Dataset Reports 3:1 (2024)
ISSN 2965-1182

ARTIGO DE REVISÃO

DATASET REPORTS

Fatores que afetam a produção e a composição do leite – Proteína

Factors affecting milk production and composition – Protein

Fagton de Mattos Negrão [ab*], Moacir Ferreira Duarte Júnior [b], Renata Pereira da Silva Marques [b], Emerson Silva Miranda [ab], Daniel de Paula Sousa [b], Luciano da Silva Cabral [b]

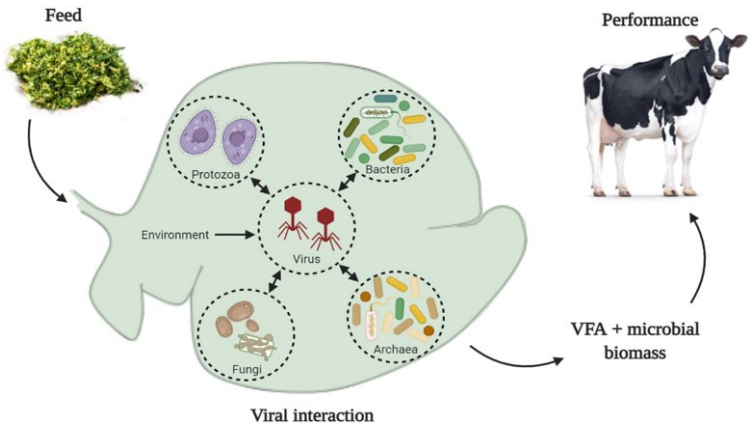
[a] Faculdade de Zootecnia, Instituto Federal de Rondônia, 76993-000, Colorado do Oeste, Rondônia, Brasil.
[b] Faculdade de Agronomia e Zootecnia, Universidade Federal de Mato Grosso, 78060-900, Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.

Resumo
Os conceitos de nutrição proteica evoluíram consideravelmente nas últimas décadas e, a partir da década de 1980, o desenvolvimento e o aprimoramento dos ensaios de metabolismo possibilitaram o desenvolvimento do método de exigências fatoriais. Este método divide as necessidades proteicas do animal em necessidades de manutenção e produção, onde as necessidades de manutenção consistem em nitrogênio (N) urinário endógeno, N proveniente da descamação (pele e pelo) e N metabólico fecal, e as necessidades de produção consistem em N necessário para o feto. , crescimento e lactação. Além disso, a amônia presente no rúmen é originária das seguintes fontes: degradação de proteínas verdadeiras e nitrogênio não proteico (NNP) na ração, N reciclado para o rúmen na forma de ureia e degradação de células microbianas mortas no rúmen. A eficácia do uso da amônia pelos microrganismos do rúmen para a síntese microbiana depende principalmente da quantidade de energia disponível. A porção de amônia não utilizada para a síntese microbiana é absorvida através da parede ruminal por difusão e transportada para o fígado através da veia porta. A amônia é absorvida pela parede ruminal na sua forma não ionizada (NH_3), enquanto na sua forma ionizada (NH_4^+) não é absorvida pela parede ruminal. Os aminoácidos são classificados em essenciais e não essenciais e a quantidade e qualidade que chegam ao intestino delgado dos ruminantes é resultado daqueles provenientes da proteína microbiana do rúmen e da fração proteica da dieta não degradada no rúmen. Contudo, a proteína microbiana sintetizada pode não fornecer quantidades suficientes de aminoácidos para atender às necessidades de vacas leiteiras de alta produção. Nesse sentido, objetivou-se realizar um levantamento de informações visando desmistificar a utilização de diferentes fontes de proteína na produção e composição do leite.
Palavras-chave: Ácidos graxos voláteis, aminoácidos. amônia. massa microbiana. nitrogênio.

Abstract
The concepts of protein nutrition have evolved considerably over the past decades. Since the 1980s, the development and refinement of metabolism assays have enabled the development of the factorial requirements method. This method divides the protein needs of animals into maintenance and production requirements. Maintenance requirements consist of endogenous urinary nitrogen (N), N from desquamation (skin and hair), and metabolic fecal N. Production requirements consist of N necessary for the fetus, growth, and lactation. Additionally, ammonia in the rumen originates from the following sources: degradation of true proteins and non-protein nitrogen (NPN) in the feed, N recycled to the rumen in the form of urea, and degradation of dead microbial cells in the rumen. The efficiency of rumen microorganisms in using ammonia for microbial synthesis mainly depends on the amount of available energy. The portion of ammonia not used for microbial synthesis is absorbed through the ruminal wall by diffusion and transported to the liver via the portal vein. Ammonia is absorbed through the ruminal wall in its non-ionized form (NH_3), while its ionized form (NH_4^+) is not absorbed through the ruminal wall. Amino acids are classified as essential and non-essential, and the quantity and quality reaching the small intestine of ruminants result from those derived from rumen microbial protein and the rumen-undegraded dietary protein fraction. However, the synthesized microbial protein may not provide sufficient quantities of amino acids to meet the needs of high-producing dairy cows. In this context, the objective was to gather information to demystify the use of different protein sources in milk production and composition.

Keywords: Volatile fatty acids, amino acids. ammonia. microbial mass. nitrogen.

Graphical Abstract



*Corresponding author: Fagton M. Negrão. E-mail address: fagton.negrao@ifro.edu.br
Received: 15 May 2024; Accepted: 19 May 2024; Published: 21 May 2024.
© The Author(s) 2024. Open Access (CC BY 4.0).

ROYALDATASET

1. Introdução

A nutrição proteica dos ruminantes tem como premissa básica disponibilizar ao animal uma adequada quantidade de proteína degradada no rúmen (PDR), para que ocorra eficiência dos processos digestivos neste compartimento gástrico e, consequentemente, otimizar o desempenho animal com a mínima quantidade de proteína bruta dietética, conforme destacado pelo National Research Council – NRC (2001) dos Estados Unidos.

Segundo este comitê, a maximização da eficiência do uso da proteína bruta dietética requer a seleção de alimentos proteicos e suplementos de nitrogênio não proteico, que possam disponibilizar quantidades adequadas de PDR que satisfaçam, mas, não excedam as exigências de nitrogênio necessárias para a máxima síntese de proteína bruta microbiana, e, em determinadas situações, utilizar adequadas fontes de proteína não degradada no rúmen (PNDR) para o fornecimento de aminoácidos absorvíveis no intestino delgado em complementação à proteína degradada no rúmen.

O teor de proteína do leite depende do perfil de aminoácidos da proteína metabolizável disponível no intestino delgado. Sabe-se que 50 % ou mais da proteína metabolizável são compostos pela proteína microbiana, considerada a fonte de maior valor biológico disponível ao ruminante. Dessa forma, a maximização da produção de proteína microbiana constitui ponto-chave para maximizar a síntese de proteína do leite (Chandler, 1989).

Nesse sentido, o conhecimento da composição do leite é de suma importância para a determinação de sua qualidade, pois, define diversas propriedades organolépticas e industriais. As justificativas básicas para manipular a composição do leite incluem a melhoria na fabricação e transformação de leite em produtos lácteos, havendo relação direta entre o rendimento industrial e a proporção de sólidos no leite. O maior teor de proteína permite maior produção de caseína, albumina e globulina, utilizadas como base de medicamentos, queijos, ricota e leite em pó (Mattos & Pedroso, 2005).

Diante do exposto, o objetivo da presente revisão foi discutir os aspectos relevantes ao manejo nutricional de vacas leiteiras, a fim de apresentar estratégias para alterar o teor e a produção da proteína no leite.

2. Metodologia

Esta revisão da literatura foi desenvolvida a partir da avaliação de artigos publicados bases eletrônicas incluindo o Portal de Periódicos CAPES, Scientific Electronic Library Online - SciELO, Science Direct e Google Acadêmico. Foram empregados os descritores: “leite+produção”, “produção de leite+proteína”, “produção de leite+aditivos”, e seus respectivos sinônimos, nos idiomas português e inglês. Foram incluídos apenas artigos publicados entre 2007 e 2013 que tratassem do tema e estivessem disponíveis na forma online. Os artigos duplicados foram excluídos.

3. Resultados e Discussão

3.1. Uso de fonte de proteína degradável no rúmen e proteína não degradável no rúmen

As proteínas são macromoléculas formadas por cadeias polipeptídicas de aminoácidos que diferem no tamanho, forma, solubilidade e composição. Estão presentes na parede e conteúdo celular de tecidos vegetais, além do tecido animal e desempenham diversas funções (catalítica, estrutural, transporte, proteção, armazenamento, contrátil) essenciais ao desenvolvimento, crescimento e produção dos ruminantes (Valadares Filho et al., 2006). Assim, se um dos aminoácidos da cadeia faltar, a síntese de toda a cadeia não se completará. Em dietas de vacas leiteiras, com base em milho e farelo de soja, os aminoácidos mais limitantes parecem ser metionina, lisina e fenilalanina (Santos et al., 1998).

A versão mais recente dos requisitos para gado leiteiro destacados pelo NRC (2001) não calcula mais as exigências de proteína do animal em proteína bruta, mas sim em proteína metabolizável, que corresponde ao total de aminoácidos absorvidos no intestino delgado, proveniente da digestão intestinal da proteína endógena, proteína microbiana e proteína não degradável no rúmen.

Para Van Soest (1994), parte da proteína bruta (NNP + proteína verdadeira) contida nos alimentos, ao chegar no rúmen, é degradada pela ação dos microrganismos, que recebe a denominação de PDR, servindo de fator de crescimento para síntese de proteína microbiana, pelos microrganismos ruminais, a partir da utilização das fontes de energia fermentável dos alimentos e fonte de N (aminoácidos, peptídeos ou amônia) oriundos da degradação ruminal dos alimentos.

Antes de se alterar os teores de proteína bruta na dieta, é importante determinar as concentrações ótimas de PDR e PNDR em relação ao consumo de proteína total, pois quantidades apropriadas de PDR são necessárias para adequada eficiência de síntese microbiana e obtenção de produtividade animal, com quantidade mínima de proteína dietética (National Research Council - NRC, 2001).

Adicionalmente, Santos e Pedroso (2011) postularam que os ruminantes suprem suas necessidades proteicas através da proteína do alimento ingerido que passa intacta pela degradação ruminal e é digerida pelo sistema digestivo do animal. A degradação da proteína, no rúmen, ocorre pela ação de enzimas (proteases, peptidases e deaminases) secretadas pelos microrganismos ruminais. Esses microrganismos degradam a fração PDR e utilizam peptídeos, aminoácidos e amônia para a síntese de proteína microbiana e multiplicação celular. A proteína microbiana é, normalmente, a principal fonte de proteína metabolizável para ruminantes, seguida da proteína não degradável no rúmen e da proteína endógena.

De acordo com os autores supracitados, dietas deficientes em PDR reduzem a proteína microbiana e, consequentemente, o teor e a produção de proteína no leite. Quando os aminoácidos não são utilizados para a síntese de proteínas ou de outros aminoácidos, o seu grupamento amino (NH_3^+) é convertido à ureia (ciclo da ureia) e excretado via urina e leite. O NRC de gado de leite considera que para cada kg de proteína microbiana produzida no rúmen é necessário 1,18 kg de PDR (National Research Council - NRC, 2001).

A publicação dos requisitos para gado leiteiro do NRC em 1985 e, posteriormente em 1989, estimulou de forma expressiva o interesse dos pesquisadores por fontes suplementares ricas em PNDR (*e.g.*, farinha de peixe, farinha de penas). O conceito difundido foi o de que dietas contendo farelo de soja como o principal suplemento proteico seriam deficientes em PNDR e poderiam limitar o desempenho de vacas de alta produção (30 $kg.dia^{-1}$). No entanto, um dos principais aspectos que potencializou a suplementação com fontes de PNDR para vacas em lactação foi a hipótese da obtenção de maior fluxo de

aminoácido essencial (lisina e metionina), oriundos da proteína microbiana, para o intestino delgado (National Research Council - NRC, 1989).

Nesse sentido, Santos et al. (1998) revisaram a literatura sobre suplementação com fontes ricas em PNDR para vacas de alto mérito genético mantidas em sistemas confinados, com produções enre 30 e 46 kg de leite.dia^{-1}. A suplementação com PNDR, em substituição total ou parcial ao farelo de soja convencional, teve sucesso somente quando se utilizaram fontes ricas e bem balanceadas em lisina e metionina (farinha de peixe) ou fontes com perfil de aminoácidos essenciais (AAE) similares ao farelo de soja, porém, com menor degradabilidade ruminal (farelo de soja tratado a alta temperatura ou quimicamente). Ganhos máximos de 2 kg de leite.dia^{-1} foram observados para vacas nos primeiros 40 dias de lactação e, em média 1,2 kg de leite para vacas com mais de 40 dias de lactação.

Pereira et al. (2005) avaliaram consumo, digestibilidade aparente dos nutrientes, produção e composição do leite de vacas no terço médio da lactação recebendo dietas contendo níveis crescentes de proteína bruta (PB) no concentrado (20; 23; 26 e 29% da matéria natural - MN). Foram utilizadas 12 vacas em lactação da raça Holandesa, puras e mestiças (Holandês × Zebu), com peso corporal médio de 550 kg e produção de leite média de 20 kg, distribuídas em três quadrados latinos (4 × 4), de acordo com o período de lactação, observando-se médias, ao início do experimento, de 115, 105 e 100 dias de lactação, para os quadrados latinos 1, 2 e 3, respectivamente.

O concentrado utilizado na proporção de 30% da matéria seca (MS) total da dieta, correspondendo aos teores de PB de 11,3; 12,3; 13,3 e 14,4% da MS total da dieta, respectivamente (**Tabela 1**). Como volumoso, foi utilizada a silagem de milho na proporção de 70%, na MS total.

Tabela 1 Teores médios de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), proteína degradável no rúmen (PDR), proteína não degradável no rúmen (PNDR), extrato etéreo (EE), carboidratos totais (CHOT), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína (FDNcp), carboidratos não-fibrosos (CNF), proteína insolúvel em detergente ácido (PIDA), lignina e nutrientes digestíveis totais (NDT), obtidos para as quatro dietas experimentais

Item	Dieta experimental (%PB na MS total)			
	11,3	12,3	13,3	14,4
MS (%)	46,53	46,55	46,85	46,47
PB[1]	11,3	12,3	13,3	14,4
PDR[1]	8,13	8,79	9,65	10,40
PNDR[1]	3,17	3,51	3,65	4,00
EE[1]	3,17	3,06	2,94	2,92
CHOT[1]	79,33	78,26	77,24	76,03
FDN[1]	44,62	43,55	43,31	44,82
FDNcp[1]	38,07	38,12	38,73	38,57
CNF[1]	34,71	34,71	33,93	31,21
PIDA (%PB)	1,17	1,09	1,29	1,20
Lignina[1]	4,13	4,19	4,27	4,41
NDT[1]	68,36	69,42	67,47	69,19

[1] Valores em porcentagem da MS. Fonte: Pereira et al. (2005)

Os valores médios de produção de leite e as porcentagens de gordura e proteína do leite não variaram com a inclusão de PB no concentrado (**Tabela 2**). Os valores observados para o conteúdo de proteína do leite estão acima do limite mínimo de 30 g/L, considerado como normal por Wittwer (2000). Os resultados de produção de leite indicam que entre os níveis 20 e 23% de PB na MN do concentrado houve melhoria de 6,98% ou 1,34 kg de leite por dia. Além disso, aumentou a produção de leite corrigida para 3,5% de gordura em 9,74% ou 1,84 kg.dia^{-1}, e as produções de gordura e proteína em 0,08 kg.dia^{-1} e 0,04 kg.dia^{-1}, respectivamente (Pereira et al., 2005).

Os autores concluíram que vacas no terço médio da lactação produzindo, em média 20 kg de leite.dia−1 e alimentadas com 70% de silagem de milho na MS devem consumir concentrado com 23% de PB na MN, o que resulta em 12,3% de PB na dieta total.

Tabela 2 Valores médios de produção de leite não-corrigida (PL) e corrigida para 3,5% de gordura (PLG), eficiência de utilização de MS (kg leite.dia^{-1} matéria seca consumida), eficiência de utilização de N (kg N-leite.dia^{-1} N-ingerido), teores e quantidades de gordura (G) e proteína bruta (PB) do leite, em função dos níveis de proteína bruta no concentrado, coeficientes de variação (CV), probabilidades (P) para os efeitos linear (L) e quadrático (Q) e equações de regressão

Item	Nível de proteína (% MN)				CV%	P	
	20	23	26	29		L	Q
PL (kg.dia^{-1})	17,87	19,21	19,47	19,49	5,14	n.s.	n.s.
PLG (kg.dia^{-1})	18,90	20,74	20,65	21,27	6,48	0,0478[1]	n.s.
Eficiência MS	1,12	1,19	1,17	1,15	5,28	n.s.	n.s.
Eficiência N	0,312	0,308	0,274	0,267	5,22	0,0018[2]	n.s.
G (%)	3,94	4,07	3,97	4,14	5,99	n.s.	n.s.
G (g.dia^{-1})	688,93	766,75	754,73	791,63	8,34	0,030[3]	n.s.
PB (%)	3,44	3,42	3,40	3,58	3,91	n.s.	n.s.
PB (g dia^{-1})	607,81	648,96	654,38	688,91	4,92	0,0183[4]	n.s.

n.s.: não significativo (P>0,05). [1]Y=14,6654+0,2337X (r^2=0,77); [2]Y=0,4284-0,0056X (r^2=0,89); [3]Y=508,698+9,8699X (r^2=0,76); [4]Y=446,880+8,2913X (r^2=0,93). Fonte: Pereira et al. (2005)

Kalscheur et al. (2006) utilizaram 32 vacas multíparas e 16 vacas primíparas da raça Holandesa, no terço médio de lactação, para determinar os efeitos da concentração no rúmen de proteína degradável no desempenho da lactação. As vacas foram distribuídas em delineamento de quadrado latino 4 × 4.

A formulação e a composição das dietas visaram fornecer quatro concentrações de PDR na dieta (6,8; 8,2; 9,6 e 11,0% de MS), enquanto a proteína não degradada no rúmen, manteve-se constante (5,8% da MS). As dietas continham 50% de silagem de milho e 50% de concentrado (na MS): 1) 6,8% PDR e 12,3% de PB; 2) 8,2% PDR e 13,9% de PB); 3) 9,6% PDR e 15,5% de PB e 4) 11,0% PDR e 17,1% de PB (**Tabela 3**).

Tabela 3 Ingredientes e composição química das dietas para vacas leiteiras

	Dieta (% PDR)			
	6,8	8,2	9,6	11,0
Ingredientes			(% MS)	
Silagem de milho	50,0	50,0	50,0	50,0
Milho grão	38,4	35,3	32,1	29,0
Farelo de soja	0	5,2	10,4	15,6
Soja grão	6,2	4,2	2,1	0
Megalac	1,0	1,0	1,0	1,0
Uréia	0,5	0,5	0,5	0,5
Bicarbonato de sódio	1,0	1,0	1,0	1,0
Calcário	0,9	0,9	0,9	0,9
Fosfato bicálcico	0,9	0,9	0,9	0,9
Óxido de magnésio	0,3	0,3	0,3	0,3
Premix mineral e vitamínico	0,2	0,2	0,2	0,2
Cloreto de sódio	0,2	0,2	0,2	0,2
Cloreto de potássio	0,2	0,2	0,2	0,2
Composição química				
MS (%)	62,3	62,4	62,4	62,4
MO (%MS)	92,9	92,7	92,5	92,4
FDN (%MS)	36,4	35,6	34,9	34,1
FDA (%MS)	14,5	14,5	14,5	14,5
LIG (%MS)	2,3	2,2	2,1	2,1
PB (%MS)	12,3	13,9	15,5	17,01

Fonte: Adaptado de Kalscheur et al. (2006)

O consumo de matéria seca não foi afetado pela concentração de PDR na dieta, porém, as vacas multíparas consumiram mais do que as vacas primíparas (21,7 vs 20,5 kg.dia^{-1}, respectivamente). A produção de leite aumentou à medida que aumentou a PDR na dieta (**Tabela 4**). As vacas alimentadas com menor PDR (%) na dieta, produziram 2,1 kg.dia^{-1} de leite a menos que vacas alimentadas com maior PDR (%) na dieta.

Tabela 4 Valores médios de consumo, produção e composição do leite e peso corporal de vacas leiteiras alimentadas com concentrações crescentes de PDR

	Dieta (% PDR)			
	6,8	**8,2**	**9,6**	**11,0**
Consumo				
MS, kg.dia^{-1}	20,5	21,0	21,2	21,4
PB, kg.dia^{-1}	2,51d	2,92c	3,29b	3,65a
PDR, kg.dia^{-1}	1,41d	1,74c	2,06b	2,38a
PNDR, kg.dia^{-1}	1,10c	1,18b	1,23ab	1,28a
Produção de leite				
Produção de leite, kg.dia^{-1}	31,7c	32,0bc	33,1ab	33,8a
Leite corrigido para 4,0% de gordura, kg.dia^{-1}	30,3c	30,8bc	32,2ab	33,1a
Gordura no leite, %	3,70b	3,74ab	3,82ab	3,86a
Proteína bruta no leite, %	2,95c	3,06b	3,09ab	3,11a
Proteína bruta no leite, kg.dia^{-1}	0,94c	0,98b	1,02ab	1,05a

Fonte: Adaptado de Kalscheur et al. (2006)

As vacas multíparas produziram 1,8 kg.dia^{-1} de leite a mais do que as vacas primíparas, indicando que as exigências de PDR para vacas primíparas e multíparas são semelhantes, uma vez que o consumo de ração e o desempenho dos animais são levados em consideração. Não houve diferença entre as vacas primíparas e multíparas sobre o porcentual de gordura, produção de gordura, teor de proteína, produção de proteína, porcentagem de lactose.

