

1. Introdução	262
2. Composição dos alimentos	262
3. Métodos de balanceamento de rações	263
3.1. Breve histórico sobre a formulação de rações	263
3.2. Procedimentos para a formulação de rações	264
3.3. Métodos Manuais para formular as rações	266
4. Avaliação de alimentos em ensaios de produção	276
5. Referências bibliográficas	279

Métodos para formular rações e avaliar alimentos

Capítulo

7

1. Introdução

O conhecimento da composição e do valor energético dos alimentos é de fundamental importância nutricional e econômica para a formulação de rações que resultem no desempenho ótimo dos animais.

É necessário, portanto, que se avalie cada um dos alimentos disponíveis para a alimentação animal, para que seja estabelecido um banco de dados que irá auxiliar o nutricionista na formulação de rações para as diferentes espécies animais. Para avaliação dos alimentos deve ser seguido um protocolo experimental. Primeiro, o alimento deve ser encaminhado ao laboratório para análises químicas e de controle de qualidade. Posteriormente, deve ser feita a determinação dos valores de energia digestível ou metabolizável em ensaios de digestibilidade para as diferentes espécies de animais.

O surgimento de novos cultivares, a influência do clima regional onde determinado alimento foi cultivado, a evolução genética dos próprios animais, entre outros fatores, fazem com que a determinação do valor nutricional dos alimentos seja um processo contínuo. Tal processo é fundamental para a atualização das Tabelas de Composição de Alimentos que são ferramentas importantes para o nutricionista a fim de que possa formular as rações, visando otimizar o desempenho dos animais e minimizar o custo de produção.

Neste capítulo, serão apresentadas as principais metodologias utilizadas para a formulação de rações para animais monogástricos, assim como as formas de comparar alimentos energéticos e protéicos nos ensaios de produção.

2. Composição dos alimentos

Como dito anteriormente, o alimento, antes de ser utilizado nas formulações das rações, deve ser encaminhado ao laboratório para realizar as análises de sua composição química bromatológica, determinação da matéria seca (MS), proteína bruta (PB), aminoácidos, extrato etéreo (EE), fibra (FB), cinzas, minerais e energia bruta (EB). Deve-se também realizar o controle de qualidade do alimento, por exemplo, verificar a presença de fatores antinutricionais e qualidade da proteína por meio de testes *in vitro* e análises laboratoriais.

Os métodos analíticos utilizados para determinar o conteúdo de nutrientes dos alimentos podem ser obtidos nas publicações técnicas da Association of Official Analytical Chemist - AOAC - (1990), de Silva e Queiroz (2003), ou do Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal (2005), publicado pelo Sindirações. Como exemplo, é mostrada, na **Tabela 1**, a composição do milho, do sorgo de baixo tanino e do farelo de soja.

Tabela 1 - Composição química do milho, do sorgo de baixo tanino e do farelo de soja.¹

Nutriente / Ingrediente	Milho	Sorgo	Farelo de Soja
Matéria Seca, %	87,11	87,97	88,59
Proteína Bruta, %	8,26	9,23	45,32
Lisina, %	0,24	0,20	2,77
Met. + Cis., %	0,36	0,32	1,27
Treonina, %	0,32	0,31	1,78
Gordura, %	3,61	3,00	1,66
Fibra Bruta, %	1,73	2,30	5,41
Matéria Mineral, %	1,27	1,86	5,90
Cálcio, %	0,03	0,03	0,24
Fósforo Total, %	0,24	0,26	0,53
Energia Bruta, kcal/kg	3.925	3.928	4.079

¹Valores obtidos de Rostagno *et al.* (2005).

Devem ser realizadas, ainda, análises para verificar a presença ou não de fatores antinutricionais, como exemplo, o conteúdo de tanino do sorgo, a atividade da urease e a solubilidade da proteína em KOH do farelo de soja. Por fim, deve-se observar a granulometria dos ingredientes e classificá-la de acordo com o protocolo do Ministério da Agricultura.

3. Métodos de balanceamento de rações

Na área de alimentação animal, um dos aspectos de maior importância é a formulação de rações. Dessa forma, destinou-se este capítulo para apresentar e discutir sobre alguns métodos para dar suporte aos nutricionistas e pesquisadores nessa formulação. Com o intuito de facilitar o entendimento dos diferentes métodos, estes serão descritos com exemplos práticos. Vale ressaltar que os métodos para o balanceamento de rações podem ser aplicados na alimentação de todas as espécies animais, mas a ênfase, neste capítulo, será em aves e suínos.

