k)==1  
                R(i,j)= k-1;  
            end  
        end  
    end  
end  
end  
R
```

```

for i= 1:m
    Yout= zeros(n,p);
    for j= 1:n
        for r= 1:p
            Yout(j,r)= Y(i,j,r);
        end
    end
    %% Yout
end

fout= ['data/saida.sol'];
fid= fopen( fout, 'wt' );
for i= 1:m
    Out= [];
    for j= 1:n
        k= R(i,j);
        if k==-1
            Out= [Out 'Vazio '];
        elseif k==0
            Out= [Out 'Pastagem '];
        elseif k==1
            Out= [Out 'Soja '];
        elseif k==2
            Out= [Out 'Milho+Capim '];
        elseif k==3
            Out= [Out 'Sorgo+Capim '];
        end
    end
    fprintf( fid, 'Periodo %d : %s\n', i, Out );
end

fprintf( fid, '\n' );

Yout= [];
for i= 1:m
    Out= [];
    for j= 1:n
        out= [];
        for r= 1:p
            if Y(i,j,r)==1
                out= mostrar( r, p, out );
            else
                if r>1
                    out= [out '-*'];
                elseif r==p
                    out= [out '-* '];
                else
                    out= '*';
                end
            end
        end
    end
end

```

```

        end
    end
end
    Out= [Out ' ' out];
end
    Yout= [Yout; Out];
    fprintf( fid, 'Periodo %d : %s\n', i, Out );
end

Yout

fclose( fid );

end

%% *****

function out= mostrar( r, p, out )

    if r>1
        out= [out '-' num2str(r)];
    elseif r==p
        out= [out '-' num2str(r) ' '];
    else
        out= num2str(r);
    end

end

end

```