O aclive linear, observado na **Fig. 1**, indica que 19% da proteína bruta adicionada à dieta foi convertido em proteína bruta do leite.

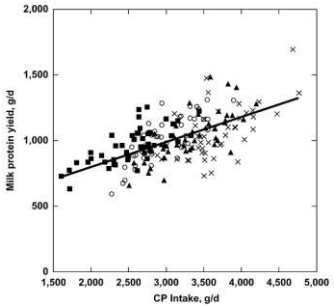


Fig. 1 Efeito do consumo de proteína (g.dia^{-1}) sobre o rendimento de proteína do leite (g.dia^{-1}) para vacas alimentadas com dieta nas concentrações de PDR: 6.8 (▯), 8.2 (o), 9,6 (▲) e 11,0 (x)% de MS. A equação é Y (proteína do leite, g/d) = 425 + 0,19x. Fonte: Kalscheur et al. (2006)

Pina et al. (2006) utilizaram doze vacas da raça Holandesa, com peso médio de 550 kg e produção de 25 kg de leite.dia^{-1}, distribuídos em três quadrados latinos 4 x 4, organizados de acordo com os dias em lactação (variação de 60 a 120 dias). Foram avaliadas quatro dietas constituídas de diferentes fontes proteicas: FS (farelo de soja); FA38 (farelo de algodão com 38% de PB); FA28 (farelo de algodão com 28% de PB) e FSU (farelo de soja com 5% de uréia/sulfato de amônia) (**Tabela 5**).

Tabela 5 Teores médios dos nutrientes nas dietas experimentais

Item	Dietas			
	FS	**FA38**	**FA28**	**FSU**
MS (%)	53,03	53,32	53,46	53,17
MO	94,23	93,91	93,98	94,69
PB[1]	14,71	15,37	14,65	14,62
PDR[1]	10,01	10,49	10,80	11,45
PNDR[1]	4,71	4,88	3,85	3,17
NNP[2]	35,32	35,75	36,35	46,25
NIDA[2]	1,66	1,54	1,70	1,64
EE[1]	2,26	2,45	1,91	2,45
FDN[1]	44,02	43,39	52,90	43,87
FDNcp[1]	39,48	46,20	48,45	39,76
CNF[1]	34,13	27,59	25,42	36,75
LIG[1]	2,44	4,36	5,05	2,41
NDTest[1,3]	65,83	64,04	61,80	67,90

[1] %MS; [2] % do N total; [3] estimado pelas equações do NRC (2001), para consumo de três vezes a manteça. FS = farelo de soja; FA38 = farelo de algodão com 38% de PB; FA28 = farelo de algodão com 28% de PB e FSU = FS + uréia. Fonte: Pina et al. (2006)

Observa-se que não houve diferença significativa entre as dietas para os consumos de MS e MO, expressos nas diferentes unidades (**Tabela 6**). O consumo de PB foi maior quando os animais receberam a dieta FA38, em comparação à dieta controle (FS), provavelmente, em razão do maior teor desse nutriente na dieta FA38, pois, não foram observadas diferenças para o consumo de PB entre as dietas FA28 e FSU em relação à FS. Nas dietas FA28 e FSU, os consumos de PDR foram maiores e não diferiram dos observados para a dieta FA38 em relação à FS. Já os consumos de PNDR foram mais baixos para as dietas com FA28 e FSU e mais altos para a FA38.

Tabela 6 Consumo médio diário de nutrientes dos animais (g.dia^{-1}) alimentados com as diferentes fontes proteicas na dieta

Item	Dietas				CV (%)
	FS	**FA38**	**FA28**	**FSU**	
	Consumo (kg.dia^{-1})				
MS	18,96	19,38	19,56	18,57	5,10
MO	18,00	18,20	18,21	17,43	5,05
PB	3,06	3,23*	3,12	2,92	5,06
PDR	1,47	1,56	1,69*	1,73*	7,59
PNDR	1,59	1,67*	1,44*	1,20*	3,11
EE	0,58	0,65*	0,52*	0,62*	3,10
FDN	7,85	8,89*	9,90*	7,36	6,12
CNF	7,20	5,73*	5,30*	7,45	6,48
NDT	13,88	12,64*	12,33*	13,35*	2,57
	Consumo (%PV)				
MS	3,29	3,33	3,40	3,22	4,90
FDN	1,36	1,53*	1,72*	1,27	5,85

[1] Médias na linha seguidas por (*) diferem do tratamento controle (FS) pelo teste de Dunnett (P<0,05); CV = coeficiente de variação. FS = farelo de soja; FA38 = farelo de algodão com 38% de PB; FA28 = farelo de algodão com 28% de PB e FSU = FS + uréia. Fonte: Pina et al, (2006)

De acordo com Pina et al. (2006), os consumos de PDR e PNDR sugeridos pelo NRC (2001) para vacas com peso médio de 550 kg e PLG de 25 kg.dia^{-1} foram de 1,74 e 1,20 kg.dia^{-1}, respectivamente. As dietas FSU (1,73 e 1,20 kg.dia^{-1}) e FA28 (1,69 e 1,44 kg.dia^{-1}) foram as que promoveram consumos mais próximos dos recomendados por esse conselho, enquanto a FS (1,47 e 1,59 kg.dia^{-1}) e a FA38 (1,56 e 1,67 kg.dia^{-1}) resultaram em consumos de PDR inferiores e de PNDR superiores aos sugeridos pelo NRC (2001).

A ausência de significância para a produção de leite (**Tabela 7**), pode ser explicada pela ausência de resposta no consumo de MS. Entretanto, houve redução numérica de 1,16 kg de leite para os animais submetidos à dieta contendo FA28 em relação à dieta controle (FS), em razão do menor consumo de NDT na dieta com FA28. A ausência de diferença para a produção de leite corrigida para 3,5% de gordura (PLG) está de acordo com a ausência de significância para os teores de gordura (G%) e produção diária de gordura (g.dia^{-1}) no leite (Pina et al., 2006).

Tabela 7 Médias diárias para produção de leite (PL), produção de leite corrigida para 3,5% de gordura (PLG), produção de gordura (G) no leite (em % e em g.dia^{-1}) e eficiência de utilização do nitrogênio (kg N no leite.dia^{-1} N ingerido) e da MS ingerida (kg de leite.dia^{-1} MS ingerida) obtidas para as diferentes fontes proteicas das dietas

Item	Dietas				CV (%)
	FS	**FA38**	**FA28**	**FSU**	
PL (kg.dia^{-1})	23,85	23,76	22,69	23,42	5,23
PLG (kg.dia^{-1})	25,11	23,67	24,75	24,13	6,43
Eficiência MS	1,25	1,22	1,16*	1,29	5,29
Eficiência N	0,248	0,217*	0,224*	0,252	5,35
G (%)	3,85	3,53	4,07	3,73	5,30
G (g.dia^{-1})	911,50	825,01	919,79	862,50	9,63
PB (%)	3,19	2,98*	3,12	3,17	5,07
PB (g.dia^{-1})	756,92	702,36*	701,36*	732,25	6,14

[1] Médias na linha seguidas por (*) diferem do tratamento controle (FS) pelo teste de Dunnett (P<0,05). CV = coeficiente de variação. FA38 = farelo de algodão com 38% de PB; FA28 = farelo de algodão com 28% de PB e FSU = FS mais uréia. Fonte: Pina et al. (2006)

Guidi et al. (2007) utilizaram cinco vacas da raça Holandesa, multíparas, canuladas no rúmen, com produção média de leite de 27 kg dia^{-1} e 80 dias em lactação, em delineamento

quadrado latino 5 × 5. Os tratamentos consistiram em dietas isoenergéticas, porém, com diferentes teores de PB (13,4 ou 16,5% de PB) e fontes de proteína variando os teores de PDR ou PNDR: farelo de soja (FS), uréia (U), soja tostada (ST) e farelo de glúten de milho (FGM) (**Tabela 8**).

Tabela 8 Composição das dietas experimentais (%MS)

Ingredientes	Tratamentos[1]				
	C	U	FS	ST	FGM
Silagem de milho	38,2	38,17	37,5	37,74	38,18
Milho floculado (360g.L^{-1})	25,73	24,68	18,32	24,27	21,03
Polpa de citrus peletizada	10,65	10,66	10,83	10,78	10,66
Mineral e vitaminas[2]	3,26	3,25	3,29	3,28	3,25
Caroço de algodão	10,91	10,89	11,02	---	10,89
Farelo de soja	11,25	11,24	19,04	12,90	10,04
Soja tostada	---	---	---	11,03	---
Uréia	---	1,11	---	---	---
Farelo de glúten de milho	---	---	---	---	5,96

[1] C: controle; U: uréia; FS: farelo de soja; ST: soja tostada; FGM: farelo de glúten de milho.[2] Mistura mineral contendo 23% de bicarbonato de sódio. Fonte: Guidi et al. (2007)

A porcentagem e a produção de proteína do leite não foram alteradas pelo teor de PB da dieta (13,4 vs. 16%), porém houve diferenças quanto à fonte. O tratamento com soja tostada apresentou teor de proteína no leite inferior aos tratamentos com uréia e farelo de glúten de milho e similar ao controle e farelo de soja (**Tabela 9**). De acordo com Guidi et al. (2007), o processo de tostagem da soja foi o responsável pela redução na porcentagem de proteína do leite do tratamento com soja tostada. Este processo protege a proteína da soja, e pode afetar a disponibilidade de alguns aminoácidos essenciais, como lisina e metionina, e, conseqüentemente reduzir a síntese de proteína do leite (Schwab, 1994).

Tabela 9 Efeito de dietas contendo diferentes fontes proteicas sobre a ingestão de MS, produção de leite, eficiência alimentar e composição do leite

Parâmetros	Tratamentos[1]					CV(%)
	C	U	FS	ST	FGM	
Ingestão de MS, kg.dia^{-1}	19,31	19,57	17,99	18,46	19,21	8,19
Produção de leite, kg.dia^{-1}	27,68	26,49	27,48	28,26	28,17	7,16
Produçãp de leite corrigida[2], kg.dia^{-1}	25,00	24,75	25,09	25,33	26,82	8,85
Eficiência alimentar	1,43	1,36	1,55	1,53	1,47	8,12
Composição do leite						
Teor de proteína, %	2,99^{ab}	3,02^{a}	2,92^{ab}	2,80^{b}	3,05^{a}	3,52
Produção de proteína, kg.dia^{-1}	0,82	0,81	0,81	0,79	0,86	7,85
Teor de gordura, %	2,90	2,94	2,96	2,87	3,20	6,14
Produção de gordura, kg.dia^{-1}	0,80	0,80	0,82	0,81	0,90	10,07

[1] C: controle; U: uréia; FS: farelo de soja; ST: soja tostada; FGM: farelo de glúten de milho. [2] Produção de leite corrigido para 3,5% de gordura = (16,218 × produção de gordura) + (0,4337 × produção de leite). a,b,c Médias na mesma linha, seguidas de letras iguais, não diferem entre si p<0,05. Fonte: Guidi et al. (2007)

Silva et al. (2009), avaliaram os efeitos de quatro níveis de concentrado - NC (0; 1; 3 e 5 kg/vaca.dia^{-1}) e dois de proteína bruta - PB (11 e 13% na MS total) sobre o consumo, digestibilidade dos nutrientes e desempenho de vacas leiteiras. Utilizaram-se oito vacas mestiças Holandês × Zebu com 520 ± 40 kg, entre a 3ª e 5ª lactações, distribuídas em quadrado latino 8 × 8, com oito períodos de 10 dias. O nível zero de concentrado consistiu de sal mineral ou sal nitrogenado para os níveis baixo (11 % PB) e alto de PB (13%) na dieta, respectivamente (**Tabela 10**).

Tabela 10 Descrição dos tratamentos experimentais

Item	Nível de PB (%)	11				13			
	Concentrado (kg.dia^{-1})	0	1	3	5	0	1	3	5
Fórmula do concentrado, %									
Milho		---	40,3	85,3	94,4	26,2	---	48,6	72,0
Farelo de soja		---	30,2	5,5	---	---	68,4	43,1	22,9
Uréia		---	11,9	3,9	2,3	28,7	14,5	3,9	2,3
Mistura mineral		100	17,6	5,3	3,2	45,0	16,7	4,5	2,8
Consumo, kg/animal.dia^{-1}									
Concentrado[1]		0,18	1,0	3,0	5,0	0,4	1,0	3,0	5,0
Milho		---	0,4	2,6	4,7	0,1	---	1,5	3,6
Farelo de soja		---	0,3	0,2	---	---	0,7	1,3	1,1

Fonte: Silva et al. (2009)

A produção de leite (normal e corrigida para 3,5% de gordura) aumentou com os níveis de concentrado e não foi influenciada pelos níveis proteicos. Os teores de gordura, proteína, lactose e extrato seco do leite não foram influenciados pelos níveis de concentrado, mas, com o aumentou do nível de proteína na dieta, houve acréscimo dos teores de lactose e extrato seco do leite. A resposta marginal máxima em produção de leite foi de 0,63 kg de leite por kg de concentrado, comparando 3 kg de concentrado.vaca^{-1}.dia^{-1} com o tratamento controle, reduzindo para 0,22 kg de leite por kg de concentrado ao passar para o maior nível de suplementação. Por outro lado, a equação de regressão da produção de leite em função da quantidade de concentrado tem como resposta: 0,32 kg de leite.dia^{-1} por kg de concentrado (**Tabela 11**).

Tabela 11 Produção e composição do leite e eficiência de uso de concentrado em função de níveis de concentrado e proteína bruta na dieta de vacas leiteiras sob pastejo em capim-elefante no período das águas

Item	Concentrado (kg/animal.dia^{-1})				%PB		CV (%)	Probabilidade		
	0	1	3	5	11	13		C	PB	C*PB
Leite, kg/vaca.dia^{-1}	11,9	11,7	13,8	13,0	12,4	12,7	14,6	0,04[1]	n.s.	n.s.
Leite (3,5%G). kg.dia^{-1}	10,2	9,8	11,5	10,8	10,2	10,9	17,5	n.s.	n.s.	n.s.
Gordura, %	2,32	2,45	2,34	2,25	2,27	2,41	21,1	n.s.	n.s.	n.s.
Proteína, %	3,14	3,08	2,99	3,22	3,07	3,15	8,29	n.s.	n.s.	n.s.
Lactose, %	4,02	4,20	4,07	4,16	4,03	4,19	6,78	n.s.	0,04	n.s.
Extrato seco, %	10,4	10,8	10,4	10,6	10,3	10,7	6,25	n.s.	0,03	n.s.
Eficiência concentrado	---	---	0,63	0,22	---	---	---	---	---	---

%PB=teor de proteína bruta na matéria total da dieta; Cvcoeficiente de variação; concentrado; n.s.=não significativo (P>0,05); leite (3,5%G)=produção corrigida para 3,5% de gordura; eficiência de uso do concentrado = (produção de leite do tratamento-produção de leite do tratamento testemunha)/(consumo de concentrado. [1]Y=11,9+0,332*C; r^2=0,06. Fonte: Silva et al. (2009)

Teixeira et al. (2010) avaliaram o efeito de níveis crescentes de concentrado e de proteína bruta em dietas para 20 vacas multíparas da raça Gir Leiteiro em lactação, com peso médio de 418 kg e produção de leite de 14,5 kg, em 62 dias de lactação. Foram avaliados o consumo de matéria seca e de nutrientes, coeficientes de digestibilidades, produção e composição do leite e eficiência de utilização de alimentos. As dietas experimentais foram constituídas de silagem de sorgo (volumoso) e concentrado nos níveis de 11,7; 23,3; 35,2; ou 46,8% com quatro níveis de proteína bruta (11,0; 12,0; 14,0; e 16,0%), na MS da dieta (**Tabela 12**).

Tabela 12 Proporção de ingredientes das dietas experimentais

Item	Níveis de concentrado:proteína bruta (% MS)			
	11,7:11	23,3:12	35,2:14	46,8:16
Silagem de sorgo	88,3	76,6	65,0	53,3
Milho	3,7	14,2	22,3	31,4
Farelo de soja	6,0	7,2	10,7	13,3
Uréia+sulfato de amônia	1,0	1,0	1,0	1,0
Sal mineral	1,0	1,0	1,0	1,0
Total	100,0	100,0	100,0	100,0
Relação volumoso:concentrado	88,3:11,7	76,6:23,3	65,0:35,0	53,2:46,8

Fonte: Teixeira et al. (2010)

Aumento nos níveis de concentrado e proteína bruta da dieta proporcionaram maior consumo de matéria seca total. A utilização de 46,8% de concentrado e 16,0% de PB na dieta total acarretou no consumo de matéria seca total de 15,8 kg.dia^{-1}, diferente dos demais níveis de concentrados e proteína bruta avaliados (**Tabela 13**).

Tabela 13 Consumo médio diário, em kg.dia^{-1}, e em porcentagem do peso vivo em função das dietas avaliadas

Item	Relação concentrado:proteína bruta				P
	11,7:11	23,3:12	35,2:14	46,8:16	
	kg.dia^{-1}				
Matéria seca	10,8^{B}	13,0^{AB}	13,4A^{B}	15,8^{A}	0,01262
Proteína bruta	1,17^{C}	1,54^{BC}	1,75^{B}	2,47^{A}	0,00004
Extrato etéreo	0,34^{B}	0,40^{AB}	0,42^{AB}	0,49^{A}	0,00422
Matéria orgânica	9,32^{B}	11,2^{AB}	11,8^{AB}	14,0^{A}	0,00734
Fibra em detergente neutro	5,51	6,08	5,63	6,03	---
Carboidratos totais	8,96^{B}	10,6^{AB}	10,8^{AB}	12,5^{A}	0,0258
Carboidratos não-fibrosos	3,44^{C}	4,56^{BC}	5,16^{B}	6,48^{A}	0,00008
Nutrientes digestíveis totais	6,65^{B}	7,14^{AB}	7,28^{AB}	9,19^{A}	0,03299

Médias na mesma linha seguidas por mesma letra maiúscula não diferem entre si ao nível de 5,0% de significancia pelo teste Tukey. Fonte: Adaptado de Teixeira et al. (2010)

A produção de leite em kg.dia^{-1} foi maior nos animais que receberam as dietas com maiores níveis de concentrado e de proteína bruta, contudo, não houve diferença para as vacas das dietas com 23,3; 35,2 e 46,8% de níveis de concentrado e 12,0; 14,0 e 16,0% de proteína bruta, respectivamente (**Tabela 14**). Houve aumento no teor de proteína bruta do leite com o incremento dos níveis de concentrado e proteína bruta nas dietas, onde o maior teor de proteína no leite (3,57%) foi em função do maior nível de concentrado (46,8%) e de proteína bruta da dieta (16%). O aumento do teor de concentrado na ração aumenta a quantidade de substrato para a fermentação ruminal e, portanto, aumenta a quantidade de proteína microbiana produzida (Teixeira et al., 2010).

Tabela 14 Médias ajustadas para produção de leite, produção de leite corrigida para 3,5% de gordura, composição de sólidos do leite, peso vivo e condição de escore corporal

Itens	Níveis de concentrado:proteína bruta				P
	11,7:11	23,3:12	35,2:14	46,8:16	
Produção de leite (kg.dia^{-1})	9,7^{B}	12,7^{A}	11,4^{AB}	12,0^{A}	0,00681
Produção de leite corrigido (kg.dia^{-1})	11,4	13,6	12,5	13,1	0,39572
Proteína bruta (%)	3,17^{C}	3,25^{BC}	3,55^{AB}	3,57^{A}	0,00522
Gordura (%)	4,58	3,88	4,12	4,08	---
Lactose (%)	4,55	4,56	4,69	4,57	---
Extrato seco (%)	13,3	12,7	13,4	13,2	---
Extrato seco desengordurado (%)	8,71	8,78	9,27	9,16	0,07503
Peso vivo inicial (kg)	402	402	426	445	0,39594
Peso vivo (kg)	398	409	442	465	0,10709
Variação de peso vivo (kg.dia^{-1})	-0,15^{B}	0,18^{AB}	0,26^{A}	0,43^{A}	0,00654
Escore corporal inicial	5,60	5,40	4,80	5,20	---
Escore corporal	5,33	5,80	5,80	6,27	0,25484

Médias na mesma linha seguidas por mesma letra maiúscula não diferem entre si a 5,0% de significancia pelo teste Tukey. Fonte: Teixeira et al. (2010)

Santos et al. (2012) avaliaram o consumo e digestibilidade dos nutrientes, produção e composição do leite de vacas oito vacas mestiças (Holandês × Gir) aos 140 dias de lactação, recebendo diferentes fontes de proteína: farelo de algodão alta energia, farelo de soja semi-integral extrusado, milho e farelo de soja (controle). Os animais foram distribuídos em dois quadrados latinos (4 × 4) durante um período experimental de 21 dias.

A dieta à base de farelo de soja foi formulada de acordo com as recomendações do NRC (2001) para atender a produção média diária de leite 25 kg, com 3,5% de gordura. Os concentrados foram formulados para conter 40% de cada fonte de proteína (na MS) e o teor de proteína bruta (30% de PB na MS) foi ajustado pela adição de uréia para obter dietas com 15% de PB na MS (**Tabela 15**).