3.1. Breve histórico sobre a formulação de rações

Segundo Cullison (1975), os primeiros trabalhos relacionados com o balanceamento de rações datam do século XIX, quando, na Alemanha, Thaer voltou suas atenções para dar um tratamento científico na alimentação de rebanhos e publicou a primeira tabela conhecida como *Equivalentes Feno*, em 1810.

Na década de 40, nos Estados Unidos, o National Research Council (NRC) da National Academy of Sciences (NAS), iniciou uma série de publicações sobre as

exigências nutricionais de várias espécies animais. Em 1959, essas entidades publicaram um conjunto abrangente de tabelas contendo a composição de alimentos. Periodicamente, essas publicações têm sido revisadas e atualizadas, servindo de base para nutricionistas da área definirem as exigências nutricionais e a composição de alimentos.

No Brasil, a Universidade Federal de Viçosa iniciou, em 1974, uma série de trabalhos de pesquisa com o objetivo de construir uma tabela de composição de alimentos e exigências nutricionais com dados obtidos no país. Em 1983, foi publicada a primeira Tabela Brasileira de Composição de Alimentos e Exigências Nutricionais. A contínua realização de pesquisas permitiu a publicação, no ano 2000, da primeira Edição das Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos (Rostagno *et al.*, 2000), que teve a segunda edição no ano de 2005.

3.2. Procedimentos para a formulação de rações

A formulação de rações exige algumas diretrizes para que o processo seja realizado da maneira mais eficiente possível. A seguir, são apresentados os procedimentos recomendados por Silvestre e Rostagno (1983) para formular rações.

3.2.1. Caracterização dos animais

As exigências nutricionais são definidas a partir das características dos animais e podem variar com a aptidão e a fase de vida dos mesmos (**Tabela 2**).

Tabela 2 - Exemplo da classificação dos animais por fase (idade ou faixa de peso).

Suínos		Aves	
Pré-inicial	5 a 15 kg	Pré-inicial	1 a 7 dias
Inicial	15 a 30 kg	Inicial	8 a 21 dias
Crescimento	30 a 60 kg	Crescimento I	22 a 33 dias
Terminação	60 aos 110 kg	Crescimento II	34 a 42 dias
Fêmeas gestantes		Terminação	42 a 46 dias
Fêmeas lactantes		Galinhas de Postura	20 a 80 semanas
Machos reprodutores		Matrizes Pesadas	24 a 60 semanas

No caso das aves, leva-se em consideração a aptidão do animal, corte ou postura. Frangos de corte, normalmente, têm suas exigências definidas conforme as fases inicial de 1 a 21 dias e de crescimento de 22 a 42 dias. Com relação às aves de postura, deve-se considerar a linhagem, leves ou pesadas, com suas respectivas exigências subdivididas em fases, inicial, cria, recria e postura. Outros fatores, como sexo e estado sanitário do animal também podem ser levados em conta.

3.2.2. Definição das exigências dos animais

As exigências dos animais são encontradas em Tabelas, como as do National Research Council (NRC), que são mundialmente conhecidas. No Brasil, as *Tabelas*

Brasileiras para Aves e Suínos, publicadas pela Universidade Federal de Viçosa a partir de dados obtidos em pesquisas realizadas no país, têm sido a versão mais consultada pelos técnicos.

De maneira geral, as exigências são apresentadas de duas formas: em termos absolutos, isto é, em quantidades exigidas de cada nutriente por dia, por exemplo, 14,9 g/dia de cálcio; ou em termos relativos, isto é, quantidade de nutrientes expressa em porcentagem da dieta. Exemplo: dieta contendo 0,71% de cálcio.

3.2.3. Escolha e composição dos alimentos

Os alimentos e ingredientes devem ser escolhidos e combinados de tal maneira que permitam uma formulação de ração que seja nutricionalmente equilibrada, palatável e econômica.