Tabela 15 Composição das dietas experimentais na matéria seca

Ingredientes, g.dia^{-1} MS	Fontes de proteína			
	Farelo de soja	Caroço de algodão	Farelo de soja semi-integral	Milho
Concentrado	310	310	310	310
Caroço de algodão	110	110	110	110
Cacto	300	300	300	300
Silagem de capim buffel	140	140	140	140
Casca de mandioca	140	140	140	140
Composição química				
Matéria seca, g.dia^{-1}	213,2	215,3	215,1	206,1
Matéria orgânica[1]	881,9	884,3	882,5	871,5
Proteína bruta[1]	148,2	155,5	154,1	150,5
Extrato etéreo[1]	43,8	54,2	54,5	42,3
Fibra em detergente neutro[1]	335,8	358,7	328,5	307,6
Carboidratos não-fibrosos[1]	354,0	315,6	345,5	371,1

[1] g.dia^{-1} da matéria seca. Fonte: Santos et al. (2012)

O consumo de matéria seca foi menor para os animais suplementados com milho (18,86 kg.dia^{-1}) em comparação com os do tratamento controle (21,03 kg.dia^{-1}). Além disso, os animais dos suplementos farelo de algodão e farelo de soja extrusada não apresentaram diferença em relação aos animais da ração controle (**Tabela 16**).

Tabela 16 Efeito das fontes alternativas de proteína sobre o consumo de nutrientes de vacas leiteiras

Item	Fontes de proteína				P	CV (%)
	Farelo de soja	Caroço de algodão	Farelo de soja semi-integral	Milho		
	Consumo (kg/d)					
MS	21,03	20,73	20,60	18,86*	0,001	4,77
MO	18,54	18,35	18,19	16,47*	0,000	4,75
PB	3,12	3,32	3,21	2,75*	0,000	6,50
EE	0,97	1,18*	1,19*	0,83*	0,000	5,08
FDN	6,46	6,90	6,26	5,40*	0,002	10,15
CNF	7,99	6,94*	7,53*	7,49*	0,000	4,34
NDT	14,36	14,55	14,62	11,46*	0,000	5,78

Médias na mesma linha diferem (P>0,05) do controle pelo teste de Dunnett. Fonte: Santos et al. (2012)

A produção de leite e produção de leite corrigida para gordura foram menores para os animais suplementados com milho em relação ao tratamento controle (**Tabela 17**) (Santos et al., 2012). De acordo com os autores, a produção de leite das vacas do suplemento farelo de algodão foram semelhantes aos resultados encontrados por Alves (2010), Silva (2008) e Pina et al. (2006), os quais relataram que o farelo de algodão mantém produção de leite em relação ao farelo de soja.

Tabela 17 Efeito de fontes alternativas de proteína sobre o desempenho, composição do leite, matéria seca e eficiência de utilização de N de vacas leiteiras

Item	Fontes de proteína				P	CV (%)
	Farelo de soja	Caroço de algodão	Farelo de soja semi-integral	Milho		
Produção de leite (kg/d)	24,13	22,64	23,44	20,58*	0,041	10,22
Produção de leite – 3,5% gordura (kg.dia^{-1})	26,10	23,60	24,40	22,40*	0,040	9,45
Gordura (g.dia^{-1})	40,0	37,5	37,5	40,5	0,029	5,84
Gordura (g.dia^{-1})	960,00	851,00*	881,10	831,90*	0,044	9,78
Proteína (g.dia^{-1})	33,1	32,5	31,9*	34,2	0,003	3,23
Proteína (g.dia^{-1})	788,50	733,03	744,14	695,82	0,159	10,36
Lactose (g.dia^{-1})	44,5	43,1	44,3	43,4	0,409	4,35
Sólidos totais (g.dia^{-1})	124,6	119,9*	120,8	125,1	0,022	2,98
Eficiência alimentar[1]	1,00	1,10	1,02	1,26*	0,000	8,83
Eficiência de N	0,25	0,22*	0,23	0,25	0,023	9,31

CV=coeficiente de variação. Médias na linha diferem (P>0,05) do controle pelo teste de Dunnett. [1] Leite corrigido para gordura (3,5%)/consumo MS (kg/d). [2] Nitrogênio total do leite/consumo tatal de N (kg.dia^{-1}). Fonte: Santos et al. (2012)

De acordo com a revisão de 82 estudos apresentada no NRC (2001), a produção de leite tem efeito quadrático para aos teores de PB nas dietas de vacas em lactação, com incremento na produção de leite de 0,75 kg.dia^{-1}, a medida que aumenta a concentração dietética da proteína de 15 para 16% e 0,35 kg.dia^{-1}, com aumento de 19 para 20% de PB na dieta, para vacas confinadas com produções acima de 30 kg.dia^{-1}.

A suplementação de proteína, qualquer que seja sua degradabilidade ruminal, apresenta efeitos poucos consistentes na concentração de proteína do leite, embora possa aumentar sua produção através de aumentos indiretos na produção de leite como um todo (**Tabela 18**). Segundo Emery (1978), o incremento de um ponto percentual de proteína em dietas com teor proteico de 9% a 17% resulta em aumento de apenas 0,02 ponto percentual da proteína do leite. No entanto, o mesmo autor comenta que quando a proteína da dieta estiver deficiente, a proteína do leite tende a aumentar com a utilização de fontes de PNDR.

Tabela 18 Compilação de dados sobre diferentes níveis de proteína bruta na dieta de ruminantes

Referência	Valores observados			Variação total			Aumento para cada 1% de PB na dieta	
	PB dieta (%)	PL[1]	PBL (%)	PB dieta (%)	PL[1]	PBL (%)	PL[1]	PBL (%)
a	11,30−14,40	17,87-19,49	3,40-3,58	3,10	1,62	0,18	0,52	0,05
b	12,30-17,10	31,70-33,80	2,95-3,11	4,80	2,10	0,16	0,43	0,03
c	13,40-16,64	26,49-28,26	2,80-3,05	3,24	1,77	0,25	0,54	0,07
d	11,00-13,00	12,70-12,40	3,15-3,07	2,00	0,30	0,08	0,15	0,04
e	11,10-16,10	9,70-12,70	3,17-3,57	5,00	3,00	0,40	0,60	0,08
Média					1,75 kg	0,21%	0,44 kg	0,05%

[1] (kg.dia^{-1}). [a] Pereira et al. (2005); [b] Kalscheur et al. (2006), [c] Guidi et al. (2007); [d] Silva et al. (2009); [e] Teixeira et al. (2010)

Diante do exposto, fez-se uma compilação com base nos 17 dados obtidos dos artigos citados, referente à produção de leite, síntese de proteína e níveis de proteína bruta na dieta dos trabalhos com fornecimento de PDR e PNDR.

Conforme ilustrado na **Fig. 2**, verificou-se que os níveis de PDR variaram de 0,48 a 4,2%, com consequente variação na produção de leite de −0,009 a 2,10 kg.dia^{-1} e no teor de proteína do leite de −0,21 a 0,16%. Os níveis de PNDR variaram de 0,06 a 1,77%, porém, com decréscimo no teor de proteína do leite.

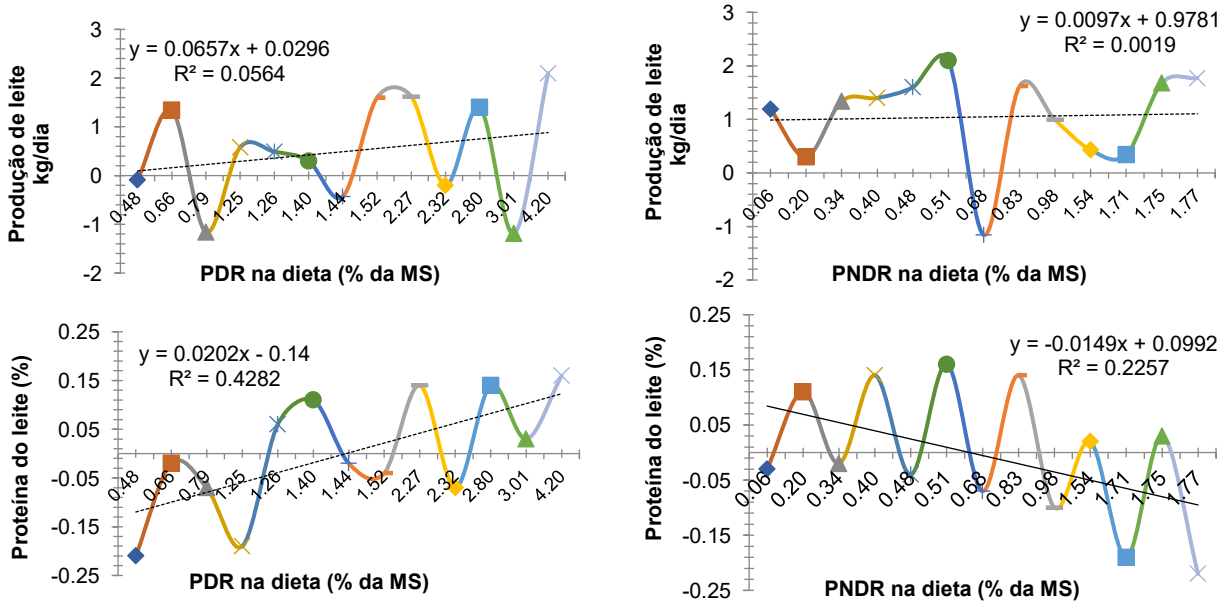


Fig. 2 Variação da produção de leite e proteína do leite em função dos níveis de proteína degradável (PDR) e não degradável no rúmen adicional (PNDR).

Com base nos trabalhos compilados, pode-se observar que os maiores valores de produção de leite foram verificados para o nível de 17,01% de PB na dieta, que correspondeu à produção de 33,80 kg.dia^{-1} (Kalscheur et al., 2006). No entanto, os menores valores de produção de leite (17,87; 19,21 e 19,47 kg.dia^{-1}) corresponderam aos menores níveis de PDR, que pode ser devido às vacas terem consumido menor quantidade de concentrado e menor teor de PB na dieta (Pereira et al., 2005). No entanto, o maior nível de PDR (11,45%)

não correspondeu à maior produção de leite (23,42 kg.dia^{-1}), em razão do menor consumo de NDT na dieta (Pina et al., 2006).

A menor proporção de PNDR na dieta (3,17%) correspondeu à menor produção de leite (17,87 kg) e teor de proteína no leite (3,44%), enquanto, o maior nível de PNDR (7,01%) correspondeu a 28,26 kg.dia^{-1} de leite e ao menor teor de proteína no leite (2,80%). Nessa premissa, Santos et al. (1998) sugeriram que vacas alimentadas com dietas ricas em amido degradável no rúmen devem responder menos ao aumento de PNDR devido ao maior estímulo à síntese de proteína microbiana; e que vacas com produção de leite inferior a 30 kg dia^{-1} de leite não são beneficiadas com o uso de fontes ricas em PNDR.

3.2. Uso de nitrogênio não proteico (NNP) na alimentação de vacas leiteiras

A ureia é um composto orgânico rico em NNP, com 45% de N e potencial equivalente a 281% de PB (NRC, 2001). O NNP é degradado rapidamente (>300%/h) sendo 100% degradado no rúmen. Porém, em alguns casos, esta degradação pode não ocorrer, e uma pequena parcela do NNP pode passar para o duodeno sem ter sido degradada no rúmen, em função da taxa de passagem (Santos & Pedroso, 2011).

Silva et al. (2001) avaliaram a inclusão de ureia na dieta contendo 0; 0,7; 1,4; e 2,1% (**Tabela 19**), correspondendo aos teores de 2,08; 4,01; 5,76; e 8,07% de proteína bruta na forma de compostos nitrogenados não proteicos (**Tabela 20**).

Tabela 19 Composição porcentual dos ingredientes utilizados nos tratamentos experimentais (% na MS)

Ingredientes	Tratamentos			
	0 [b]	0,70 [b]	1,40 [b]	2,10 [b]
Silagem de milho	60	60	60	60
Fubá de milho	18,31	22,19	26, 07	29,95
Farelo de soja	20,09	15,51	10,93	6,35
Uréia	0,00	0,70	1,40	2,10
Mistura mineral [a]	1,60	1,60	1,60	1,60

[a] Composição percentual (Bovigold): Ca, 23; P, 9,0; S, 1,5; Mg, 2; Na, 4,8; Co, 0,01; Cu, 0,07; Fe, 0,2; I, 0,008; 2,66; Zn, 0,27,0; Se, 0,002; Mn, 0,125. [b] Níveis de inclusão de ureia na dieta. Fonte: Silva et al. (2001)

Foram utilizadas 15 vacas lactantes (Holandês × Gir) alimentadas à vontade, com rações isoproteicas, durante 90 dias após o parto, constituídas de 60% de silagem e 40% de concentrado na MS. Foram avaliados o consumo e digestibilidade aparente dos nutrientes e as alterações na produção e composição do leite.

Tabela 20 Teores médios de matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), proteína bruta (PB), compostos nitrogenados não proteicos (NNP), extrato etéreo (EE), carboidratos totais (CHO), fibra em detergente neutro (FDN) e nutrientes digestíveis totais (NDT), obtidos para as quatro rações experimentais.

Itens	Rações experimentais			
	R1	R2	R3	R4
MS %	53,03	52,84	50,92	50,89
MO[1]	94,33	94,46	94,59	95,05
PB[1]	13,46	13,46	13,46	13,46
NNP (% PB)	2,08	4,01	5,76	8,07
EE[1]	1,69	1,85	1,84	1,62
CHO[1]	79,18	79,45	79,29	79,97
FDN[1]	40,55	40,55	40,55	40,55
NDT[1]	73,99	74,15	83,93	77,36

[1] Porcentagem na MS Fonte: Silva et al. (2001)

Conforme a elevação dos níveis de NNP nas rações, os consumos de MS, diminuíram linearmente. Segundo os autores, provavelmente devido aos efeitos metabólicos da ureia, associado ainda a baixa palatabilidade do alimento, à medida que se aumentou a concentração de ureia da dieta. O menor consumo de MS acarretou ainda redução linear no consumo de MO, EE, PB e CHO, expressos em kg.dia^{-1} (**Tabela 21**) (Silva et al., 2001).

Tabela 21 Consumo médio diário de matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), fibra em detergente neutro (FDN), extrato etéreo (EE), proteína bruta (PB), carboidratos totais (CHO) e nutrientes digestíveis totais (NDT), em função dos níveis de compostos nitrogenados não proteicos (NNP) das rações, observados durante o período de digestibilidade (30° ao 38° dia pós-parto), coeficiente de variação (CV) e nível de probabilidade (P) dos efeitos linear (L) e quadrático (Q)

Variáveis	Teores de NNP (%)				CV	P	
	2,08	4,01	5,76	8,07	(%)	L	Q
MS	16,04	16,49	11,64	11,93	17,32	0,0073	ns
MO	15,13	15,58	11,02	11,35	17,21	0,0081	ns
FDN	6,68	6,84	4,69	5,22	19,64	0,0234	ns
EE	0,29	0,33	0,24	0,23	15,68	0,0180	ns
PB	2,29	2,33	1,63	1,49	16,16	0,0008	ns
CHO	12,61	12,97	9,11	9,56	17,61	0,0104	ns
NDT	11,87	12,10	9,74	9,12	13,39	0,0036	ns
	Consumo (%PV)						
MS	3,29	3,09	2,47	2,35	16,46	0,0026	ns
FDN	1,37	1,28	0,99	1,03	17,99	0,0097	ns

ns: não significativo em nível de 5% de probabilidade pelo teste F. Fonte: Silva et al. (2001)

Durante o período experimental (21 a 84 dias de lactação), foi observado comportamento quadrático para o consumo de MS, bem como para produção de leite, obtendo-se valores máximos de 16,2 kg.dia^{-1} para o consumo de MS; e 20,10 kg.dia^{-1} para produção de leite, com os níveis de 3,0; 2,44; e 4,79% de NNP, respectivamente. Entretanto, a eficiência alimentar apresentou efeito linear crescente com o aumento nas proporções de NNP nas rações durante as dez semanas experimentais (**Tabela 22**) (Silva et al., 2001).

Tabela 22 Consumo médio de matéria seca (CMS), produção de leite (PL) e eficiência (kg leite.kg^{-1} MS), obtidos em função dos níveis de NNP nas rações, para as 10 semanas experimentais

Níveis de NNP (%)	Dias Experimentais									
	21	28	35	42	49	56	63	70	77	84
						CMS (kg.dia^{-1})				
2,08	15,6	16,2	15,1	16,1	16,0	16,3	14,1	15,3	15,7	16,3
4,01	14,4	16,0	16,5	17,1	17,5	16,7	17,7	18,1	17,8	17,9
5,76	13,3	13,2	11,4	11,6	13,1	13,9	14,2	13,9	14,1	14,6
8,07	13,1	12,2	11,4	11,1	11,2	9,8	10,9	10,7	11,4	11,0
						CMS (% PV)				
2,08	3,19	3,33	3,10	3,24	3,19	3,30	2,88	3,07	3,11	3,20
4,01	2,84	3,07	3,07	3,16	3,27	3,21	3,18	3,25	3,17	3,15
5,76	2,81	2,79	2,44	2,46	2,76	2,90	2,94	2,88	2,94	3,05
8,07	2,57	2,43	2,24	2,18	2,19	1,95	2,15	2,10	2,22	2,14
						PL (kg.dia^{-1})				
2,08	18,4	18,1	18,6	18,3	17,7	18,2	16,8	16,8	17,4	17,6
4,01	20,9	21,0	21,9	21,8	21,4	22,0	22,1	20,9	20,6	21,0
5,76	17,5	18,1	18,0	16,1	17,9	18,3	18,4	19,0	18,8	19,3
8,07	19,1	19,8	18,4	18,3	17,8	17,0	17,0	16,5	16,4	16,9
						Eficiência (kg leite.kg^{-1} MS)				
2,08	1,19	1,12	1,23	1,16	1,10	1,11	1,20	1,10	1,11	1,10
4,01	1,45	1,33	1,36	1,30	1,23	1,28	1,27	1,18	1,20	1,24
5,76	1,28	1,38	1,61	1,43	1,40	1,37	1,35	1,38	1,36	1,35
8,07	1,49	1,70	1,63	1,68	1,71	1,76	1,57	1,55	1,46	1,55

Fonte: Silva et al. (2001)

Com relação à proteína do leite, observou-se efeito quadrático em função dos níveis de NNP, obtendo-se valores máximos de 3,4% e 664,44 g.dia^{-1} para os teores de 3,88 e 4,44% de NNP, respectivamente (**Tabela 23**). A adição de níveis crescentes de NNP, em substituição à proteína verdadeira, reduziu o consumo de nutrientes, porém, não foi observada influência sobre a digestibilidade de MS, MO, FDN, PB e CHO, para vacas em início de lactação (Silva et al., 2001).

Tabela 23 Produção de leite corrigida (PLG) para 3,5% de gordura (G), teores e quantidades de G e proteína bruta (PB) do leite, em função dos teores de compostos nitrogenados não proteicos (NNP) das rações, coeficiente de variação (CV) e nível de probabilidade (P) dos efeitos linear (L) e quadrático (Q)

Variáveis	Teores de NNP (%)				CV (%)	P	
	2,08	4,01	5,76	8,07		L	Q
	Consumos (kg.dia^{-1})						
PLG (kg.dia^{-1})	21,18	24,92	20,63	18,83	15,94	0,0979	ns
G (%)	4,65	4,50	4,29	3,90	14,60	0,0391	ns
G (g.dia^{-1})	809,94	933,23	789,31	701,95	19,92	ns	ns
PB (%)	3,22	3,55	3,07	2,69	10,66	0,0841	0,0366
PB (g.dia^{-1})	559,69	731,48	553,12	486,82	16,41	0,0489	0,0286

ns: não significativo em nível de 5% de probabilidade pelo teste F. Fonte: Silva et al. (2001)

Aquino et al. (2007) avaliaram os efeitos de níveis de ureia em substituição ao farelo de soja na dieta de vacas em lactação sobre a produção e composição físico-química do leite. Foram utilizadas nove vacas da raça Holandesas do 2º ao 7º mês de lactação com peso vivo de 560 kg, distribuídas em três quadrados latinos 3 × 3, com três tratamentos e três períodos de coleta.

Os tratamentos foram compostos de três diferentes dietas, fornecidas para cada grupo de três vacas (**Tabela 24**). A dieta controle foi formulada para suprir 100% das exigências de PB, PDR e PNDR, de acordo com o NRC (2001), utilizando-se farelo de soja como principal fonte proteica e cana-de-açúcar como volumoso. As outras duas dietas, com 0,75 ou 1,5% de ureia, foram formuladas para atender 100% das exigências de PB, segundo o NRC (2001), com manutenção do nível de PB igual ao da dieta controle e cana-de-açúcar como volumoso.

Observou-se que as dietas não influenciaram o consumo de MS (16,3 a 16,74 kg.dia^{-1}), indicando que a substituição parcial do farelo de soja pela ureia não afetou o consumo de alimento dos animais. Também não foi observado efeito sobre a produção e composição do leite, com ou sem correção de gordura, o que pode ser explicado pela manutenção do consumo de MS em todos os grupos avaliados e pelo nível de produção dos animais, cujas exigências de mantença e produção de proteína metabolizável podem ter sido atendidas, prioritariamente, pela síntese de proteína microbiana (**Tabela 25**) (Aquino et al., 2007).