A composição dos alimentos também pode ser encontrada nas mesmas tabelas que contêm as exigências, bem como em trabalhos científicos da área de nutrição e tabelas específicas, como a *Tabela de composição química e valores energéticos de alimentos para suínos e aves*, publicada pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), no ano de 1991.

Os alimentos utilizados na formulação de rações para suínos e aves são divididos em dois grandes grupos, os alimentos protéicos e os energéticos, sendo a alimentação desses animais, no país, à base de farelo de soja e milho. O conhecimento das informações nutricionais é importante não só para a combinação racional dos diferentes ingredientes da ração, mas também para eventuais substituições dentro dos dois grupos. Além disso, os possíveis fatores antinutricionais dos alimentos devem ser conhecidos, obedecendo a níveis máximos de inclusão para os diferentes estágios de vida do animal.

De forma sucinta, os seguintes passos devem ser realizados para o balanceamento de rações:

- Caracterizar os animais de acordo com o estágio de desenvolvimento, sexo, linhagem, dentre outros;
- Verificar as exigências de todos os nutrientes dos animais de acordo com a caracterização mencionada no item anterior;
- Levantar e quantificar os alimentos disponíveis para o programa alimentar. Nesse momento é oportuno relacionar o preço dos diferentes alimentos, ou seja, realizar uma análise econômica dos alimentos disponíveis na região;
- Relacionar a composição química e o valor nutritivo dos alimentos a serem utilizados, considerando-se todos os nutrientes de interesse;
- Proceder ao balanceamento da ração para a proteína bruta e energia (Energia Metabolizável ou, mais recentemente, Energia Líquida);
- Ajustar a ração para outros nutrientes, tais como aminoácidos essenciais, cálcio, fósforo, potássio e sódio;
- Depois de concluído o cálculo da ração, verificar se todas as exigências foram atendidas.

3.3. Métodos Manuais para formular as rações

3.3.1. Método da Tentativa

Neste método, nenhum procedimento matemático é utilizado para a formulação da ração. O cálculo é feito por meio de tentativa, aumentando ou diminuindo as quantidades dos alimentos até que as exigências do animal sejam atendidas. Inicialmente, formulam-se mentalmente as proporções dos diversos alimentos para compor a ração final. A seguir, são feitos os cálculos dos teores de proteína e energia desta ração. É muito provável que esses valores não coincidam com as exigências nutricionais do animal apresentadas nas Tabelas. Assim, aproximações adicionais devem ser realizadas até que a composição desejada seja alcançada. Esse método exige do técnico uma experiência prática, caso contrário, ele poderá se tornar muito trabalhoso. Como exemplo, na **Tabela 3** são apresentadas as exigências nutricionais dos animais e, na **Tabela 4**, os alimentos disponíveis e respectivas composições.

Tabela 3 - Exemplo da exigência nutricional de frangos de corte na fase de retirada (43 a 46 dias).

Nutrientes	Exigências
Energia Metabolizável, kcal/kg	3.200
Proteína, %	17,24
Cálcio, %	0,73
Fósforo Disponível, %	0,56

Fonte: Rostagno *et al.*, 2005.

Tabela 4 - Composição química dos alimentos disponíveis.

Alimentos	Nutrientes ¹			
	EM Kcal/kg	PB %	Ca %	P disp. %
Milho Grão	3.340	8,26	0,03	0,08
Farelo de Soja	3.154	45,32	0,24	0,18
Óleo de Soja	8.300	-	-	-
Calcário	-	-	38,4	-
Fosfato Bicálcico	-	-	24,5	18,5

¹Fonte: Rostagno *et al.*, 2005. EM: Energia Metabolizável; PB: Proteína Bruta; Ca: Cálcio; P disp: Fósforo disponível.

Baseando-se nas exigências dos frangos e na composição dos alimentos, calcula-se a ração por tentativas, isto é, ajustando-se as quantidades dos alimentos até que as exigências sejam atendidas. A dieta balanceada pelo método das tentativas, após os ajustes, é mostrada na **Tabela 5**. O fósforo disponível continua deficiente, sendo necessária uma nova tentativa para atender a exigência de todos os nutrientes escolhidos. Nesse caso, seria recomendável aumentar o fosfato bicálcico para atender o fósforo e reduzir o milho (alimento energético), pois a energia metabolizável ultrapassou a exigência.

3.3.2. Quadrado de Pearson

É um método simples e o mais fácil de se usar para balancear uma ração.