Tabela 24 Proporções de ingredientes e composição das dietas, com base na MS

Ingredientes	Níveis de ureia (%)		
	0	0,75	1,5
Cana-de-açúcar (%)	43,35	41,42	39,50
Milho grão, moído (%)	28,12	34,72	41,33
Farelo de soja (%)	25,70	20,17	14,61
Ureia 45% N (%)	0	0,75	1,50
Fosfato bicálcico (%)	0,39	0,50	0,62
Calcário calcítico (%)	0,94	0,94	0,94
Sal branco (%)	0,50	0,50	0,50
Mistura mineral (%)[1]	1,00	1,00	1,00
Total	100	100	100
Composição da dieta			
MS (%)	61,82	63,85	64,03
PB (%)	16,17	16,33	16,21
PDR (% da PB)[2]	66,60	69,63	72,65
PNDR (% da PB)[2]	33,40	30,37	27,35
FDN (%)	31,76	30,34	29,56
FDA (%)	21,80	20,48	19,41
EE (%)	5,22	5,03	5,13
Ca (%)	0,72	0,72	0,80
P (%)	0,46	0,44	0,45
EL para lactação (Mcal.kg^{-1}) [2]	1,53	1,53	1,53
Cinzas (%)	4,91	4,70	4,30

[1] Composição por kg de mistura mineral: Ca - 180 g; P - 90 g; Mg - 20 g; S -20 g; Na - 100 g; Zn - 3.000 mg; Cu - 1.000 mg; Mn - 1.250 mg; Fe - 2.000 mg; Co - 200 mg; I - 90 mg; Se - 36 mg; F (máximo) - 900 mg. [2] Estimado segundo NRC (2001). Fonte: Aquino et al. (2007)

Tabela 25 Consumo de MS, produção e composição do leite e peso vivo de vacas alimentadas com dietas contendo ureia

	N	Nível de ureia (%)			P-valor		
		0	0,75	1,5	CV[3]	L[4]	D[5]
Consumo de MS (kg.dia^{-1})	27	16,13	16,74	16,25	18,35	NS	NS
Produção de leite (kg.dia^{-1})	27	23,38	22,56	22,36	26,7	NS	NS
Produção de leite corrigida 3,5% de gordura (kg.dia^{-1})	27	21,72	20,54	20,86	24,29	NS	NS
Proteína (%)	27	3,39	3,20	3,27	11,78	NS	NS
Produção de proteína (g.dia^{-1})	27	743,56	689,21	695,76	23,86	NS	NS
Gordura (%)[1]	27	3,12	2,97	3,17	11,72	NS	0,0603
Produção de gordura (g.dia^{-1})[1]	27	715,02	664,20	691,13	22,69	NS	NS
Lactose (%)[1]	27	4,63	4,66	4,64	4,40	NS	0,0612
Produção de lactose (g.dia^{-1})[1]	27	1.071,30	1.061,82	1.101,33	24,72	NS	NS
Extrato seco total (%)[1]	27	12,02	11,87	12,05	5,50	NS	NS
Produção de EST (g.dia^{-1})[1]	27	2.802,40	2.712,54	2.821,16	24,11	NS	NS
Peso vivo (kg)	27	590,26	593,06	588,42	10,64	NS	NS
Nitrogênio uréico do leite (mg.d^{-1})[3]	100	17,97	17,28	17,48	16,59	NS	NS

[1] Resultados baseados em análises realizadas pelo método infravermelho; [2] Resultados baseados em análises realizadas pelo método de citometria fluxométrica; [3] CV: Coeficiente de variação; [4] Linear: Probabilidade para efeito linear; [5] Desvio: Probabilidade para efeito de desvio; [NS]: não significativos. Fonte: Aquino et al. (2007)

Netto et al. (2011) reportaram que a eficiência de utilização da fonte nitrogenada dietética está relacionada à redução nos custos com alimentação. Nesse sentido, foi avaliada a substituição parcial do farelo de soja por ureia em dietas de vacas da raça Girolanda, quanto à produção, composição e características físico-químicas do leite.

Foram utilizadas 24 vacas lactantes da raça Girolanda, com produção média de 7,8 kg.dia^{-1}, em pasto de *Brachiaria decumbens,* recebendo 3 kg de concentrado (**Tabela 26**) e 15 kg de cana-de-açúcar. A produção de leite foi mensurada diariamente, e a determinação da composição do leite e características físico-químicas mensuradas a partir de amostras coletadas no início do experimento e a cada 28 dias (Netto et al., 2011).

Tabela 26 Composição porcentual e químico-bromatológica das dietas experimentais da cana-de-açúcar e da *Brachiaria decumbens*

Dietas				
Ingredientes	**Controle**	**Uréia**		
Farelo de soja (kg)	30	10		
Fubá de milho (kg)	68	85		
Mistura mineral* (kg)	2	2		
Ureia (kg)	–	3		
Composição químico-bromatológica			Cana-de-açúcar	*Brachiaria decumbens*
% na MS	89,2	89,7	30,7	27,8
Proteína bruta	20,8	20,2	3,5	5,4
Fibra em detergente neutro	12,1	12,4	63,2	59,7
Fibra em detergente ácido	4,3	3,8	41,4	37,1
Extrato etéreo	3,2	3,4	0,6	1,2
Matéria mineral	5,7	5,9	1,6	4,8
Extrativo não nitrogenado	66,2	66,5	72	50,1
Teor de carboidratos totais	70,3	70,5	94,3	88,6
Carboidratos não fibrosos	58,2	58,1	31,1	28,9
Cálcio	0,88	0,92	0,28	0,3
Fósforo	0,49	0,45	0,04	0,05

* Mistura mineral por kg do produto: Enxofre (S) 80g, Magnésio (Mg) 20g, Potássio (K), 20g. Manganês (Mn) 1000 mg, Zinco (Zn) 2500 mg, Cobre (Cu) 1500 mg, Cobalto (Co) 100 mg, Iodo (I) 80 mg, Selênio (Se) 20 mg, Cálcio (Ca) 180g, Fósforo (P) 90 g, Flúor (F) máx. 300 mg. ENN = 100 – (PB + EE + FB + MM); CHOT = – (PB + EE + MM); CNF = CHOT – FDN. Fonte: Netto et al. (2011)

Foi observado aumento na produção de leite para o grupo de animais que receberam concentrado contendo ureia em relação ao grupo controle, já os teores de proteína, gordura, lactose e sólidos totais não diferiram entre os dois tratamentos (**Tabela 27**) (Netto et al., 2011).

Tabela 27 Produção e composição do leite para as dietas Controle; Ureia e concentração de ureia no plasma sanguíneo

Parâmetros	Suplementos	
	Controle	**Uréia**
Produção de leite (kg.dia^{-1}.animal^{-1})	7,98 ± 1,2	9,41 ± 0,9*
Gordura no leite (%)	4,99± 0,5	4,98 ± 0,4^{ns}
Proteína no leite (%)	3,45± 0,3	3,37 ± 0,5^{ns}
Lactose no leite (%)	4,33± 0,17	4,53 ± 0,15^{ns}
Sólidos totais (%)	13,76± 0,78	13,85 ± 0,1^{ns}
Uréia no plasma (mg.d−1)	25,5 ± 3,5	28,3 ± 2,8^{ns}

* P<0,05; ns = não significativo. Fonte: Netto et al. (2011)

É provável que a substituição parcial do farelo de soja pela ureia melhorou as condições de fermentação ruminal, uma vez que o NNP é convertido rapidamente em amônia e utilizada para síntese microbiana, não ocorrendo gasto energético na degradação da proteína em aminoácidos e posteriormente em amônia. Outro fator favorável ao aumento da produção de leite observado pode ter sido pela disponibilidade de carboidrato da cana-de-açúcar e amônia (Netto et al., 2011).

O teor de proteína foi semelhante entre os tratamentos, sendo que a relação entre os porcentuais de gordura e de proteína do leite é um indicador de mudanças na composição do leite associado à dieta. E, ainda, foi observada uma redução de 11% nos custos de alimentação (U$1,56 vs U$1,38.vaca^{-1}.dia^{-1} para controle e tratamento uréia, respectivamente) sem ônus para a indústria de laticínios (Netto et al., 2011).

Também, para o nitrogênio uréico do plasma não foi observado diferença (25,5 *vs* 28,3 mg.d^{-1} para controle e ureia, respectivamente), comprovando que nos níveis utilizados, a ureia em substituição parcial ao farelo de soja, não provocou distúrbios metabólicos, que prejudicaria a saúde animal. No entanto estes valores estão acima do valor máximo preconizado (16 mg.d^{-1}) para que não tenha incidência de problemas reprodutivos em vacas em lactação (Netto et al., 2011).

Logo, a utilização de ureia como fonte de nitrogênio não proteico, é interessante por reduzir custos de produção, sem afetar a composição do leite, e ainda aumentar a produção de leite, podendo ser uma alternativa em dietas de vacas da raça Girolanda em lactação (Netto et al., 2011).

Souza et al. (2010) avaliaram os efeitos da ureia protegida na produção e composição do leite. Foram utilizadas 34 vacas da raça Holandesa com 128 dias de lactação, sendo 14 primíparas e 20 multíparas, com produção de leite média de 41,6 kg no início do experimento, distribuídas em blocos por produção de leite, ordem e dias em lactação. Os tratamentos foram: 11,4% farelo de soja (controle) e 0,4% ureia encapsulada (Optigen®II) + 9,0% farelo de soja, na MS. Em termos práticos, as vacas receberam 100 g.vaca^{-1}.dia^{-1} de Optigen®II no lugar de 700 g.vaca^{-1}.dia^{-1} de farelo de soja, caracterizando a substituição parcial (**Tabela 28**).

Tabela 28 Composição porcentual das dietas fornecidas às vacas leiteiras

Alimento	Controle	Optigen®I
Silagem de milho	30,16	30,58
Pré-secado de azevém	11,66	11,82
Ração[1]	30,26	30,68
Caroço de algodão	5,40	5,48
Farelo de soja	11,40	9,02
Casca de soja	8,36	9,23
Optigen®II[2]	-	0,40
Megalac-E[3]	0,80	0,80
Mistura mineral[4]	1,96	1,99

[1] Composição – U: 11,0%; PB: 21,0%; ELlac: 1,84 Mcal.kg^{-1}; EE: 4,21%; MM: 8,80%; Ca: 1,25%; P: 0,62%; Cu: 25 ppm; Co: 1,05 ppm; I: 3,25 ppm; Mn: 70 ppm; S e: 0,69 ppm; Zn: 146ppm; vit.A: 6000 UI.kg^{-1}; vit. D3: 1600UI.kg^{-1}; vit.E: 55,5ppm; monensina sódica: 30 ppm.[2] Alltech Inc., Nicholasville, KY, EUA.[3] Church & Dwight, Princeton, NJ, EUA. [4] Composição (por kg do produto) – Ca: 155,8 g; P: 51,0 g; S: 20,0 g; Mg: 33,0 g; Na: 93,0 g; K: 28,2 g; Co: 30 ppm; Cu: 400 ppm; Cr: 10 ppm; Fe: 2000 ppm; I: 40 ppm; Mn: 1350 ppm; Se: 15 ppm; Zn: 1700 ppm; vit.A: 135.000 UI; vit.D3: 68.000 UI; vit.E: 450 UI. Fonte: Souza et al. (2010)

De acordo com Souza et al. (2010), a utilização de ureia de liberação lenta, em substituição parcial ao farelo de soja, não reduz o desempenho produtivo de vacas leiteiras de alta produção, alimentadas com dieta à base de silagem de milho (**Tabela 29**). A suplementação de uréia protegida diminuiu a porcentagem de gordura e de sólidos do leite, no entanto, não afetou a produção de gordura e de sólidos totais.

Tabela 29 Médias ajustadas para produção de leite, produção e porcentagem de componentes, nitrogênio uréico do leite, energia secretada no leite, de acordo com os tratamentos e períodos de avaliação

Variável	Farelo de soja		Optigen® II		EPM	P Trat	P Período
	30 d	60 d	30 d	60 d			
Produção de leite (kg.dia^{-1})	36,9	36,4	39,4	38,1	1,11	0,16	0,15
Porcentagem de gordura	3,16	2,99	2,87	2,71	0,07	<0,01	0,01
Produção de gordura (kg.dia^{-1})	1,14	1,13	1,12	1,04	0,04	0,24	0,13
Porcentagem de proteína	3,12	2,82	3,03	2,79	0,04	0,21	<0,01
Produção de proteína (kg.dia^{-1})	1,14	1,07	1,19	1,08	0,03	0,51	<0,01
Porcentagem de lactose	4,58	4,72	4,64	4,80	0,03	0,08	<0,01
Produção de lactose (kg.dia^{-1})	1,70	1,73	1,83	1,84	0,06	0,13	0,55
Porcentagem de sólidos	11,74	11,43	11,43	11,21	0,10	0,04	<0,01
Produção de sólidos (kg.dia^{-1})	4,31	4,19	4,47	4,25	0,12	0,46	0,04
Nitrogênio uréico no leite (mg.d^{-1})	22,4	11,7	23,5	12,1	1,24	0,59	<0,01
Energia do leite (Mcal.dia^{-1})	23,6	22,6	24,1	22,5	0,62	0,77	<0,01

Fonte: Souza et al. (2010)

Inostroza et al. (2010) avaliaram o efeito do uso de uréia de liberação lenta (Optigen®) em substituição ao farelo de soja. Para tanto, avaliaram 16 rebanhos experimentais, aleatoriamente, recebendo tratamento sem ou com Optigen® (OPT). As dietas foram formuladas com base no nível de produção de leite dos rebanhos, de forma que a ração com OPT continha 114 g.dia^{-1} por vaca, substituindo o farelo de soja, de forma que os tratamentos apresentassem o mesmo teor de PB (**Tabela 30**).

Tabela 30 Composição dos ingredientes (% MS) da dieta controle (CON) e Optigen® (OPT), formulada para os rebanhos

Ingredientes	CON	OPT[1]
Forragem	55,5	56,0
Silagem de milho	23,1	24,2
Silagem de alfafa	28,0	27,3
Outras forragens	4,4	4,5
Concentrado	44,5	44,0
Milho em grão	9,0	8,5
Milho de alta umidade	13,3	14,6
Farelo de soja (48% PB)	3,5	1,7
Outras proteínas vegetais	3,5	3,5
Proteína animal	0,8	0,8
Subproduto alta fibra	9,4	9,2
Mistura mineral, vitamina e aditivos	5,0	5,7

Valores são médias das 16 dietas formuladas durante tratamento o experimento. [1]A dieta OPT continha 114g.dia^{-1} por vaca de Optigen® (Alltech Inc.,Lexington, KY). Fonte: Inostroza et al. (2010)

Foi observado produção de leite (0,5 kg) superior para o grupo OPT em relação ao grupo CON (P<0,01) (**Tabela 31**), que pode ser explicado pelo melhor rendimento de nitrogênio microbiano para Optigen® comparado a ureia não encapsulada, e ainda ao melhor aporte de carboidratos fermentáveis e status energético fornecido pela silagem de milho e grão de milho da dieta, contribuindo, assim, para a melhor resposta produtiva.

Tabela 31 Médias para a produção e composição do leite, e rendimentos de componentes do leite para os tratamentos controle (CON) e Optigen® (OPT)

Item	CON	OPT[1]	DP	P
Produção leite, kg.dia^{-1}	35,4	35,9	0,2	<0,01
Gordura, %	3,72	3,69	0,02	0,07
Gordura, g.dia^{-1}	1,317	1,322	8,00	NS
Proteína, %	2,98	2,97	0,01	NS
Proteína, g.dia^{-1}	1,055	1,065	6,00	0,13
NUL,[2] mg.d−1	12,4	13,2	0,3	<0,01

[1] Tratamento OPT continha 114 g/d por vaca de Optigen® (Alltech Inc., Lexington, KY). [2] NUL = nitrogênio uréico do leite. Fonte: Inostroza et al. (2010)

A produção de gordura do leite, proteína do leite e porcentagem de proteína do leite não foram afetadas pelo tratamento (P>0,10). O nitrogênio uréico do leite foi maior (P<0,01) para o grupo OPT em relação ao CON (13,2 *vs* 12,4 mg.d^{-1}), no entanto, estes valores estão dentro de um intervalo esperado de 10-16 mg.d^{-1}, e provavelmente não causaram alguma consequência a saúde animal (Inostroza et al., 2010).

Na análise de custo, fez-se uma simulação considerando diferentes preços para milho grão, silagem de milho, Optigen® e farelo de soja. Para todos os valores simulados, os custos de alimentação foram superiores com a utilização de Optigen® quando o preço do farelo de soja era U$ 0,22.kg^{-1} de MS e inferiores quando o custo do farelo de soja era U$ 0,587.kg^{-1} de MS (**Tabela 32**).

Além disso, considerando um aumento em 0,5 kg de produção de leite, a utilização do Optigen® apresentou maior rendimento sobre o custo da alimentação para todos os cenários simulados, exceto quando o preço do leite (U$ 0,22.kg^{-1}) e farelo de soja (U$ 0,22.kg^{-1}) eram viáveis economicamente. Sendo que, alterações no rendimento foram mais positivas quando o preço do milho grão, silagem de milho e Optigen® apresentavam-se mais baixos quando comparado ao farelo de soja e leite (**Tabela 33**) (Inostroza et al., 2010).

Tabela 32 Influência dos preços dos alimentos farelo de soja (48% PB): U$ 0,220, U$ 0,403 e U$ 0.587.kg^{-1} MS sobre a mudança no custo da ração quando Optigen® (114 g.vaca^{-1}.dia^{-1}) substituiu parcialmente o farelo de soja nos suplementos

	Mudança no custo da ração, U$.vaca^{-1}.dia^{-1}		
Item, U$.kg^{-1} MS	U$0,220	U$0,403	U$0,587
Milho, Optigen®[1]			
0,079, 1,63	0,088	−0,028	−0,144
0,079, 2,01	0,131	0,015	−0,101
0,157, 1,63	0,128	0,012	−0,104
0,157, 2,01	0,171	0,055	−0,061
0,236, 1,63	0,168	0,052	−0,064
0,236, 2,01	0,211	0,095	−0,021
Média	0,150	0,034	−0,083
DP	0,043	0,043	0,043
Mínimo	0,088	−0,028	−0,144
Máximo	0,211	0,095	−0,021
Silagem de milho, Optigen®[1]			
0,050, 1,63	0,073	−0,039	−0,152
0,050, 2,01	0,116	0,004	−0,109
0,101, 1,63	0,095	−0,017	−0,130
0,101, 2,01	0,138	0,026	−0,087
0,151, 1,63	0,117	0,005	−0,108
0,151, 2,01	0,160	0,048	−0,065
Média	0,117	0,005	−0,109
DP	0,031	0,031	0,031
Mínimo	0,073	−0,039	−0,152
Máximo	0,160	0,048	−0,065

[1]Alltech Inc. (Lexington, KY). Fonte**:** Inostroza et al. (2010)

Tabela 33 Influência da alimentação (farelo de soja (48% PB): U$ 0,220 U$ 0,403 e U$ 0,587.kg^{-1} MS) e preços do leite (U$ 0,22, U$ 0,33 e US U$ 0,44.kg^{-1}) sobre a mudança no rendimento em função do custo de alimentação quando Optigen® (114 g.vaca^{-1}.dia^{-1}), substituiu parcialmente o farelo de soja, considerando 0,5 kg.dia^{-1} a mais de produção de leite por vaca

Item, U$.kg^{-1} MS	Mudanças no rendimento sobre o custo de alimentação, U$.vaca^{-1}.dia^{-1}								
	0,22 [b]			0,33 [b]			0,44 [b]		
Preço do FS	0,220	0,403	0,587	0,220	0,403	0,587	0,220	0,403	0,587
Milho, Optigen®[a]									
0,079; 1,63	0,022	0,138	0,254	0,077	0,193	0,309	0,132	0 ,248	0,364
0,079; 2,01	−0,021	0,095	0,211	0,034	0,150	0,266	0,089	0,205	0,321
0,157; 1,63	−0,018	0,098	0,214	0,037	0,153	0,269	0,092	0,208	0,324
0,157; 2,01	−0,061	0,055	0,171	−0,006	0,110	0,226	0,049	0,165	0,281
0,236; 1,63	−0,058	0,058	0,174	−0,003	0,113	0,229	0,052	0,168	0,284
0,236; 2,01	−0,101	0,015	0,131	−0,046	0,070	0,186	0,009	0,125	0,241
Média	−0,040	0,077	0,193	0,016	0,132	0,248	0,071	0,187	0,303
DP	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043
Mínimo	−0,101	0,015	0,131	−0,046	0,070	0,186	0,009	0,125	0,241
Máximo	0,022	0,138	0,254	0,077	0,193	0,309	0,132	0,248	0,364
Silagem de milho, Optigen®[a]									
0,050; 1,63	0,037	0,149	0,262	0,092	0,204	0,317	0,147	0,259	0,372
0,050; 2,01	−0,006	0,106	0,219	0,049	0,161	0,274	0,104	0,216	0,329
0,101; 1,63	0,015	0,127	0,240	0,070	0,182	0,295	0,125	0,237	0,350
0,101; 2,01	−0,028	0,084	0,197	0,027	0,139	0,252	0,082	0,194	0,307
0,151; 1,63	−0,007	0,105	0,218	0,048	0,160	0,273	0,103	0,215	0,328
0,151; 2,01	−0,050	0,062	0,175	0,005	0,117	0,230	0,060	0,172	0,285
Média	−0,007	0,106	0,219	0,049	0,161	0,274	0,104	0,216	0,329
DP	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031
Mínimo	−0,050	0,062	0,175	0,005	0,117	0,230	0,060	0,172	0,285
Máximo	0,037	0,149	0,262	0,092	0,204	0,317	0,147	0,259	0,372

[a] Alltech Inc. (Lexington, KY). [b] Preço do leite. Fonte: Inostroza et al. (2010)

Em suma, a inclusão de Optigen® em substituição ao farelo de soja na dieta como fonte de proteína degradável no rúmen em rebanhos leiteiros foi eficiente em aumentar a produção de leite em dietas formuladas para serem isoproteicas. E, ainda que as simulações econômicas indicaram resposta positiva no rendimento sobre o custo de produção, o preço do farelo de soja e leite foram maiores (Inostroza et al., 2010).

Santos et al. (2011) avaliaram o desempenho, balanço de nitrogênio e nitrogênio uréico do plasma (NUP), em resposta à substituição parcial do farelo de soja por polpa cítrica + Optigen® II

e pela mesma quantidade de N oriundo de ureia + polpa cítrica (**Tabela 34**). Foram utilizadas 18 vacas da raça Holandesa, com 150 dias de lactação, alocadas em seis quadrados latinos 3 × 3, com períodos de 21 dias.