Leva em consideração o valor relativo (porcentual) de um determinado nutriente, normalmente a proteína. Nesse método, podem ser utilizados dois alimentos ou grupos de alimentos previamente misturados.

Tabela 5 - Dieta balanceada para frangos de corte de alto potencial genético na fase de retirada (43 a 46 dias).

Alimentos	Quantidade na Ração	Nutrientes			
		EM	PB	Ca	Pdisp
Milho Grão	73,2	2.445	6,05	0,022	0,176
Farelo de Soja	25,0	788,5	11,33	0,060	0,132
Óleo de Soja	-	-	-	-	-
Calcário	1,5	-	-	0,575	-
Fosfato Bicálcico	0,3	-	-	0,073	0,055
Composição Ração	100	3.233,5	17,37	0,730	0,159
Exigências		3.200	17,24	0,730	0,360

Passos a serem seguidos para o uso do Quadrado de Pearson:

- Desenhar um quadrado e colocar a porcentagem desejada do nutriente no centro do quadro;
- Colocar conteúdo de nutriente (proteína) em porcentagem de cada alimento nos ângulos esquerdos do quadrado;
- A base de referência (matéria seca ou matéria natural) deve ser a mesma para a exigência e o teor de nutrientes nos alimentos;
- Subtrair diagonalmente no quadrado os menores números dos maiores e colocar os resultados nos ângulos direitos do quadrado;
- É necessário que o número do centro do quadrado esteja entre os valores dos números dos ângulos esquerdos;
- As quantidades de cada alimento devem ser expressas em porcentagem do total.

Como exemplo do uso do Quadrado de Pearson, os seguintes cálculos são apresentados:

a) Cálculo com dois alimentos:

Balanceamento de uma ração para suínos de médio potencial genético na fase de crescimento. Na **Tabela 6** estão apresentadas as exigências dos animais e, na **Tabela 7**, são apresentados os alimentos disponíveis e respectivas composições.

Foi considerado nesse exemplo, um espaço de 5% como margem de segurança para que nele sejam incluídas as fontes minerais, vitamínicas e aditivos. Dessa forma, a proteína deve ser corrigida, valendo-se de uma regra de três invertida, para que se possa iniciar a aplicação do Quadrado de Pearson.

O próximo passo será calcular as quantidades de cálcio, fósforo e energia metabolizável e aminoácidos, fornecidas pelos dois ingredientes (milho e farelo de soja), para determinar quanto deve ser adicionado dos outros ingredientes.

A seguir, são feitas as suplementações com os ingredientes disponíveis, neste caso fosfato bicálcico, calcário, óleo de soja, L-Lisina HCl, DL-Metionina e L-Treonina, tendo em vista a correção das deficiências dos nutrientes.

Fósforo (Exigência - 0,459%):

Milho: 0,24% de P
 $74,54\% \times 0,24 \div 100 = 0,179\%$

Farelo de Soja: 0,53% de P
 $20,46\% \times 0,53 \div 100 = 0,108\%$

Total fornecido pela mistura: 0,287%

Déficit de acordo com a exigência do animal: $0,459 - 0,287 = 0,17\%$ de P

Fósforo - Suplementação com Fosfato Bicálcico:

Déficit = 0,17%

Fosfato Bicálcico: 24,5% de Cálcio e 18,5% de Fósforo

Para a correção, deve-se adicionar, 0,92% de Fosfato Bicálcico.

Cálcio (Exigência 0,551%):

Milho: 0,03% de Ca
 $74,54\% \times 0,03 \div 100 = 0,022\%$

Farelo de Soja: 0,24% de Ca
 $20,46\% \times 0,24 \div 100 = 0,049\%$

Fosfato Bicálcico: 24,5% de Cálcio
 $0,92\% \times 24,5 \div 100 = 0,225\%$

Total fornecido pela mistura: 0,296%

Déficit de acordo com a exigência do animal: $0,551 - 0,296 = 0,255\%$ de Ca

Cálcio - Suplementação com Calcário

Déficit = 0,255%

Calcário: 38,4% de Cálcio

Para a correção, deve-se adicionar, 0,664% de Calcário.

Sódio - Suplementação com Sal

Déficit = 0,17% (desconsiderar o sódio fornecido pelo Milho e o F. Soja)

Sal: 39,7% de Sódio

Deve-se adicionar, 0,428% de Sal.

Lisina Digestível (Exigência 0,829%):

Milho: 0,19% de Lisina
 $74,54\% \times 0,19 \div 100 = 0,142\%$

Farelo de Soja: 2,53% de Lisina
 $20,46\% \times 2,53 \div 100 = 0,518\%$

Total fornecido pela mistura: 0,660%

Déficit de acordo com a exigência do animal: $0,829 - 0,660 = 0,169\%$

Lisina - Suplementação com L-Lisina HCl

Déficit = 0,169%

L-Lisina HCl: 78,4% de Lisina

Para a correção, deve-se adicionar, 0,215% de L-Lisina HCl

Metionina + Cistina Digestível (Exigência 0,479%):

Milho: 0,32% de Metionina+Cistina
 $74,54\% \times 0,32 \div 100 = 0,238\%$

Farelo de Soja: 1,16% de Metionina+Cistina
 $20,46\% \times 1,16 \div 100 = 0,237\%$

Total fornecido pela mistura: 0,475%

Déficit de acordo com a exigência do animal: $0,497 - 0,475 = 0,022\%$ de Metionina+Cistina

Metionina + Cistina - Suplementação com DL-Metionina (99%)

Déficit = 0,022%

DL-Metionina: 99% de Metionina

Para a correção, deve-se adicionar, 0,023% de DL-Metionina

Treonina Digestível (Exigência 0,539%):

Milho: 0,26% de Treonina
 $74,54\% \times 0,26 \div 100 = 0,193\%$

Farelo de Soja: 1,55% de Treonina
 $20,46\% \times 1,55 \div 100 = 0,317\%$

Total fornecido pela mistura: 0,510%

Déficit de acordo com a exigência do animal: $0,539 - 0,510 = 0,029\%$

Treonina - Suplementação com L-Treonina (98%)

Déficit = 0,029%

L-Treonina: 98% de Treonina

Para a correção, deve-se adicionar, 0,030% de L-Treonina

Energia Metabolizável (Exigência 3.230 kcal/kg)

Milho: 3.340 kcal/kg de EM
 $0,7454 \times 3.340 = 2.489,7$

Farelo de Soja: 3.154 kcal/kg de EM
 $0,2046 \times 3.154 = 645,3$

Total fornecido pela mistura: 3.135 kcal/kg

Acrescentar a EM fornecida pelos aminoácidos adicionados (Lisina, Metionina e Treonina) = 12 kcal/kg

Déficit de acordo com a exigência do animal: $3.230 - 3.147 = 83$ kcal/kg

Para a correção, deve-se adicionar 1,0% de Óleo de Soja (8.300 kcal/kg de EM) na ração.

É necessário verificar se as exigências nutricionais dos animais foram atendidas pela ração, somando-se as quantidades de nutrientes fornecidas por cada ingrediente.

Proteína:

$$(74,54 \times 8,26\%) + (20,46 \times 45,24\%) = 6,16 + 9,26 = 15,42$$

Energia Metabolizável

$$(0,7454 \times 3.340) + (0,2046 \times 3.154) + (0,01 \times 8.300) + 12 = 3.230$$

A ração balanceada para suínos de médio potencial genético na fase de crescimento é apresentada na **Tabela 8**.

Tabela 8 - Dieta balanceada para suínos de médio potencial genético na fase de crescimento.

Alimentos	Ração A	Ração B ¹
Milho Grão	74,54	75,76
Farelo de Soja	20,46	20,46
Óleo de Soja	1,00	1,00
Calcário	0,664	0,664
Fosfato Bicálcico	0,920	0,92
Sal	0,428	0,428
L-Lisina HCl	0,215	0,215
DL-Metionina	0,023	0,023
L-Treonina	0,030	0,030
Supl. Min. Vit. Aditivos	0,500	0,500
Total	98,78	100,00
Composição Nutricional		
Energia Metabolizável, kcal/kg	3230	3271
Proteína, %	15,43	15,53
Lisina Digestível, %	0,829	0,831
Metionina+Cistina Digestível, %	0,479	0,503
Treonina Digestível, %	0,539	0,542
Cálcio, %	0,551	0,551
Fósforo, %	0,459	0,459
Sódio, %	0,170	0,170