Tabela 34 Composição dos ingredientes e nutrientes das dietas fornecidas para vacas leiteiras

Ingredientes	Optigen®II	Controle	Ureia
	% da MS		
Silagem de milho	41,9	41,9	41,9
Feno de Tifton	1,9	1,9	1,9
Polpa cítrica	15,9	12,6	16
Milho maduro moído fino	14,2	14,2	14,2
Caroço de algodão	7,6	7,6	7,6
Farelo de soja	14,1	18	14,1
Optigen®II	0,61		
Ureia			0,56
Premix[1]	3,9	3,9	3,9
Nutrientes			
Proteína bruta	15,4	15,5	15,6
Proteína bruta oriunda de nitrogênio não proteico	1,54		1,59
Fibra em detergente neutro total	36,1	35,9	36,6
Fibra em detergente neutro de forragens	23,5	23,5	23,5
Cinzas	7,2	7,2	7,2
Extrato etéreo	5,7	5,6	5,7
Carboidratos não fibrosos[2]	35,6	35,8	34,9

[1] Premix = 11,5% de Ca; 1,3% de P; 4,7% de Mg; 0,3% de S; 10,0% de Na; 4,9% Cl; 12,14 ppm de Co; 162 ppm de Cu; 405 ppm de Mn; 964 ppm de Zn; 6,64 ppm de Se; 16,20 ppm de I; 80988 UI de vitamina A; 17817 UI de vitamina D; 502 UI de vitamina E; 25% de bicarbonato de sódio; 7% de óxido de magnésio e 25% de Megalac-E. [2] CNF = Carboidratos não fibrosos = 100-(%PB+%FDN+%EE+%Cinzas). Fonte: Santos et al. (2011).

O consumo de matéria seca decresceu nos tratamentos com NNP, mas não alterou a produção diária de leite ou sólidos, resultando em tendência de ganho na relação entre o leite produzido e o consumo (**Tabela 35**). Sendo que essa redução não foi associada à baixa palatabilidade da ureia, uma vez que o teor das fontes de NNP da dieta foram baixos (<1% da MS) (Santos et al., 2011).

Tabela 35 Desempenho e digestibilidade aparente de nutrientes de vacas leiteiras

	Optigen®II	Controle	Ureia	EPM	P Trat	P Contrastes	
	kg d^{-1}					1	2
Leite	31,6	31,5	31,5	0,36	0,98	0,87	0,97
Consumo	22,4	23,2	22,4	0,26	0,07	0,05	0,04
Gordura	1,044	1,062	1,039	0,0159	0,56	0,44	0,31
Proteína	0,941	0,944	0,942	0,0091	0,95	0,77	0,87
Lactose	1,182	1,192	1,189	0,0152	0,9	0,67	0,9
Leite/PB[1]	9,29	8,8	8,99	0,188	0,2	0,08	0,49
Leite/CMS[1]	1,396	1,344	1,398	0,0212	0,13	0,09	0,07
% do consumo							
DMO	71,1	71,3	71,6	1,07	0,96	0,89	0,87
DFDN	45	46,6	47,5	2,45	0,76	0,64	0,79
DMOnFDN	88,3	88,2	88,6	0,59	0,86	0,84	0,59

EPM: erro-padrão da média. P: valor de probabilidade para os efeitos de tratamento (P Trat) e para os contrastes Optigen®II *vs.* controle (1) e ureia *vs.* controle (2). [1]kg de leite por kg de proteína bruta (PB) ingerida e por kg de consumo de matéria seca (CMS). DMO: digestibilidade aparente da matéria orgânica; DFDN: digestibilidade aparente da fibra em detergente neutro; DMOnFDN: digestibilidade aparente da matéria orgânica não fibrosa. Fonte: Santos et al. (2011)

A concentração de NUP duas horas após a alimentação da manhã foi maior nos tratamentos com NNP em relação ao controle (**Tabela 36**), sugerindo redução do consumo (Santos et al., 2011).

Tabela 36 Concentração de nitrogênio uréico no leite (NUL) e no plasma (NUP) de vacas leiteiras

	Optigen®II	Controle	Ureia	EPM	P Trat	P Contrastes	
						1	2
NUL mg dL^{-1}	15,5	15,4	16,6	0,27	<0,01	0,68	<0,01
NUP mg dL^{-1}	17,6	17,6	18	0,45	0,78	0,96	0,52
NUP 2h mg dL^{-1}	20,2	18	20,6	0,8	0,06	0,06	0,03
NUP>21 min d^{-1}	41	46	105	27,8	0,21	0,89	0,15
	% das amostras				P Qui-Quadrado		
Frequência	10,2	9,3	23,2		<0,01		

P: valor de probabilidade para os efeitos de tratamento (P Trat) e para os contrastes Optigen®II vs. controle (1) e ureia *vs.* controle (2). NUP 2h: NUP duas horas após a alimentação da manhã; NUP>21: tempo de NUP acima de 21mg dL^{-1}; frequência: frequência de NUP acima de 22 mg dL^{-1}. Fonte: Santos et al. (2011)

Em suma, a substituição de farelo de soja por polpa cítrica e NNP indicou uma tendência de aumento na eficiência alimentar, por apresentar produção de leite semelhante ao tratamento controle, com menor consumo de matéria seca. As fontes de nitrogênio não influenciaram a digestibilidade de nutrientes, síntese de proteína microbiana no rúmen e balanço de N. Dessa forma a inclusão de NNP, em substituição ao farelo de soja, foi interessante do ponto de vista econômico e produtivo (Santos et al., 2011).

Aguiar et al. (2013) avaliaram consumo, produção e composição do leite de oito vacas mestiças 7/8 Holandês × Gir com período médio de lactação de 200 dias, em delineamento quadrado latino 4 × 4. As dietas (**Tabela 37** e **Tabela 38**) foram formuladas (isoproteicas) para vacas com peso corporal médio de 650kg e produção média de 25 kg de leite.dia^{-1} (NRC, 2001), com relação volumoso:concentrado de 45:55. Os tratamentos consistiram de níveis de ureia (0,00; 0,58; 1,17 e 1,75% na MS total da dieta) em substituição ao farelo de soja.

Tabela 37 Composição dos ingredientes e nutrientes das dietas (%MS)

Ingredientes	Níveis de inclusão de ureia (% MS)			
	0,00%	0,58%	1,17%	1,75%
Silagem de cana	45	45	45	45
Farelo de soja	20	16,03	12,2	8,33
Milho grão	33,6	36,89	40	43,14
Ureia: sulfato de amônio (9:1)	0	0,58	1,17	1,75
Suplemento mineral [1]	1,4	1,5	1,65	1,78
Composição Química				
Proteína Bruta (%)	13,28	13,7	13,04	13,68
NIDN[2]	0,29	0,21	0,23	0,23
NIDA[3]	0,06	0,05	0,05	0,05
Extrato Etéreo (%)	2,45	1,82	1,73	1,35
Carboidratos não fibrosos (%)	41,5	42,61	43,64	44,67
Fibra em detergente neutro (%)	43,97	41,39	47,99	36,42
Fibra em detergente ácido (%)	16,85	16,44	16,19	17,89
Lignina (%)	1,47	1,46	1,43	1,42

[1] Níveis de garantia do suplemento mineral: Ca 170g; P 85g; Co 100 mg; Cu 1.000 mg; S 25g; I 80 mg; Mg 15g; Mn 1.250 mg; Se 60 mg; Zn 3.000 mg. [2] NIDN= Nitrogênio insolúvel em detergente neutro. [3] NIDA= Nitrogênio insolúvel em detergente ácido. Fonte: Aguiar et al. (2013)

Tabela 38 Teores de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), extrato etéreo (EE) e lignina dos alimentos

Nutrientes	MS	PB	FDN	FDA	EE	Lignina
Ingredientes	% MS					
Silagem de cana	28,68	3,88	61,79	36,89	1,38	1,3
Milho	90,74	13,51	14,2	4,38	3,17	1,34
Farelo de soja	89,12	48,04	15,18	9,23	1,55	1,48

Fonte: Aguiar et al. (2013)

O consumo de MS e FDN (**Tabela 39**) não diferiram entre os níveis de ureia em substituição ao farelo de soja. Porém, o consumo de proteína bruta e extrato etéreo reduziram linearmente com a inclusão de ureia na dieta, provavelmente, devido à redução numérica do consumo de matéria seca.

Tabela 39 Consumo de matéria seca (CMS), proteína bruta (CPB), extrato etéreo (CEE), carboidratos não fibrosos (CCNF), fibra em detergente neutro (CFDN) e coeficientes de variação (CV) de vacas em lactação submetidas a dietas com níveis de ureia

Variáveis	Níveis de inclusão de ureia (% MS)				CV (%)
	0,00%	0,58%	1,17%	1,75%	
CMS (kg.dia^{-1})	23,13	22,84	22,88	21,58	10,72
CPB (kg.dia^{-1})	4,56	3,54	3,11	3,33	11,7
CEE (kg.dia^{-1})	0,71	0,53	0,29	0,39	16,19
CCNF (kg.dia^{-1})	8,68	11,03	10,14	11,32	18,42
CFDN (kg.dia^{-1})	7,45	6,55	5,8	7,08	23,41

Fonte: Aguiar et al. (2013)

Os resultados obtidos de produção de leite, com ou sem correção de gordura e parâmetros físico-químicos do leite (**Tabela 40**) não sofreram influência dos níveis de ureia adicionados à dieta em substituição ao farelo de soja. Este fato indica que a inclusão de ureia, em até 1,75% da MS da dieta, não

prejudica o consumo, produção e composição do leite (Aguiar et al., 2013).

Tabela 40 Produção de leite, gordura, proteína bruta, lactose, média e coeficientes de variação (CV) de vacas submetidas a dietas com níveis de ureia

Variáveis	Níveis de inclusão de ureia (% MS)				Média	CV (%)
	0,00%	0,58%	1,17%	1,75%		
Produção de leite (kg.dia^{-1})	27,5	27,91	27,89	24,73	Ŷ=27,00	4,64
PLG -3,5% de gordura (kg.dia^{-1})[1]	29,47	28,53	25,91	28,7	Ŷ=28,15	15,32
Gordura (%)	3,63	3,51	3,56	3,43	Ŷ=3,53	15,04
Proteína Bruta (%)	3,23	3,94	3,29	3,23	Ŷ=3,42	20,92
Lactose (%)	4,73	4,77	4,77	4,67	Ŷ=4,74	4,42
Sólidos Totais (%)	8,98	9,05	9,04	8,48	Ŷ=8,89	6,68

[1] PLG- produção de leite corrigida para gordura. Fonte: Aguiar et al. (2013)

Diante do exposto, fez-se uma compilação com base nos dados obtidos dos artigos citados, referente à diferença da porcentagem de proteína do leite, produção de leite e concentração de nitrogênio uréico do leite para os níveis de ureia em função da substituição do farelo de soja da dieta.

Verifica-se na **Fig. 3**, que os níveis de inclusão de NNP variaram de 0,4 a 3,0%, com uma tendência a diminuição da proteína do leite em relação ao grupo controle, à queda na produção de leite a partir da inclusão de 1,5% da MS de NNP, e, ainda, aumento nas concentrações de nitrogênio uréico do leite nos trabalhos avaliados.

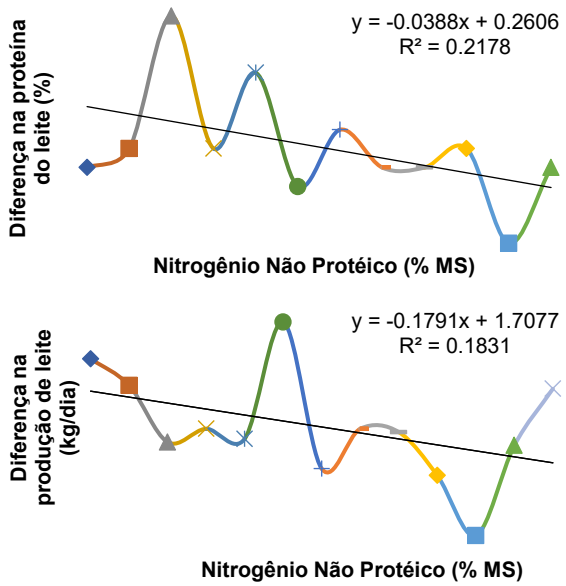


Fig. 3 Diferença na produção de proteína do em leite variando com diferentes níveis de inclusão de nitrogênio não proteico.

3.3. Fornecimento de dietas contendo lisina e metionina

Os aminoácidos são classificados em aminoácidos essenciais (AAE) e aminoácidos não essenciais (AANE). Os AAE (isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptofano e valina) não são sintetizados pelo organismo do animal, ou são sintetizados (arginina e histidina) em quantidade insuficiente para suprir as exigências. Os AANE (alanina, ácido aspártico, asparagina, cisteína, ácido glutâmico, glutamina, glicina, prolina, serina e tirosina) são aqueles que podem ser sintetizados pelo tecido animal a partir de metabólitos do metabolismo intermediário e de grupamentos amino provenientes do excesso de aminoácido (Santos & Pedroso, 2011).

A quantidade e qualidade dos aminoácidos que chegam ao intestino delgado dos ruminantes é resultante daqueles oriundos da proteína microbiana do rúmen e da fração proteica da dieta não degradada no rúmen. Entretanto, a proteína microbiana sintetizada pode não suprir quantidades suficientes de aminoácidos (AAs) para atender o requerimento de vacas leiteiras produzindo 30 litros de leite.dia^{-1} (Polan et al., 1991). As grandes demandas de aminoácidos na glândula mamária são oriundas dos aminoácidos extraídos do sangue (Clark et al., 1978). Os requerimentos de AAs para vacas leiteiras têm sido estimados por três métodos: Fatorial; Direto de resposta à dose; Indireto de resposta à dose (Schwab, 1996).

O método fatorial é utilizado pelo Sistema de Carboidratos e Proteína Líquida de Cornell (CNCPS) para estimar as exigências de AAs. O requerimento de AAs absorvidos é calculado pela multiplicação das exigências líquidas de proteína pela composição de AA do produto formado, dividido pela eficiência de uso de cada AA para mantença, crescimento e produção de leite (O'Connor et al., 1993).

O método direto de resposta à dose é limitado aos aminoácidos lisina e metionina. É baseado no fornecimento de quantidades crescentes de lisina e metionina via infusão no abomaso ou duodeno, ou através do fornecimento desses AAs protegidos da degradação ruminal, junto com mensurações das respostas na produção e dos fluxos de AAs no intestino delgado (Schwab, 1996).

O método indireto de resposta à dose consiste em estimar por equações de regressão as porcentagens dos AAs presentes na digesta duodenal, utilizando dados da literatura (Schwab, 1996).

De acordo com Schwab et al. (1976), a lisina e metionina são os AAs mais limitantes para a síntese de proteína do leite. Diante disso, Rulquin et al. (1995) e Schwab (1996), compararam os três métodos de determinação das exigências de AAs e concluíram que eles fornecem resultados similares e que a porcentagem de lisina e metionina na digesta duodenal para maximizar a produção e o teor de proteína no leite em relação ao total de AAs essenciais seria de 15 e 5%, respectivamente, quando se utilizam dietas convencionais, o que significa manter a relação de lisina: metionina de 3:1.

Cho et al. (2007) enfatizam que a manutenção da relação em torno de 3:1 entre lisina (Lys) e metionina (Met) é o ideal em termos de síntese de proteína do leite e eficiência da síntese de proteína do leite. Neste sentido, Schwab (1996) e Valadares Filho et al. (1990), apontaram a proteína bacteriana com uma relação lisina:metionina bastante similar àquela encontrada no tecido muscular e no leite. No entanto, o equilíbrio destes aminoácidos é difícil de se conseguir com fontes convencionais de alimentos. Deste modo, é necessária a utilização de fontes protegidas desses AAs para que essa relação seja atingida. De qualquer forma, o manejo nutricional deve sempre ter essa relação como referência para maximizar a síntese de proteína do leite. Além disso, Schwab (1996) concluiu que o balanceamento de rações utilizando AAs absorvidos no intestino delgado pode reduzir a quantidade de PNDR nas rações, permitindo atender outros nutrientes, tais como carboidratos fermentáveis no rúmen.

Nesse sentido, Sancanari et al. (2001) utilizaram seis vacas da raça Holandesa com produção superior a 20 kg de leite.dia^{-1}, sendo três vacas de primeira lactação e três vacas de segunda lactações, com 19 dias em lactação, para avaliar o efeito da suplementação com 8,4 g.dia^{-1} de metionina protegida da

degradação ruminal (MPDR) (12 g/animal.dia^{-1}, com 70% de metionina) ou 8,4 g.dia^{-1} de metionina não protegida da degradação ruminal (MNPDR) sobre a produção e composição do leite, comparado às vacas controle, durante 90 dias. Verificaram que as vacas primíparas foram responsáveis pela ausência de significância na produção média de leite (**Fig. 4**), por produzirem menos leite que as multíparas, durante os 90 dias de lactação, independente do tratamento.

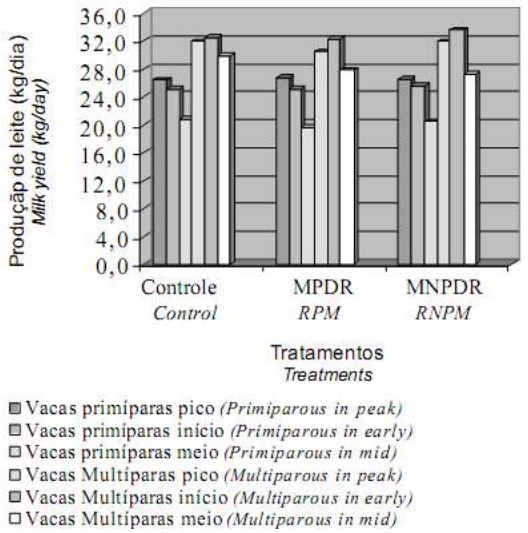


Fig. 4 Produção de leite (kg.dia^{-1}) de vacas suplementadas ou não com MPDR e MNPDR no pico, início e meio da lactação. Fonte: Sancanari et al. (2001)

No entanto, ao avaliar separadamente a resposta das vacas primíparas, observou-se que estas vacas produziram mais leite diante da suplementação com MPDR e MNPDR, enquanto as multíparas produziram menos leite, quando suplementadas com MPDR, em relação ao tratamento controle, nas fases pico e meio da lactação (Sancanari et al., 2001).

Além disso, a produção de leite foi afetada pelo estádio da lactação, em que vacas de segunda lactação tenderam a aumentar a persistência da lactação após o pico. Este aumento na produção de leite da fase inicial em relação à fase pico foi de 1,66; 4,88 e 6,22 unidades percentuais na produção de leite para vacas controle, MNPDR e MPDR respectivamente, sugerindo que a suplementação com fontes de metionina para vacas multíparas mantém a produção de leite elevada após o pico da lactação, ou seja, melhoram a persistência da lactação (**Fig. 4**) (Sancanari et al., 2001).

Os autores verificaram que a suplementação com diferentes fontes de metionina não afetou a produção média de leite, o teor e a produção de proteína do leite. A suplementação com MPDR e MNPDR não alterou o teor de proteína do leite, embora a proteína do leite tenha sido mais baixa 0,08 e 0,02 unidades percentuais para vacas suplementadas com MNPDR e controle, respectivamente. O teor de proteína do leite foi de 2,85% e a produção de proteína do leite, de 770 g.dia^{-1} para vacas suplementadas com MPDR (**Tabela 41**).

A produção média de proteína foi de 790, 770 e 760 g.dia^{-1} para vacas do tratamento controle e suplementadas com MPDR e MNPDR, respectivamente. Embora não tenha ocorrido diferença entre tratamentos, as vacas MPDR produziram 10 g.dia^{-1} de proteína do leite a mais que vacas MNPDR e 20 g.dia^{-1} a menos que vacas controle. Dessa forma, vacas suplementadas com MPDR produziram 3,60% a menos de proteína (kg.dia^{-1}) no leite, quando comparadas às vacas controle, e 1,32% a menos em relação a vacas suplementadas com MNPDR (Sancanari et al., 2001).

Tabela 41 Produção de leite e teores médios de gordura, proteína e produção de leite corrigida para 3,5% de gordura de vacas alimentadas com diferentes fontes de metionina

Parâmetros	Tratamentos			EP	CV%	QM[3]
	Con	MPDR[1]	MNPDR[2]			Efeito res. ajustado
Produção de leite kg.dia^{-1}	27,70[a]	27,09[a]	27,61[a]	1,16	4,21	0,4363
Teor de Proteína %	2,83[a]	2,85[a]	2,77[a]	0,15	5,23	0,0024
Produção de Proteína kg.dia^{-1}	0,77[a]	0,75[a]	0,79[a]	0,06	7,64	0,0013
Teor de gordura %	1,89b	0,79[a]	2,12b	0,15	7,22	0,1631**
Produção de gordura kg.dia^{-1}	0,52[a]	2,12b	0,58[a]	0,08	13,96	0,0008
PLG 3,5 % G[4]	21,25[a]	0,58[a]	21,35[a]	1,39	6,52	2,8543

[a,b] Em cada linha, médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste Tukey (P>0,05). [1] MPDR = Metionina protegida da degradação ruminal. [2] MNPDR = Metionina não protegida da degradação ruminal. [3] QM = Quadrado médio. [4] PLG 3,5%G=0,4324 × PL(kg)+16,216 × Gordura (kg). Fonte: Sancanari et al. (2001)

Além disso, Sancanari et al. (2001) verificaram tendência das vacas multíparas apresentarem maior teor de proteína do leite após as fases de pico, início e meio da lactação, quando comparadas às primíparas (**Fig. 5**).