¹-Ração B = Ração A com adição de milho para completar 100%

Observação: Para completar 100% da ração, deve-se modificar a quantidade de milho, retirando-se ou adicionando-se milho para chegar a 100%. Nesse caso, foi adicionado 1,22% de milho.

b) Cálculo com três alimentos:

Antes de aplicar o Quadrado de Pearson, deve-se estabelecer uma proporção entre os dois alimentos semelhantes. Essa proporção é estabelecida por causa da limitação pré-estabelecida do componente na ração, do custo, disponibilidade ou fator antinutricional.

Nesse caso, foi estabelecido um nível de inclusão de 20% de Farelo de Trigo na mistura energética. A mistura conterà, portanto, 80% de milho e 20% de farelo de trigo.

Milho (8,26% de PB): $80\% \times 8,26 = 6,61\%$

Farelo de Trigo (15,52% de PB): $20\% \times 15,52 = 3,11\%$

Proteína Bruta da mistura = 9,72%

Usando-se o Quadrado de Pearson com os teores protéicos do Farelo de Soja e da mistura Milho + Farelo de Trigo, tem-se:

Exigência = 15,43% de Proteína Bruta

Espaço = 5%

Correção do nível de PB para 95%:

15,43% PB _____ 95% (fator de correção)

X = 16,24% _____ 100%

PB da Mistura	9,72	29,08
	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">16,24%</div>	
PB do Farelo de Soja	45,32	$\frac{6,52}{35,60}$

Para determinar as quantidades de cada um dos alimentos, adotam-se os seguintes procedimentos:

$29,08 \div 35,60 \times 95$ (fator de correção) = 77,60% de inclusão da Mistura;

$6,52 \div 35,60 \times 95$ (fator de correção) = 17,40% de inclusão de Farelo de Soja.

A partir desse ponto, os procedimentos seguem da mesma forma que foi demonstrado no exemplo anterior.

c) Cálculo com mais de três alimentos:

O raciocínio para o cálculo é idêntico ao exemplo anterior, isto é, sempre com a preocupação de se obterem, previamente, apenas dois grupos de misturas, antes de se utilizar o quadrado.

3.3.3. Equações algébricas

O sistema de equações algébricas, assim como o Quadrado de Pearson, é um método simples para se calcular uma mistura de alimentos, levando-se também em consideração o porcentual desejado de um nutriente na ração. No exemplo que se segue, o nutriente considerado é a proteína, e o cálculo será realizado com dois alimentos.

O cálculo é realizado valendo-se de um sistema de duas equações com duas incógnitas. A seguir, será exemplificado o balanceamento de uma ração para suínos com 18% de proteína bruta (PB). Os alimentos disponíveis são o milho, com 8,26% de PB e o farelo de soja, com 45,24% de PB.

Desenvolvimento do cálculo:

X = kg de milho

Y = kg de farelo de soja

Z = 4 (espaço - 4%, para o premix mineral e o vitamínico)

$$\begin{cases} \text{Equação I} \rightarrow X + Y + 4 = 100 \\ \text{Equação II} \rightarrow (X \times 0,0826) + (Y \times 0,4524) = 18 \end{cases}$$

$$\begin{cases} X + Y = 96 \rightarrow X = 96 - Y \text{ (I)} \\ (X \times 0,0826) + (Y \times 0,4524) = 18 \text{ (II)} \end{cases}$$

Substituindo I em II temos:

$$\begin{aligned} (96 - Y) \times 0,0826 + (0,4524 Y) &= 18 \\ 7,93 - 0,0826Y + 0,4524Y &= 18 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,37 Y &= 10,07 \rightarrow Y = 27,22 \\ X = 96 - 27,22 &\rightarrow X = 68,78 \end{aligned}$$

Milho = 68,78%

Farelo de Soja = 27,22%

Para desenvolver o método das equações algébricas, assim como do Quadrado de Pearson, é necessário conhecer a composição dos alimentos e o teor desejado do nutriente na ração. Mais de dois alimentos poderão ser usados, bastando para isso atribuir uma incógnita para cada um deles. Entretanto, o uso de mais de três incógnitas torna-se mais trabalhoso.

Ainda neste método, pode ser utilizado o sistema de equações algébricas simultâneas, por intermédio da combinação de dois alimentos (ou grupos de alimentos), com o objetivo de se determinar as quantidades exigidas por um animal, não só de um nutriente, mas de dois, como proteína e energia.

3.3.4. Método de Programação Linear

O complexo problema da escolha dos alimentos e da quantidade exata de cada um deles na ração, contendo todos os nutrientes para o máximo desempenho dos animais, é bastante facilitado pela utilização de computadores.

O método de programação linear utilizando o computador permite ao nutricionista chegar à formulação de rações de custo mínimo para animais de produção. A utilização desse método torna-se mais importante ainda quando existe no mercado um grande número de alimentos para calcular a ração. Essa

metodologia é largamente utilizada na indústria de rações e vem sendo adotada por produtores que desejam diminuir seus custos de produção.

A dinâmica do cálculo de ração por computador exige do nutricionista uma participação e um entendimento do processo para que a execução ocorra dentro dos padrões necessários.

Para se calcular rações utilizando essa metodologia, são necessárias as seguintes informações: preços dos alimentos, alimentos disponíveis, composição dos alimentos, exigências nutricionais dos animais e restrições ou limitações dos alimentos.

O problema consiste em combinar os alimentos disponíveis na proporção adequada para fornecer todos os nutrientes exigidos pelo animal a custo mínimo. O computador, por meio do método de programação linear, calcula rapidamente todas as alternativas e dá ao nutricionista a possibilidade de optar pela solução de menor custo.

No entanto, o computador somente realiza cálculos. É dever do nutricionista fornecer e atualizar dados de preços dos alimentos, composição química, exigências e restrições com maior precisão para que a solução obtida seja a correta.

Abaixo seguem exemplos de equações utilizadas pelo *software* para realizar os cálculos de acordo com cada restrição.

a) Equação de quantidade:

$$A \times \text{Milho} + B \times \text{Farelo de Soja} + C \times \text{Óleo de Soja} + D \times \text{Fosfato Bicálcico} + E \times \text{Calcário} + F \times \text{L-Lisina HCl} + G \times \text{DL-Metionina} + H \times \text{L-Treonina} + I \times \text{Premix} = 100$$

Observação: A, B, C, etc. referem-se às quantidades de cada ingrediente de cada batida. Notem que a equação está ajustada numa igualdade, em que a soma das quantidades de ingredientes deve ser igual a 100 (100 kg ou 100%) ou 1.000 ou 2.000.

b) Equação de custo:

$$P1 \times A \text{ Milho} + P2 \times B \text{ Farelo de Soja} + P3 \times C \text{ Óleo de Soja} + P4 \times D \text{ Fosfato Bicálcico} + P5 \times E \text{ Calcário} + P6 \times F \text{ L-Lisina HCl} + P7 \times G \text{ DL-Metionina} + P8 \times H \text{ L-Treonina} + P9 \times I \text{ Premix} = \text{Mínimo custo}$$

Em que: P1, P2, P3 etc. referem-se ao custo de cada ingrediente. Notem que a equação está ajustada numa restrição na qual o resultado da multiplicação das quantidades (A, B, C. ..) pelo custo de cada ingrediente deve resultar em um valor de mínimo custo.

c) Equação de proteína:

$$8,26 \times A \text{ Milho} + 45,32 \times B \text{ Farelo de Soja} + 0 \times C \text{ Óleo de soja} + 0 \times D \text{ Fosfato Bicálcico} + 0 \times E \text{ Calcário} + 85,81 \times F \text{ L-Lis} + 59,38 \times G \text{ DL-Met} + 78,09 \times H \text{ L-Treon} + 0 \times I \text{ Premix} \geq 15,43$$

Observação: Nessa equação, o valor da proteína bruta de cada ingrediente é multiplicado pelas suas respectivas quantidades obtidas na equação I, devendo o resultado ser igual ou maior que o valor da exigência (15,43%). Notem que o óleo de soja, fosfato bicálcico, calcário e o premix não possuem proteína, logo, sua contribuição na proteína bruta da ração é nula.