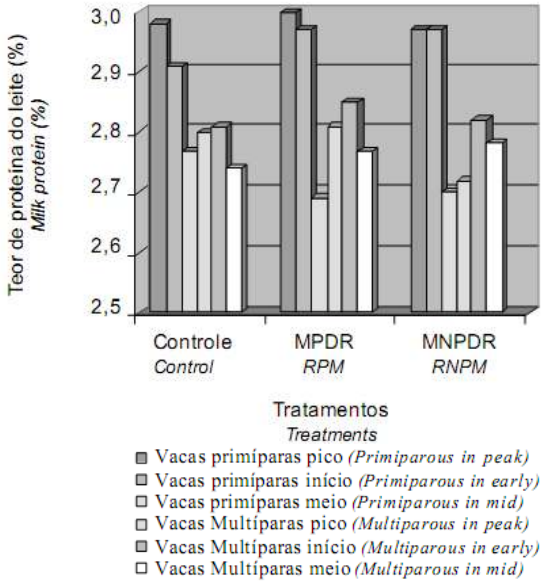


Fig. 5 Teor de proteína do leite (%) de vacas suplementadas ou não com MPDR e MNPDR no pico, início e meio da lactação. Fonte: Sancanari et al. (2001)

Quando se comparou a fase pico em relação à fase início da lactação, o aumento no teor de proteína do leite das vacas multíparas foram de 0,36; 1,42 e 3,68 unidades percentuais para controle, suplementadas com MPDR e MNPDR, respectivamente, provavelmente, por ter ocorrido um aumento na concentração plasmática de metionina (Sancanari et al., 2001).

Davidson et al. (2008) avaliaram o impacto da suplementação de 20 g.dia^{-1} de metionina, 45 g.dia^{-1} de betaína e 40 g.dia^{-1} de colina protegidas do rúmen (PR) sobre o desempenho e metabolismo de 80 vacas leiteiras da raça Holandesa (21 a 91 dias de lactação, alimentadas com silagem de

milho, a qual foi formulada de acordo com o NRC (2001), para atender os requerimentos de energia líquida (E_l), proteína metabolizável (PM), PDR e PNDR, macrominerais, microminerais e vitaminas A, D, e E. Além disso, a ração total foi formulada para conter uma quantidade limitada de Met, mas, adequada Lys, de modo que a dieta basal fornecia aproximadamente 163 g de Lys e 42 g de Met (relação Lys:Met de 3,75:1), de acordo com o NRC (2001) (**Tabela 42**).

Tabela 42 Predição do fluxo intestinal de Lys e Met de acordo com o NRC (2001)

	Tratamentos[1]			
	Controle	Met PR	Bet PR	Col PR
Relação Lys:Met[2]	3,88:1	2,96:1	3,88:1	3,88:1
Lys[3], g.dia^{-1}	163	163	163	163
Met[3], g.dia^{-1}	42	55	42	42
Lys[4], % do AA essencial	14,8	14,6	14,8	14,8
Met[4], % do AA essencial	3,8	4,9	3,8	3,8

[1] Met PR = 20, g/d de Met protegida no rúmen (PR); Bet PR = 40 g/d de betaína PR; Col PR = 45 g/d de colina PR. [2] Calculados a partir dos fluxos previstos de digestão Lys e Met de intestino delgado (g/d) de acordo com o NRC (2001). [3] Predição do fluxo de digestão Lys e Met de intestino delgado (g/d) calculado pelo NRC (2001). [4] Calculado a partir do NRC (2001), utilizando o fluxo previsto de digestão Lys, Met, e AA essencial para o intestino delgado (g/d). Fonte: NRC (2001)

Não foram observadas diferenças na ingestão de matéria seca, produção e composição do leite em vacas primíparas (**Tabela 43**).

Tabela 43 Produção de leite diária, composição do leite, ingestão de matéria seca (IMS) de vacas primíparas (n=8 por tratamento)

	Tratamentos[1]					
	Controle	Met PR	Bet PR	Col PR	EP	P≤
Produção leite, kg.dia^{-1}	27,9	28,0	26,1	27,5	1,3	0,73
Proteína verdadeira, %	2,60	2,77	2,67	2,68	0,06	0,28
Proteína verdadeira, kg.dia^{-1}	0,73	0,76	0,70	0,74	0,04	0,72
Gordura, %	2,97	2,71	3,03	2,93	0,15	0,46
Gordura, kg.dia^{-1}	0,84	0,77	0,79	0,79	0,05	0,81
NUL, mg.d−1	17,2	15,6	15,8	15,2	0,9	0,40
IMS, kg.dia^{-1}	19,7	20,0	18,8	20,2	1,4	0,90

[1] Met PR = 20, g/d de Met protegida no rúmen (PR); Bet PR = 40 g/d de betaína PR; Col PR = 45 g/d de colina PR. Fonte: Davidson et al. (2008)

Em multíparas, verificou-se que o consumo médio de matéria seca não diferiu entre os tratamentos. No entanto, a produção de leite foi maior nas vacas suplementadas com colina-PR (27,5 kg.dia^{-1}) em comparação aos outros tratamentos. A produção de proteína do leite foi maior nas vacas suplementadas com Colina-PR e Met-PR que nos animais do controle ou betaína-PR (**Tabela 44**).

Tabela 44 Produção de leite diária, composição do leite, ingestão de matéria seca (IMS) de vacas multíparas (n=12 por tratamento)

	Tratamentos[1]					
	Controle	**Met PR**	**Bet PR**	**Col PR**	**EP**	**P≤**
Produção, kg.dia^{-1}	37,7b	39,8b	38,6b	44,1a	1,2	0,01
Proteína verdadeira, %	2,47	2,61	2,44	2,49	0,06	0,18
Proteína verdadeira, kg.dia^{-1}	0,92c	1,04ab	0,96bc	1,10a	0,04	0,01
Gordura, %	2,80	2,46	2,91	2,64	0,13	0,11
Gordura, kg.dia^{-1}	1,03ab	0,99b	1,11ab	1,16a	0,05	0,05
NUL, mg.d^{-1}	17,0	16,0	17,4	17,2	0,8	0,58
IMS, kg.dia^{-1}	21,9	20,8	21,7	24,3	1,4	0,32

[1] Met PR = 20, g.dia^{-1} de Met protegida no rúmen (PR); Bet PR = 40 g.dia^{-1} de betaína PR; Col PR = 45 g.dia^{-1} de colina PR. Fonte: Davidson et al. (2008)

As concentrações de gordura e proteína do leite foram, respectivamente, maiores nas vacas prímiparas (2,91% e 2,68%) do que nas multíparas (2,70% e 2,50%). O aumento da produção de proteína do leite em vacas alimentadas com Met-PR em comparação com às alimentadas com dieta controle indicou que Met foi limitada nesta dieta (Armentano et al., 1997). Além disso, pode-se verificar que os tratamentos não resultaram em diferenças nas concentrações de nitrogênio uréico no leite em vacas prímiparas ou multíparas, o que sugere que a eficiência de utilização de nitrogênio foi semelhante entre os tratamentos (Davidson et al., 2008).

Desse modo, Davidson et al. (2008) concluíram que a suplementação de betaína-PR não foi benéfica, pois, assegura-se que não houve aumento da produção de Met a partir da homocisteína derivada da betaína. Isto sugere que o efeito da colina-PR pode ser devido a um aumento do fornecimento de fosfatidilcolina em vez do papel de colina como um doador do grupo metil. No entanto, existem diversas possibilidades para o método de ação, incluindo o aumento fosfatidilcolina, fornecimento de grupos metil ou o fornecimento de Met.

Vyas e Erdman (2009) quantificaram a produção de proteína do leite (PPL; g.dia^{-1}) em resposta ao fornecimento de Met ou Lys por infusão pós ruminal ou protegida da degradação ruminal. Utilizaram resultados de 23 estudos publicados envolvendo a suplementação pós ruminal (infusão abomaso ou duodeno) ou formas protegidas do rúmen de Lys (18 experimentos, 53 tratamentos) e Met (35 experimentos, 99 tratamentos) para vacas leiteiras em lactação. O efeito da ingestão de Met e Lys (**Fig. 6**) sobre as taxas marginais de produção de proteína do leite e sua eficiência de conversão em AA do leite foram com base nas concentrações de metionina de 2,76 e de Lys de 7,63 g por 100 g de proteína do leite (Jensen, 1995).

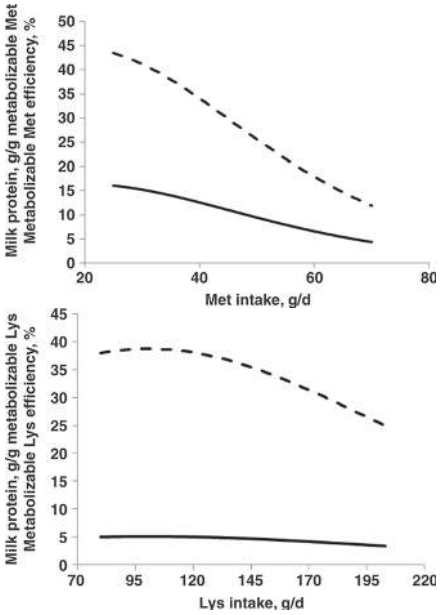


Fig. 6 Previsão marginal da produção de proteína do leite (g) por grama de ingestão Met ou Lys (linha contínua) e a eficiência de utilização de Met ou Lys metabolizável (linha tracejada) para a síntese de proteína do leite em relação ao aumento da ingestão de Met ou Lys metabolizável (g.dia^{-1}). Fonte: Vyas & Erdman (2009)

Pode-se verificar que as respostas à proteína do leite para suplementação de Met diminuiu 16 a 4 g de proteína do leite por grama de ingestão de Met metabolizável, assim como a ingestão de Met variou de 25 a 70 g por vaca.dia^{-1}. Do mesmo modo, as respostas de proteínas do leite para suplementação de Lys diminuiu 5,0 a 3,2 g de proteína do leite por grama de ingestão de Lys metabolizável, assim como a ingestão de Lys variou de 80 a 203 g por vaca por dia (**Fig. 6**). Assumindo que as concentrações de Met e Lys de 2,76 e 7,63 g/100 g de proteína do leite, respectivamente, as eficiências marginais implícitas de uso AA

metabolizável para produção de proteína do leite caiu de 44 para 12% para Met e de 39 para 25% de Lys, sobre a faixa de ingestão de AA (Vyas & Erdman, 2009).

A baixa eficiência marginal de utilização de aminoácido seria esperada quando o fornecimento de aminoácidos é igual ou próximo ao requisito do animal. Isto sugere que os modelos atuais assumem que tanto uma resposta constante de produção de proteína do leite e constante eficiência de utilização de AA são inadequados. Deste modo, modelos que assumem uma eficiência constante do uso de AA, irão superestimar as respostas de produção para fornecimento de AA individual, especialmente, quando grandes quantidades de AA são fornecidos (Vyas & Erdman, 2009).

Wang et al. (2010) determinaram o efeito do teor de lisina e de metionina na proteína metabolizável, sobre o desempenho da lactação e a utilização de nitrogênio em 60 vacas da raça Holandesa (120 dias de lactação e produção de leite de 32 kg.dia^{-1}, suplementadas por 8 semanas). A dieta controle (C) foi formulada para ser adequada em energia, mas um pouco limitante na PM. A concentração de Met e Lys na PM foi de 1,87 e 5,93%, respectivamente. Os tratamentos foram os seguintes (% de Met ou Lys na PM): L = dieta C suplementada com L-lisina-HCl a 0,49% MS, sendo (Met: 1,87 e Lys: 7,00%); M = dieta C suplementado com Metionina-hidroxi-análogo (2-hidroxi, 4 metil-tio butanóico - HMB) a 0,15% (Met: 2,35 e Lys: 5,93%); ML = dieta C suplementada com 0,49% de L-lisina-HCl e 0,15% de HMB (Met: 2,39 e Lys: 7,10%) (**Tabela 45**).

Tabela 45 Composição das dietas experimentais

Composição	Tratamentos[1]				EP
	C	M	L	ML	
MS,[2]%	52,3	51,7	51,8	52	2,3
PB, [2]% MS	16,5	16,4	16,4	16,4	0,05
FDN,[2]% MS	37,8	37,7	37,4	37,5	0,33
FDA,[2]% MS	21	20,5	20,1	20,8	0,23
PDR,[3]% MS	10,3	10,3	10,2	10,2	-
PNDR,[3]% MS	6,2	6,1	6,2	6,2	-
PM,[3]% MS	9,7	9,79	9,8	9,85	-
Lys:Met	3,10:1	2,55:1	3,60:1	3,00:1	-
EI_L,[3] Mcal.dia^{-1} MS	1,56	1,56	1,56	1,56	-

[1]C = controle, M = suplementação de metionina, L = suplementação de lisina, ML = suplementação de metionina e lisina. [2] As amostras quinzenais foram analisadas quimicamente para estes valores nutricionais. [3] Cálculos baseados em alimentos individuais CNSAPH (2000). Fonte**:** Wang et al. (2010)

A produção de leite aumentou com a suplementação seja de Lys (1,5 kg.dia^{-1}), ou Met (2,0 kg.dia^{-1}), e suplementação de ambos Lys e Met aumentou ainda mais a produção de leite (3,8 kg.dia^{-1}) (**Tabela 46**).

Tabela 46 Efeitos da suplementação dietética de lisina e metionina sobre a ingestão de matéria seca (IMS) e produção de leite

Item	Tratamento[1]				EP
	C	M	L	ML	
IMS, kg.dia^{-1}	20,9	20,7	21	20,7	0,24
Met- PM, g.dia^{-12}	38	48	38	48	1,5
Lys-PM, g.dia^{-12}	122b	122b	144a	144a	5,1
Lys:Met	3,10:1b	2,58:1c	3,74:1a	3,04:1b	0,12
Produção de leite, kg.dia^{-1}					
Leite	26,5b	28,5a	28,0ab	30,3a	0,65
Leite corrigido gordura[2]	25,7b	28,3a	27,5a	28,5a	0,61
Proteína do leite	0,87b	0,92a	0,90ab	0,98a	0,02
Composição do leite, %					
Proteína	3,27	3,3	3,25	3,25	0,1
Gordura	3,60b	3,95a	3,67b	3,90a	0,05
Lactose	5,01	5,04	5,15	5,06	0,042
Sólidos totais	12,79	13	12,93	12,6	0,204
Sólidos não gordurosos	8,99	9,06	9,1	8,91	0,12
Eficiência Leite[3]	1,27[b]	1,38[a]	1,34[a]	1,46[a]	0,03

[a–c] Médias em uma mesma mesma linha com diferentes sobrescritos são diferentes (P <0,05);[1]C = controle, M = suplementação de metionina, L = suplementação de lisina, ML = suplementação de metionina e lisina. [2] Os valores foram previstos pelo modelo NRC (2001), baseado em IMS medido e a análise química de alimentos. [3] Eficiência Leite = produção de leite / IMS. Fonte: Wang et al. (2010)

Pode-se verificar que não houve diferença significativa no consumo de matéria seca, pois, vacas em tratamentos M (3,95%) e ML (3,90%) apresentaram maior teor de gordura do leite do que àquelas em C (3,60%) e L (3,67%), porém, não houve diferença significativa no teor de proteína do leite e lactose entre os tratamentos (Wang et al., 2010). Além disso, a suplementação de Met e Lys (ML) apresentaram maior conversão de ingestão de N ao leite e menores concentrações de N uréico no soro, urina e leite, em relação os demais tratamentos (**Tabela 47**).

Tabela 47 Efeitos da suplementação dietética de lisina e metionina sobre a concentração de N uréico no soro, urina e leite.

Item	Tratamento[1]				EP
	C	M	L	ML	
Concentração de N Uréico, mg.d^{-1}					
Soro	14,8b	13,6b	15,0a	13,0c	0,40
Urina	672,8b	676,9b	710,0a	582,1c	11,90
Leite	14,4a	13,4b	14,6a	12,8c	0,20

[a–c] Médias em uma mesma mesma linha com diferentes sobrescritos são diferentes (P<0,05).[1] C = controle, M = suplementação de metionina, L = suplementação de lisina, ML = suplementação de metionina e lisina. Fonte: Wang et al. (2010)

A adição de HMB e L-lisina-HCl a uma dieta com inadequada Met-Lys resultou num aumento na quantidade de Met e Lis em PM, e, consequentemente, um aumento da produção de leite, rendimento de proteína do leite, eficiência de utilização de N e gordura do leite.

Appuhamy et al. (2011) investigaram se os aminoácidos de cadeia ramificada (ACR), leucina, isoleucina e valina seriam limitantes para a síntese de proteína do leite quando a oferta de metionina e lisina não era restrita. Nove vacas multíparas da raça Holandesa, com produção média de leite de 53,5 kg.dia^{-1} foram alocadas aleatoriamente para receber, por 7 dias, infusões jugular contínua de solução salina (CTL- 0,9%); metionina e lisina (ML, 12 g e 21 g.dia^{-1}, respectivamente), ou ML + leucina, isoleucina e valina (ML + ACR: 35 g, 15 g, e 15 g.dia^{-1}, respectivamente). A dieta basal consistia em 40% de silagem de milho, 14% de feno de alfafa, e uma mistura de concentrado, com fornecimento de lisina, metionina, isoleucina, leucina e valina como 6,1; 1,8; 4,7; 8,9 e 5,3% de proteína metabolizável, respectivamente.

A predição dos fluxos duodenais de AAE digestível (NRC, 2001) a partir da dieta basal foi com base na ingestão média da dieta e na taxa de infusão diária de metionina, lisina, e ACR (g.dia^{-1}) (**Tabela 48**).

Tabela 48 Fluxo de AA essencial digestível (AAE) predito pelo NRC (2001) a partir da dieta basal observados na ingestão média de MS, infusão média de AA, total e AA total digestível, expressa em g.dia^{-1} e porcentagem de proteína metabolizável (% PM) de vacas que receberam infusão de salina (CTL), metionina e lisina (ML) e de metionina e lisina acrescido de AA de cadeia ramificada (ML + ACR)

AAE	Dieta[1] (g.dia^{-1})	CTL	ML			ML+ACR		
		% PM	Infusão (g.dia^{-1})	Total (g.dia^{-1})	Total % PM	Infusão (g.dia^{-1})	Total (g.dia^{-1})	Total % PM
Arg	123	4,6	-	123	4,6	-	123	4,5
His	59	2,2	-	59	2,2	-	59	2,1
Ile	126	4,7	-	126	4,7	14	140	5,1
Leu	236	8,9	-	236	8,8	32	268	9,7
Val	142	5,3	-	142	5,3	14	156	5,7
Lys	162	6,1	21	183	6,8	20	182	6,6
Met	49	1,8	12	61	2,3	11	60	2,2
Phe	132	5	-	132	5	-	132	4,8
Thr	125	4,7	-	125	4,7	-	125	4,6
Total EAA[2]	1,154	-	33	1,187		91	1,245	-

[1] PNDR digestível e PB microbiana.[2] Exceto Trp. Fonte: Appuhamy et al. (2011)

As estimativas para os fluxos duodenais de lisina e de metionina à dieta basal foram de 6,1 e 1,8% PM, respectivamente, que é, consideravelmente, inferior aos valores-alvo para a lisina (7,2%) e metionina (2,4%) para maximizar a síntese de proteína

do leite em vacas leiteiras (NRC, 2001). Isto sugere que a lisina e metionina foram limitantes para a síntese de proteína do leite. Deste modo, a infusão jugular de lisina (21 g.dia^{-1}) e metionina (12 g.dia^{-1}) foi predita pelo NRC (2001) para aumentar o total de lisina e metionina a 6,8 e 2,3% PM, respectivamente (Appuhamy et al., 2011).

A ingestão de matéria seca (23,9 kg.dia^{-1}), produção de leite (52,8 kg.dia^{-1}), teor de gordura (2,55%), produção de gordura (1,33 kg.dia^{-1}), conteúdo de lactose (4,77%), produção de lactose (2,51 kg.dia^{-1}) e eficiência de proteína do leite (0,38) foram semelhantes entre os tratamentos (**Tabela 49**).

Tabela 49 Efeitos da infusão dos tratamentos de salina (CTL), Met e Lys (ML) e Met, Lys +AA de cadeia ramificada (ML+ACR) sobre a ingestão, proteína do leite, componentes do leite e eficiência da proteína do leite

	Tratamentos				
Variáveis	**CTL**	**ML**	**ML+ACR**	**EP**	***P***
IMS (kg.dia^{-1})	23,8	23,5	24,4	1,04	0,795
Ingestão de PB (kg.dia^{-1})	3,83	3,79	3,92	0,19	0,82
Infusão de AA (g.dia^{-1})	0,00a	32,7b	91,0c	0,61	<0,001
Ingestão total de PB (kg.dia^{-1})	3,83	3,82	4,01	0,19	0,592
Produção de Leite					
Produção de leite (kg.dia^{-1})	51,7	52,9	53,8	2,65	0,42
Produção proteína (kg.dia^{-1}),	1,39a	1,52b	1,51b	0,07	0,063
Proteína (%)	2,71a	2,88b	2,83b	0,06	0,009
Produção de gordura (kg.dia^{-1})	1,31	1,38	1,31	0,09	0,803
Gordura (%)	2,57	2,61	2,46	0,18	0,681
Produção de lactose (kg.dia^{-1}),	2,46	2,53	2,54	0,12	0,569
Lactose (%)	4,77	4,8	4,74	0,07	0,208
Produção de NUL(g.dia^{-1})	6,43	6,29	5,85*	0,47	0,181
Teor de NUL (mg.d^{-1})	12,4a	11,8a	10,9b	0,7	0,006
Eficiência da proteína do leite[1]	0,37	0,4	0,38	0,02	0,325

[a-c] letras diferentes dentro de uma linha indicam tratamentos significativamente diferente (P<0,05). [1] Eficiência proteína do leite = produção de leite de proteínas (kg.dia^{-1})/consumo total PB (kg.dia^{-1}) * Tendem a diminuir (P = 0,08) em comparação com o CTL. Fonte: Appuhamy et al. (2011)

Observa-se que a produção e o teor de proteína do leite não foram significativamente diferentes para ML (1,52 kg.dia^{-1} e 2,88%, respectivamente) e ML + ACR (1.51 kg.dia^{-1} e 2,83%, respectivamente), mas foram maiores que o CTL (1,39 kg.dia^{-1} e 2,71%, respectivamente). Além disso, as vacas que receberam ML + ACR tinham menor teor de N uréico no leite (10,9 mg.d^{-1}) em comparação com o tratamento controle (12,4 mg.d^{-1}) e vacas ML (11,8 mg.d^{-1}) (Appuhamy et al., 2011).