d) Equação do cálcio:

$$0,03 \times A \text{ Milho} + 0,24 \times B \text{ Farelo de Soja} + 0 \times C \text{ Óleo de soja} + 24,8 \times D \text{ Fosfato Bicálcico} + 38,4 \times E \text{ Calcário} + 0 \times F \text{ L-Lis} + 0 \times G \text{ DL-Met} + 0 \times \text{HL-Treon} + 0 \times \text{Premix} \geq 0,551 \text{ e } \leq 0,551.$$

Observação: Nesta equação para cálculo do cálcio presente nos alimentos, a restrição imposta pela equação restringe a quantidade de cálcio para exatamente 0,551 %, impedindo que quantidades excessivas de cálcio sejam adicionadas na ração, uma vez que o excesso poderia prejudicar o desempenho devido a mudança da relação Ca:P.

e) Equação do fósforo disponível:

$$0,08 \times A \text{ Milho} + 0,18 \times B \text{ Farelo de Soja} + 0 \times C \text{ Óleo de soja} + 18,5 \times D \text{ Fosfato Bicálcico} + 0 \times E \text{ Calcário} + 0 \times F \text{ L-Lis} + 0 \times G \text{ DL-Met} + 0 \times \text{HL-Treon} + 0 \times \text{Premix} \geq 0,459$$

Como as equações descritas acima, muitas outras fazem parte do cálculo da formulação realizado pela programação linear, como as equações para energia, lisina, metionina e todos os demais nutrientes.

Os *softwares* para cálculo de rações baseiam-se numa planilha de dados contendo informações sobre o preço e o conteúdo do nutriente de cada alimento, exigências nutricionais dos animais em determinada fase. Por meio das equações citadas anteriormente, solucionadas simultaneamente, o programa fornece a ração de mínimo custo, de maneira simplificada e rápida.

Na **Tabela 9**, é mostrado um exemplo de como é formada a planilha de dados com informações-chave para que o cálculo de ração seja realizado pela programação linear.

Geralmente as rações calculadas pelo computador resultam em menor preço/kg de ração do que rações calculadas manualmente. Estudos realizados na Universidade Federal de Viçosa mostraram que os preços/kg de ração de aves calculadas manualmente foram sempre superiores aos preços/kg das rações calculadas por *software* (programação linear), sendo, em média, 1,7% a 4,7% superiores (Franqueira *et al.*, 1981).

Tabela 9 - Planilha de dados com informações-chave para o cálculo de rações por meio da programação linear.

Nutrientes	Alimentos										Tipo Animal	
	Calcário	DL-Metionina	Fosfato Bicálcico	L-Lisina HCL	Milho	Óleo de Soja	Farelo de Soja	Sal	Premix Min. Vit.	Suínos Exigências		
										Min.	Max.	
Cálcio	38,4	0	24,80	0	0,03	0	0,24	0	0	0,551	0,551	
EM suínos	0	5.475	0	4.599	3.340	8.300	3.154	0	0	3.230	9.999	
EM aves	0	5.020	0	3.762	3.546	8.790	2.256	0	0			
Fibra Bruta	0	0	0	0	1,73	0	5,41	0	0			
Fósforo Total	0	0	18,50	0	0,24	0	0,53	0	0			
Fósforo Disp.	0	0	18,50	0	0,08	0	0,18	0	0	0,459	9.999	
Lis. Dig.	0	0	0	77,40	0,21	0	2,55	0	0	0,829	9.999	
Met+Cist. Dig.	0	0	0	0	0,33	0	1,11	0	0	0,497	9.999	
Prot. Bruta	0	59,38	0	85,81	8,26	0	45,32	0	0	15,43	9.999	
Treonina Dig.	0	0	0	0	0,27	0	1,57	0	0	0,539	9.999	
Triptofano Dig.	0	0	0	0	0,06	0	0,56	0	0	0,129	9.999	
Preço	0,13	6,40	0,80	4,41	0,22	1,80	0,55	0,13	4,5	Mínimo		
Restrições												
Mínimo	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25	Σ Alimentos =		
Máximo	100	100	100	100	100	7	100	100	0,25	100		

Observação: Na parte inferior da planilha, encontra-se o valor máximo permitido para a inclusão dos alimentos (restrições). Notem que o alimento *óleo de soja* possui valor limitado de inclusão em 7%, já que quantidades superiores não são recomendadas por causarem problemas de *emplastamento* da ração.