Considerando que as vacas de alta produção responderam positivamente à suplementação de metionina e lisina, não foram encontrados benefícios aparentes da suplementação de ACR na síntese de proteína do leite. A infusão de ACR pode ter estimulado a síntese de outras proteínas do corpo e proteínas musculares, visto que, foi evidenciada uma diminuição de N uréico no leite (Appuhamy et al., 2011).

Deste modo, fez-se uma compilação com base nos 15 dados obtidos dos artigos citados, referente à produção de leite, síntese de proteína e relação de lisina:metionina na dieta fornecidas. Verifica-se que a relação lisina:metionina variou de 2,58:1 a 3,88:1, a produção de leite de 28,50 a 53,80 kg.dia^{-1} e a proteína do leite de 2,44 a 3,30% (**Fig. 7**).

Sendo que, os maiores valores de produção de leite foram verificados para as relações de Met:Lis de 3:1 e 3,03:1, os quais corresponderam as produções de 52,90 e 53,80 kg.dia^{-1}, respectivamente. No entanto, os menores valores de produção de leite (26,10; 27,50 e 27,90 kg.dia^{-1}) para as altas relações de lisina:metionina, foram devido às vacas serem prímiparas (Davidson et al., 2008).

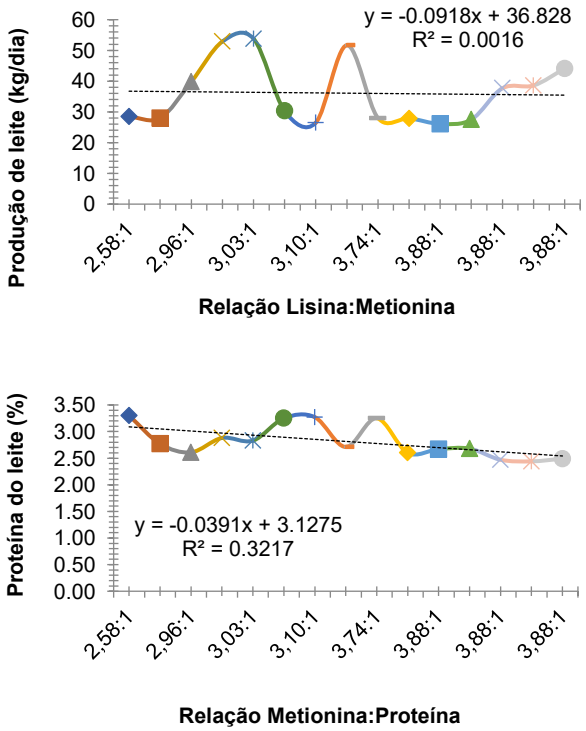


Fig. 7 Produção de leite de vacas da raça Holandesa em função da relação de lisina e metionina, e metionina e proteína.

Adicionalmente, verificou-se a síntese de proteína do leite em função do aumento na relação de lisina:metionina das dietas fornecidas para vacas leiteiras da raça Holandesa (**Fig. 7**).

Pode-se observar, através da linha de tendência, que a medida que aumentou a relação de lisina:metionina na dieta, ocorreu diminuição da síntese de proteína do leite. Isto, possivelmente, é devido ao aumento da quantidade de lisina ou redução de metionina na dieta, visto que, o aumento da disponibilidade de aminoácidos, principalmente a metionina, pode aumentar a produção de glicose e a oxidação hepática de aminoácidos, ou diretamente promover a síntese de proteínas (Ardalan et al., 2010).

3.4. Composição do leite como ferramenta de monitoramento nutricional

3.4.1. Nitrogênio uréico do leite (NUL)

Os maiores custos dentro da cadeia produtiva do leite são destinados à alimentação dos animais. Sendo assim, é de suma importância que este recurso seja bem empregado e proporcione um retorno econômico satisfatório ao produtor. Desta forma, torna-se imprescindível o monitoramento e identificação dos pontos limitantes e seus respectivos resultados após a correção, visando uma melhor eficiência (Peres, 2001).

Assim como a gordura, a proteína do leite, também, é influenciada por fatores genéticos (**Tabela 50**) e nutricionais, no entanto, quando a gordura apresenta amplitude de variação na casa de 2 a 3 unidades porcentuais, a proteína raramente varia mais do que 0,3 a 0,4 unidades porcentuais em função da nutrição, sendo verificado variações na casa de 0,1 a 0,2 unidades porcentuais. Esta pequena variação pode ser devido à síntese de proteína ser regulada por aminoácidos essenciais na formação das moléculas, ao contrário da síntese de gordura pela glândula mamária. A deficiência de algum desses aminoácidos impossibilita

a formação de toda a molécula de proteína e prejudica a capacidade de produção da proteína do leite pela glândula mamária (Peres, 2001).

Tabela 50 Composição, em porcentagem, dos nutrientes do leite de diferentes raças de bovino de leite

Raça	Gordura	Proteína	Lactose	Cinzas	Sólidos Totais
Ayrshire	4,1	3,6	4,7	0,7	13,1
Guernsey	5,0	3,8	4,9	0,7	14,4
Holstein	3,5	3,1	4,9	0,7	12,2
Jersey	5,5	3,9	4,9	0,7	15,0
Pardo Suiço	4,0	3,6	5,0	0,7	13,3
Zebu	4,9	3,9	5,1	0,8	14,7

Fonte: Adaptado de Jensen (1995).

A proteína metabolizável no intestino dos ruminantes é formada pelo total de aminoácidos derivada da digestão intestinal, onde a proteína microbiana constitui a principal fonte de proteína metabolizável, representando valores ao redor de 45 a 55% em vacas leiteiras de alta produção. Desta forma, uma vez que se deseje alterar o teor de proteína do leite, deve-se adotar medidas que permitam otimizar a produção de proteína microbiana (Santos & Pedroso, 2011).

Frequentemente adotam-se avaliações visuais para monitorar a nutrição dos animais, como a avaliação do escore de condição corporal. No entanto, uma forma eficiente, porém, pouco utilizada pelo produtor rural para monitoramento nutricional seria a avaliação da composição do leite produzido pelos animais (Peres, 2001).

Diversos estudos avaliam os níveis de ureia no leite com o intuito de utilizar este parâmetro como indicador do status nutricional proteico e da eficiência da utilização do nitrogênio em vacas, e a possibilidade de utilização da técnica de dosagem rápida através de método enzimático-colorimétrico, que permite determinar a concentração de um grande número de amostras em pouco tempo, podendo ser utilizado no controle da qualidade do leite (González & Scheffer, 2004).

As análises do leite passaram por uma evolução, onde é possível de forma rápida, eficiente e com baixo custo à determinação de informações que predizem a situação nutricional através da composição do leite. Análises por equipamentos de infravermelho, por exemplo, determinam, em poucos segundos, os teores de gordura, proteína, lactose, sólidos totais e teores de nitrogênio uréico do leite. Estes dados, até então considerados inúteis por muitos produtores, pelo não conhecimento de sua relação com a dieta dos animais, pode trazer informações de muita utilidade (Peres, 2001).

Dietas com excesso de proteína, principalmente na forma degradável no rúmen, quando não convertida a proteína microbiana no rúmen, é absorvida através da parede ruminal por difusão e transportada para o fígado pela veia porta, onde será convertido em uréia, e esta por se tratar de uma molécula altamente permeável, entra em equilíbrio nos diferentes tecidos, incluindo a glândula mamária, sendo sua presença detectada no leite na forma de nitrogênio uréico do leite (Santos & Pedroso, 2011). Desta forma, a produção de amônia e sua conversão a uréia pelo fígado indicam o nível de proteína degradável no rúmen e a disponibilidade de carboidratos fermentáveis disponíveis para a síntese de proteína microbiana, utilizada como principal fonte de proteína metabolizável no intestino delgado (Peres, 2001).

A concentração de ureia no leite não está ligada a regulação de mecanismos homeostásicos, sendo menos afetada por variações pós-prandiais que a uréia plasmática, sendo assim, sua dosagem pode melhor predizer o balanço proteico do que a uréia sanguínea. E, de forma prática, é preferível coletar grande número de amostras de leite do que sangue (González & Scheffer, 2004).

Butler et al. (1996), evidenciaram que o excesso de uréia no plasma, por desbalanço na dieta, pode agir de forma negativa no sentido de reduzir o pH uterino (através da circulação sanguínea pelos tecidos) e prejudicar o desenvolvimento embrionário, principalmente, no período gestacional precoce, onde ocorre o reconhecimento materno e, ainda, ocasionar balanço energético negativo no animal, uma vez que, a excreção de cada grama de nitrogênio em excesso requer cerca de 7,4 kcal de energia metabolizável (González & Scheffer, 2004).

Os autores correlacionaram às concentrações de nitrogênio uréico plasmático e nitrogênio uréico do leite (**Fig. 8**) com a taxa de prenhez em vacas leiteiras da raça Holandesa.

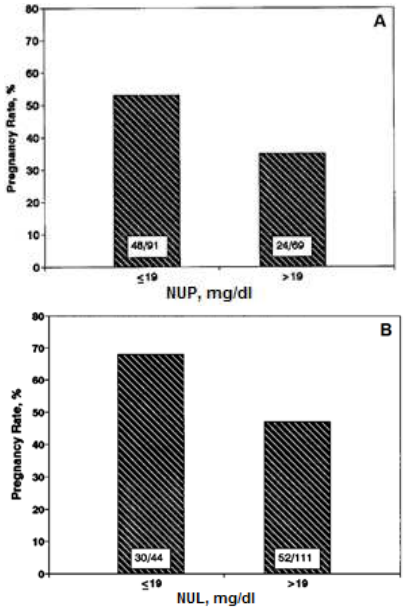


Fig. 8 (A) Relação do nitrogênio uréico plasmático (NUP) e a taxa de prenhez após a primeira inseminação artificial (IA) em vacas leiteiras (n = 160). A taxa de prenhez foi reduzida (P<0,02) em vacas com NUP ≥ 19 mg.d^{-1}. (B) Relação de nitrogênio uréico do leite (NUL) e a taxa de prenhez após a primeira IA em vacas leiteiras (n = 155). A taxa de prenhez foi reduzida (P<0,02) em vacas com NUP ≥ 19 mg.d^{-1}.Fonte: Butler et al. (1996)

Concentrações de NUP e NUL maiores que 19 mg.d^{-1} foram associadas com diminuição (P<0,02) das taxas de prenhez (18 e 21% de redução nos dois experimentos A e B) (Butler et al., 1996).

Desta forma, além de uma perda relacionada ao excesso de nitrogênio excretado, evidenciado pelos elevados valores de NUP e NUL, ainda ocorreu uma redução na fertilidade após a inseminação artificial dos animais (Butler et al., 1996).

Sob aspecto econômico, para cada unidade de nitrogênio uréico no leite estima-se a necessidade de excreção de 90 g de proteína, aproximadamente 180 g de farelo de soja (Jonker & Kohn, 1998), sendo um fator negativo, uma vez que a alimentação do rebanho representa cerca de 70% do custo total de produção, e que a proteína é o ingrediente de maior valor agregado dentre os ingredientes utilizados na dieta (González & Scheffer, 2004).

Além disso, excessos de NUP e NUL geram problema ambiental, uma vez que a produção animal tem sido identificada como uma das principais fontes de poluição por nitrogênio. O dejeto dos animais polui o ambiente, principalmente, em função da

amônia, que se volatiliza para o ar, e nitritos que adentram ao solo por lixiviação, podendo contaminar lençóis freáticos profundos, causando grande impacto ambiental negativo (Magalhães, 2003).

Em termos práticos, quanto à qualidade do leite, quanto maior o valor de NUL, menor a concentração de caseína, o que representa menor potencial de industrialização do leite e derivados (Ospina et al., 2000).

O ideal é realizar uma avaliação da concentração de ureia no leite a cada 3 meses, de forma que se estabeleçam valores médios. A cada mudança na dieta dos animais, em termos de volumoso, degradabilidade e/ou solubilidade da proteína da dieta, mudança no tamanho das partículas e umidade dos grãos seja realizado uma dosagem da concentração de NUL ou quando houver suspeita de problemas relacionados a proteína da dieta (González & Scheffer, 2004).

Segundo Hutjens (1996), valores de nitrogênio uréico do leite entre 12 e 18 mg.d^{-1}, são considerados ideais para um rebanho. Sendo que, abaixo ou acima destes valores, podem representar algum desbalanço na dieta dos animais (**Tabela 51**).

Tabela 51 Interpretação dos resultados de nitrogênio uréico no leite, com níveis de proteína para a raça Holandesa

% de proteína do leite	Nitrogênio uréico < 12 mg.d^{-1}	Nitrogênio uréico > 12 e < 17 mg.d^{-1}	Nitrogênio uréico > 18 mg.d^{-1}
Abaixo de 3,0	Deficiência de: ·Proteína bruta ·Proteína degradável ·Proteína solúvel	Deficiência de: ·Proteína bruta ·CHO não estruturais ·Aminoácidos	Excesso de: ·Proteína bruta ·Proteína degradável ·Proteína solúvel Deficiência de: ·CHO não estruturais Desbalanço de AA
Acima de 3,2	Adequação em AA Deficiência de: ·Proteína degradável ·Proteína solúvel Excesso de: ·CHO não estruturais	Balanço de AA Balanço de CHO	Excesso de: ·Proteína degradável ·Proteína solúvel Deficiência de: ·CHO não estruturais

AA = aminoácidos; CHO = carboidratos. Fonte: Adaptado de Hutjens (1996)

Valores de ureia no leite para o rebanho abaixo de 12 mg.d^{-1}, podem indicar deficiência proteica ou excesso de carboidratos na dieta, limitando a fermentação ruminal, a síntese de proteína microbiana e máximo desempenho animal. Este fato indica que os níveis de proteína da dieta são inadequados, sendo necessário adequar à dieta com o aumento da oferta de proteína. Já, valores acima de 18 mg.d^{-1} representam perdas energéticas (para eliminação da uréia), problemas reprodutivos, deficiência imunológica, perdas proteicas e ainda contaminação ambiental (Peres, 2001).

Aquino et al. (2009) destacaram que elevados teores de NUL são decorrentes de excesso de PB ou de um desbalanço da dieta das frações degradáveis e não degradáveis no rúmen, que indica um fornecimento exacerbado de N para os microrganismos ruminais e/ou tecidos.

Dentre os fatores não nutricionais, foi encontrada associação negativa entre as concentrações de gordura, proteína, lactose e sólidos totais e associação positiva entre produção de leite, concentração de proteína do leite e as concentrações de NUL. Entre estes fatores, a produção de leite e a concentração de proteína do leite apresentaram maior correlação com as concentrações de NUL. Sendo que aumento nas concentrações de NUL, em relação ao aumento na produção de leite (0,1054 mg.d^{-1} de concentração de NUL para cada kg a mais na produção diária de leite), é devido ao fato de a energia ser o fator limitante para vacas de alta produção, sendo que, para atender a ingestão de energia necessária, ocorre um aumento no consumo de MS pelo animal, levando a uma ingestão em excesso de proteína, em relação à energia (Meyer et al., 2006).

Em contrapartida, Maggioni et al. (2008) reportaram que a cada 04 mg.d^{-1} de elevação nos níveis de NUL, em vacas no pós-parto, provocada por dietas com excesso em PDR, levam à redução de 1,5 litros de leite.dia^{-1}. Por outro lado, o aumento nas concentrações de proteína do leite provocou diminuição nas concentrações de NUL (aumento de uma unidade percentual de proteína leva ao decréscimo de aproximadamente 2,1 mg.d^{-1} de NUL), visto que, a maior parte do nitrogênio ingerido, provavelmente, foi direcionado para síntese de proteína microbiana para síntese da proteína do leite (Meyer et al., 2006).

É importante ressaltar que a composição do leite não deve ser utilizada como único parâmetro da avaliação nutricional na identificação de problemas e tomadas de decisões. Nesse sentido, há necessidade de outros indicadores nutricionais associados para que possa aumentar a probabilidade de acerto. O recomendável é associar os dados de composição do leite com o desempenho produtivo e reprodutivo do rebanho, juntamente com a incidência de distúrbios metabólicos (Hutjens, 1996).

Diante disso, fez-se uma compilação com base nos artigos citados: 15 dados dos trabalhos de aminoácidos, referente a síntese de proteína, nitrogênio uréico no leite e relação de lisina:metionina na dieta (**Fig. 9**).

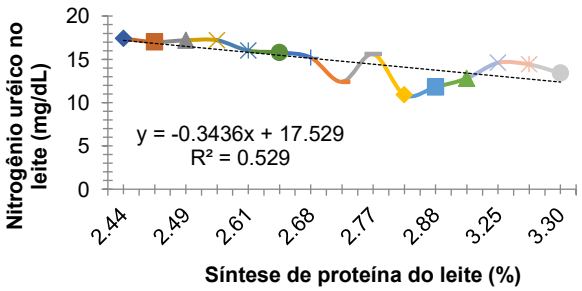


Fig. 9 Nitrogênio uréico do leite em função da síntese de proteína do leite de vacas da raça Holandesa recebendo dietas em que a relação lisina:metionina variou de 2,58:1 a 3,88:1.

Observa-se que, à medida que aumenta a síntese de proteína do leite, diminui o NUL, devido a maior parte do nitrogênio ingerido ser destinado a síntese de proteína microbiana para, posteriormente, síntese de proteína do leite (Meyer et al., 2006). Deste modo, pode-se inferir que a proteína dietética foi destinada para a síntese de proteína do corpo (leite e proteína do músculo), visto que concentrações de NUL mais baixas são indicativos de uma melhor eficiência de utilização de N por todo o corpo (Broderick et al., 2008).

Pode-se verificar que o nitrogênio uréico no leite variou de 10,90 a 17,40 mg.d^{-1} (**Fig. 9**), dentro da faixa de 12 e 18 mg.d^{-1}, considerados como ideal para um rebanho leiteiro (Hutjens, 1996). Sendo que a menor concentração de NUL observada (10,90 mg.d^{-1}) foi decorrente do tratamento com associação de metionia:lisina e aminoácidos de cadeia ramificada na dieta (Appuhamy et al., 2011).

No entanto, neste tratamento (10 mg.d^{-1} de NUL) foi encontrado o valor de 2,83% de PB no leite, abaixo de 3,0 %, considerado como ideal, sendo assim, uma referência de deficiência de proteína bruta, proteína degradável ou proteína solúvel na dieta (Hutjens, 1996) ou até mesmo excesso de carboidratos na dieta, o que pode limitar a fermentação ruminal,

produção de proteína microbiana e desempenho animal (Peres, 2001).

Sobretudo, as maiores concentrações de NUL verificada foi decorrente do fornecimento de betaína protegida no rúmen (17,40 mg.d^{-1}) e da dieta controle (17,20 mg.d^{-1}) (Davidson et al., 2008). Isto é devido a menor síntese de proteína do leite de 2,44% e 2,47% respectivamente para betaína protegida no rúmen e dieta controle, abaixo de 3,0 %, sendo assim, um indicativo de excesso de proteína bruta, proteína degradável, proteína solúvel ou deficiência de carboidratos não estruturais ou desbalanço de AA na dieta (Hutjens, 1996).

3.4.2. Relação proteína:gordura do leite

A relação proteína:gordura, também, serve para verificar eventuais anormalidades na produção de leite para a raça Holandesa, toda vez que a relação for menor que 0,80 significa haver um teor excessivamente baixo de proteína; sendo a relação maior que 1,0 deve-se considerar como muito baixo o teor de gordura (Mühlbach, 2011), indicativo de déficit energético-proteico ou alterações na fermentação ruminal (Jensen, 1995).

Diante disso, fez-se uma compilação com base nos artigos citados: 26 dados obtidos dos trabalhos de PDR e PNDR, referente PB, PDR e PNDR da dieta, PB e gordura do leite (G) e relação PB:G (**Tabela 52**); 06 dados obtidos dos trabalhos de NNP na dieta (**Tabela 53**) e 18 dados dos trabalhos de aminoácidos, referente a relação de lisina:metionina na dieta PB e gordura do leite (G) e relação PB:G (**Tabela 54**).

Tabela 52 Composição, em porcentagem, dos nutrientes do leite em função do fornecimento de proteína degradável no rúmen (PDR) e proteína não degradável no rúmen (PNDR)

Trat	PB	PDR	PNDR	Proteína do leite	Gordura do Leite	Relação PB:G	Referência
20	11,30	8,13	3,17	3,44	3,94	0,87	Pereira et al. (2005)
23	12,30	8,79	3,51	3,42	4,07	0,84	
26	13,30	9,65	3,65	3,40	3,97	0,86	
29	14,40	10,40	4,00	3,58	4,14	0,86	
6,8	12,3	6,8	5,5	2,95	3,7	0,80	Kalscheur et al. (2006)
8,2	13,9	8,2	5,7	3,06	3,74	0,82	
9,6	15,5	9,6	5,9	3,09	3,82	0,81	
11	17,01	11	6,01	3,11	3,86	0,81	
FS	14,71	10,01	4,71	3,19	3,85	0,83	Pina et al. (2006)
FA38	15,37	10,49	4,88	2,98	3,53	0,84	
FA28	14,65	10,80	3,85	3,12	4,07	0,77	
FSU	14,62	11,45	3,17	3,17	3,73	0,85	
C	13,40	8,10	5,30	2,99	2,90	1,03	Guidi et al. (2007)
U	16,35	11,11	5,24	3,02	2,94	1,03	
FS	16,64	10,42	6,22	2,92	2,96	0,99	
ST	16,36	9,35	7,01	2,80	2,87	0,98	
FGM	16,35	9,36	6,99	3,05	3,20	0,95	
11	11,00	---	---	3,07	2,27	1,35	Silva et al. (2009)
13	13,00	---	---	3,15	2,41	1,31	
11,7:11	11,10	---	---	3,17	4,58	0,69	Teixeira et al. (2010)
23,3:12	12,20	---	---	3,25	3,88	0,84	
35,2:14	14,20	---	---	3,55	4,12	0,86	
46,8:16	16,10	---	---	3,57	4,08	0,88	
Farelo de soja	14,82	---	---	3,31	4,00	0,83	Santos et al. (2012)
C. algodão	15,55	---	---	3,25	3,75	0,87	
FS semi-integral	15,41	---	---	3,19	3,75	0,85	
Média	14,30	9,63	4,99	3,18	3,62	0,90	

Tabela 53 Composição, em porcentagem, dos nutrientes do leite em função do fornecimento de nitrogênio não proteico (NNP)

Tratamentos	PB	NNP %MS	Proteína do leite (%)	Gordura do Leite (%)	Relação PB:G	Referência
0% Ureia	16,2	0,0	3,4	3,1	1,1	Aquino et al. (2007)
0,75% Ureia	16,3	0,8	3,2	3,0	1,1	
1,5%Ureia	16,2	1,5	3,3	3,2	1,0	
Farelo Soja 30 dias	18,4	0,0	3,1	3,2	1,0	Souza et al. (2010)
Farelo Soja 60 dias	18,4	0,0	2,8	3,0	0,9	
Optigen® 30 dias	18,4	0,4	3,0	2,9	1,1	
Optigen® 60 dias	18,4	0,4	2,8	2,7	1,0	
Optigen®	15,4	0,6	3,0	3,3	0,9	Santos et al. (2011)
Controle	15,5	0,0	3,0	3,4	0,9	
Uréia	15,6	0,6	3,0	3,3	0,9	
Média			3,06	3,11	0,99	

Pode se observar que a relação PB:G média dos trabalhos com PDR, PNDR foi de 0,9 (**Tabela 52**), e dos estudos com inclusão de NNP foi de 0,99 (**Tabela 53**) e dos estudos com Aminoácidos foi 1,0 (**Tabela 54**). A relação proteína:gordura dos trabalhos mantiveram na faixa ideal (entre 0,8 e 1,0), conforme relatado por Jensen (1995) para as diferentes raças de bovinos de leite (

Tabela 55).

Tabela 54 Composição, em porcentagem, dos nutrientes do leite em função do fornecimento de aminoácidos

Tratamentos	Relação Lis:Met	Proteína do leite (%)	Gordura do Leite (%)	Relação PB:G	Referência
Controle	-	2,83	1,89	1,50	Sancanari et al. (2001)
MPDR[1]	-	2,85	2,39	1,19	
MNPDR[2]	-	2,77	2,12	1,31	
Controle	3,88:1	2,60	2,97	0,88	Davidson et al. (2008) Primiparas
Met PR	2,96:1	2,77	2,71	1,02	
Bet PR	3,88:1	2,67	3,03	0,88	
Col PR	3,88:1	2,68	2,93	0,91	
Controle	3,88:1	2,47	2,80	0,88	Davidson et al. (2008) Multíparas
Met PR	2,96:1	2,61	2,46	1,06	
Bet PR	3,88:1	2,44	2,91	0,84	
Col PR	3,88:1	2,49	2,64	0,96	
Controle	3,10:1	3,27	3,60	0,91	Wang et al. (2010)
Met	2,58:1	3,30	3,95	0,84	
Lis	3,74:1	3,25	3,67	0,89	
Met+ Lis	3,04:1	3,25	3,90	0,83	
Controle	3,31:1	2,71	2,57	1,05	Appuhamy et al. (2011)
Met+ Lis	3,00:1	2,88	2,61	1,10	
ML+ACR	3,03:1	2,83	2,46	1,15	
Média	-	2,81	2,89	1,00	

Tabela 55 Relação proteína:gordura do leite de diferentes raças bovinas

Raça	Gordura (%)	Proteína (%)	Relação Proteína: Gordura
Ayrshire	4,1	3,6	0,88
Guernsey	5,0	3,8	0,76
Holstein	3,5	3,1	0,89
Pardo Suiço	4,0	3,6	0,90
Zebu	4,9	3,9	0,80

Fonte: Adaptado de Jensen (1995)

4. Conclusão

Com as determinações da proteína é possível a estimar corretamente as exigências proteicas, conseguindo formular adequadamente as dietas com máximo aproveitamento pelos ruminantes, potencializando o desempenho animal com consequente aumento na produção leiteira. Nesse sentido, a informação das causas de variação da produção e dos componentes do leite é uma forma de se identificar os pontos críticos de controle e auxiliar nas tomadas de decisão, sendo, portanto, evidente a necessidade dos estudos que levem ao aprofundamento dos conhecimentos e maior entendimento do assunto.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Pós-graduação em Ciência Animal da Universidade Federal de Mato Grosso.

Contribuições dos Autores

Conceitualização, F.M.N., M.F.D.Jr., R.P.S.M.; Metodologia, D.P.S.; Investigação, F.M.N., M.F.D.Jr., R.P.S.M.; Análise Formal, F.M.N., M.F.D.Jr., R.P.S.M.; Redação – Rascunho Original, F.M.N., M.F.D.Jr., R.P.S.M.; Redação – Revisão e Edição, F.M.N., M.F.D.Jr., R.P.S.M., E.S.M., L.S.C. Todos os autores leram e aprovaram o manuscrito final.

Disponibilidade de dados e materiais

Não aplicável.

Conflitos de Interesses

Os autores declaram que não têm interesses conflitantes.

Financiamento

Não aplicável.

Referências

Aguiar, A. C. R. de, Oliveira, C. R., Caldeira, L. A., Rocha, V. R., Oliveira, S. de J., Soares, C., Silva, D. A., Menezes, J. C. de, & Borges, L. D. A. (2013). Consumo, produção e composição do leite e do queijo de vacas alimentadas com níveis crescentes de ureia. *Revista Brasileira de Ciência Veterinária*, *20*(1), 37–42. https://doi.org/10.4322/rbcv.2014.048

Alves, A. F., Zervoudakis, J. T., Hatamoto-Zervoudakis, L. K., Cabral, L. da S., Leonel, F. de P., & Paula, N. F. de. (2010). Substituição do farelo de soja por farelo de algodão de alta energia em dietas para vacas leiteiras em produção: consumo, digestibilidade dos nutrientes, balanço de nitrogênio e produção leiteira. *Revista Brasileira de Zootecnia*, *39*(3), 532–540. https://doi.org/10.1590/S1516-35982010000300012

Appuhamy, J. A. D. R. N., Knapp, J. R., Becvar, O., Escobar, J., & Hanigan, M. D. (2011). Effects of jugular-infused lysine, methionine, and branched-chain amino acids on milk protein synthesis in high-producing dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *94*(4), 1952–1960. https://doi.org/10.3168/jds.2010-3442

Aquino, A. A., Botaro, B. G., Ikeda, F. dos S., Rodrigues, P. H. M., Martins, M. de F., & Santos, M. V. dos. (2007). Efeito de níveis crescentes de uréia na dieta de vacas em lactação sobre a produção e a composição físico-química do leite. *Revista Brasileira de Zootecnia*, *36*(4), 881–887. https://doi.org/10.1590/s1516-35982007000400018

Aquino, A. A., Júnior, J. E. de F., Gandra, J. R., Pereira, A. S. C., Rennó, F. P., & Santos, M. V. dos. (2009). Utilização de nitrogênio não proteico na alimentação de vacas leiteiras: metabolismo, desempenho reprodutivo e composição do leite. *Veterinária e Zootecnia*, *16*(4), 575–591. https://rvz.emnuvens.com.br/rvz/article/view/1255

Ardalan, M., Rezayazdi, K., & Dehghan-Banadaky, M. (2010). Effect of rumen-protected choline and methionine on physiological and metabolic disorders and reproductive indices of dairy cows. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, *94*(6). https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2009.00966.x

Armentano, L. E., Bertics, S. J., & Ducharme, G. A. (1997). Response of Lactating Cows to Methionine or Methionine Plus Lysine Added to High Protein Diets Based on Alfalfa and Heated Soybeans. *Journal of Dairy Science*, *80*(6), 1194–1199. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76047-8

Broderick, G. A., Stevenson, M. J., Patton, R. A., Lobos, N. E., & Olmos Colmenero, J. J. (2008). Effect of supplementing rumen-protected methionine on production and nitrogen excretion in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *91*(3), 1092–1102. https://doi.org/10.3168/jds.2007-0769

Butler, W. R., Calaman, J. J., & Beam, S. W. (1996). Plasma and Milk Urea Nitrogen in Relation to Pregnancy Rate in Lactating Dairy Cattle. *Journal of Animal Science*, *74*(4), 858–865. https://doi.org/10.2527/1996.744858x

Chandler, P. (1989). Achievement of optimum amino acid balance possible. *Feedstuffs*, *61*(26), 14,25.

Cho, J., Overton, T. R., Schwab, C. G., & Tauer, L. W. (2007). Determining the amount of rumen-protected methionine supplement that corresponds to the optimal levels of methionine in metabolizable protein for maximizing milk protein production and profit on dairy farms. *Journal of Dairy Science*, *90*(10), 4908–4916. https://doi.org/10.3168/jds.2007-0314

Clark, J. H., Spires, H. R., & Davis, C. L. (1978). Uptake and metabolism of nitrogenous components by the lactating mammary gland. *Federation Proceedings*, *37*(5), 1233–1238.

Davidson, S., Hopkins, B. A., Odle, J., Brownie, C., Fellner, V., & Whitlow, L. W. (2008). Supplementing limited methionine diets with rumen-protected methionine, betaine, and choline in early lactation Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, *91*(4), 1552–1559. https://doi.org/10.3168/jds.2007-0721

Emery, R. S. (1978). Feeding For Increased Milk Protein. *Journal of Dairy Science*, *61*(6), 825–828. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(78)83656-X

González, F. H. D., & Scheffer, J. F. S. (2004). Pode o leite refletir o metabolismo da vaca? In M. V. Durr, J.W., Carvalho, M.P., Santos (Ed.), *O Compromisso com a qualidade do leite* (1st ed., Vol. 1, Issue 12, pp. 195–209). Editora UPF.

Guidi, M. T., Santos, F. A. P., Bittar, C. M. M., Pires, A. V., Menezes Júnior, M. P. de, & Imaizumi, H. (2007). Efeito de fontes e teores de proteína sobre digestibilidade de nutrientes e desempenho de vacas em lactação. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, *29*(3). https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v29i3.570

Hutjens, M. F. (1996). Milk Urea Nitrogen (MUN) as a management tool. In *Illinois Dairy Report, Building on Basics*. University of Illinois.

Inostroza, J. F., Shaver, R. D., Cabrera, V. E., & Tricárico, J. M. (2010). Effect of Diets Containing a Controlled-Release Urea Product on Milk Yield, Milk Composition, and Milk Component Yields in Commercial Wisconsin Dairy Herds and Economic Implications. *The Professional Animal Scientist*, *26*(2), 175–180. https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30577-5

Jensen, R. G. (1995). Handbook of Milk Composition. In R. G. Jensen (Ed.), *Handbook of Milk Composition*. Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384430-9.X5000-8

Jonker, J. S., & Kohn, R. A. (1998). MUN testing: useful but ambiguous. *Hoard's Dairyman*, *143*(6), 252.

Kalscheur, K. F., Baldwin VI, R. L., Glenn, B. P., & Kohn, R. A. (2006). Milk production of dairy cows fed differing concentrations of rumen-degraded protein. *Journal of Dairy Science*, *89*(1), 249–259. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72089-6

Magalhães, A. C. M. de. (2003). *Teores de nitrogênio uréico no leite e no plasma de vacas mestiças* [Universidade Federal de Viçosa]. http://locus.ufv.br/handle/123456789/5164

Maggioni, D., Rotta, P. P., Marques, J. de A., Zawadzki, F., Prado, R. M. do, & Prado, I. N. do. (2008). Influência da proteína sobre a reprodução animal: uma revisão. *Campo Digital*, *3*(1), 105–110. https://revista.grupointegrado.br/revista/index.php/campodigital/article/view/338

Mattos, R. S. W., & Pedroso, M. A. (2005). Influencia da nutrição sobre a composição de sólidos totais no leite. *Simpósio Sobre Bovinocultura de Leite*, 103–128.

Meyer, P. M., Machado, P. F., Coldebella, A., Cassoli, L. D., Coelho, K. O., & Rodrigues, P. H. M. (2006). Fatores não-nutricionais e concentração de nitrogênio uréico no leite de vacas da raça Holandesa. *Revista Brasileira de Zootecnia*, *35*(3 suppl), 1114–1121. https://doi.org/10.1590/s1516-35982006000400024

Mühlbach, P. R. F. (2011). *Nutrição da vaca em lactação e a qualidade do leite*. Manejo de Vaca. http://pt.engormix.com/MA-pecuaria-leite/nutricao/artigos/vaca-de-leite-t391/141-p0.htm

National Research Council - NRC. (1989). *Nutrients requeriments of dairy cattle* (6th ed.).

National Research Council - NRC. (2001). *Nutrient requirements of dairy cattle* (7th ed.). National Academic Press.

Netto, A. S., Barcelos, B., Maria, R., Conti, C., Helena, R., Fernandes, R., Greghi, G. F., Vinicius, Y., & Lima, R. De. (2011). Substituição parcial de farelo de soja por uréia na alimentação de vacas Girolanda em lactação. *Journal of the Health Sciences Institute*, *29*(2), 139–142. http://repositorio.unip.br/wp-content/uploads/2020/12/V29_n2_2011_p139-142.pdf

O'Connor, J. D., Sniffen, C. J., Fox, D. G., & Chalupa, W. (1993). A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: IV. Predicting amino acid adequacy. *Journal of Animal Science*, *71*(5), 1298–1311. https://doi.org/10.2527/1993.7151298x

Ospina, H., Mühlbach, P. R., Prates, E. R., & Barcellos, J. O. (2000). Porque e como otimizar o consumo de alimentos da vaca em lactação. *2° Encontro Anual Da UFRGS Sobre Nutrição de Ruminantes: Novos Desafios Para a Produção Leiteira do Rio Grande do Sul*, 37–72.

Pereira, M. L. A., Valadares Filho, S. de C., Valadares, R. F. D., Campos, J. M. de S., Leão, M. I., Pereira, C. A. R., Silva, P. A., & Mendonça, S. de S. (2005). Consumo, digestibilidade aparente total, produção e composição do leite em vacas no terço médio da lactação alimentadas com níveis crescentes de proteína bruta no concentrado. *Revista Brasileira de Zootecnia*, *34*(3), 1040–1050. https://doi.org/10.1590/S1516-35982005000300037

Peres, J. R. (2001). O leite como ferramenta de monitoramento nutricional. In F. H. D. .

González, J. W. . Dürr, & R. S. Fontaneli (Eds.), *Uso do Leite para Monitorar a Nutrição e o Metabolismo de Vacas Leiteiras* (pp. 30–45). Editora da UFRGS.

Pina, D. dos S., Valadares Filho, S. de C., Valadares, R. F. D., Campos, J. M. de S., Detmann, E., Marcondes, M. I., Oliveira, A. S. de, & Teixeira, R. M. A. (2006). Consumo e digestibilidade aparente total dos nutrientes, produção e composição do leite de vacas alimentadas com dietas contendo diferentes fontes de proteína. *Revista Brasileira de Zootecnia*, *35*(4), 1543–1551. https://doi.org/10.1590/s1516-35982006000500037

Polan, C. E., Cummins, K. A., Sniffen, C. J., Muscato, T. V., Vicini, J. L., Crooker, B. A., Clark, J. H., Johnson, D. G., Otterby, D. E., Guillaume, B., Muller, L. D., Varga, G. A., Murray, R. A., & Peirce-Sandner, S. B. (1991). Responses of Dairy Cows to Supplemental Rumen-Protected Forms of Methionine and Lysine. *Journal of Dairy Science*, *74*(9), 2997–3013. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78486-5

Rulquin Vérité, R., Guinard, G., Pisulewski, P.M., H. (1995). Dairy cows' requirements for amino acids. In *Animal Science Research and Development: Moving Toward a New Century* (pp. 143–160). Centre for Food and Animal Reseach Contribution.

Sancanari, J. B. D., Ezequiel, J. M. B., Galati, R. L., Vieira, P. de F., Seixas, J. R. C., Santamaria, M., & Kronka, S. N. (2001). Efeito da metionina protegida e não protegida da degradação ruminal sobre a produção e composição do leite de vacas holandesas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, *30*(1), 286–294. https://doi.org/10.1590/s1516-35982001000100040

Santos, V. L. F. dos, Ferreira, M. de A., Guim, A., Silva, F. M. da, Urbano, S. A., & Silva, E. C. ds. (2012). Protein sources for crossbred dairy cows in the semiarid. *Revista Brasileira de Zootecnia*, *41*(10), 2272–2278. https://doi.org/10.1590/S1516-35982012001000019

Santos, F. A. P., & Pedroso, A. M. (2011). Metabolismo de proteínas. In T. T. Berchielli, A. V. Pires, & S. G. Oliveira (Eds.), *Nutrição de Ruminantes* (2nd ed., p. 616). Funesp.

Santos, F. A. P., Santos, J. E. P., Theurer, C. B., & Huber, J. T. (1998). Effects of Rumen-Undegradable Protein on Dairy Cow Performance: A 12-Year Literature Review. *Journal of Dairy Science*, *81*(12), 3182–3213. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75884-9

Santos, J. F., Dias Júnior, G. D., Bitencourt, L. L., Lopes, N. M., Júnior, S. S., Silva, J. R. M., Pereira, R. A. N., & Pereira, M. N. (2011). Resposta de vacas leiteiras à substituição parcial de farelo de soja por ureia encapsulada. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinaria e Zootecnia*, *63*(2), 423–432. https://doi.org/10.1590/S0102-09352011000200021

Schwab, C. G. (1994). Optimizing amino acid nutrition for optimum yields of milk and milk protein. *Proceedings of the Southwest Nutrition and Management Conference*, 114–132.

Schwab, C. G. (1996). Rumen-protected amino acids for dairy cattle: Progress towards determining lysine and methionine requirements. *Animal Feed Science and Technology*, *59*(1-3 SPEC. ISS.), 87–101. https://doi.org/10.1016/0377-8401(95)00890-x

Schwab, C. G., Satter, L. D., & Clay, A. B. (1976). Response of Lactating Dairy Cows to Abomasal Infusion of Amino Acids. *Journal of Dairy Science*, *59*(7), 1254–1270. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(76)84354-8

Silva, C. V. da, Lana, R. de P., Campos, J. M. de S., Queiroz, A. C. de, Leão, M. I., & Abreu, D. C. de. (2009). Consumo, digestibilidade aparente dos nutrientes e desempenho de vacas leiteiras em pastejo com dietas com diversos níveis de concentrado e proteína bruta. *Revista Brasileira de Zootecnia*, *38*(7), 1372–1380. https://doi.org/10.1590/S1516-35982009000700029

Silva, R. M. N. da, Valadares, R. F. D., Valadares Filho, S. de C., Cecon, P. R., Campos, J. M. de S., Oliveira, G. A. de, & Oliveira, A. S. (2001). Uréia para Vacas em Lactação. 1. Consumo, Digestibilidade, Produção e Composição do Leite. *Revista Brasileira de Zootecnia*, *30*(5), 1639–1649. https://doi.org/10.1590/s1516-35982001000600034

Silva, F. M. (2008). *Substituição do farelo de soja pelo farelo de algodão corrigido com ureia em dietas à base de palma forrageira para vacas em lactação*. Universidade Federal Rural de Pernambuco.

Souza, V. L., Almeida, R., Silva, D. F. F., Piekarski, P. R. B., Jesus, C. P., & Pereira, M. N. (2010). Substituição parcial de farelo de soja por ureia protegida na produção e composição do leite. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinaria e Zootecnia*, *62*(6), 1415–1422. https://doi.org/10.1590/S0102-09352010000600018

Teixeira, R. M. A., Lana, R. de P., Fernandes, L. de O., Oliveira, A. S. de, Queiroz, A. C. de, & Pimentel, J. J. de O. (2010). Desempenho produtivo de vacas da raça Gir leiteira em confinamento alimentadas com níveis de concentrado e proteína bruta nas dietas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, *39*(11), 2527–2534. https://doi.org/10.1590/S1516-35982010001100028

Valadares Filho, S. C. ., Paulino, P. V. R. ., & Magalhães, K. A. (2006). *Exigências nutricionais de zebuínos e tabelas de composição de alimentos BR – Corte* (1st ed.). UFV.

Valadares Filho, S. C., Coelho da Silva, J. F., & Leão, M. I. (1990). Eficiência de síntese microbiana em novilhos holandeses, nelores e búfalos mestiços, obtida por diferentes métodos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, *19*, 424–430.

Van Soest, P. J. (1994). Nutritional Ecology of the Ruminant. In *Nutritional Ecology of the Ruminant* (2nd ed.). Comstock Plublishing Associates. https://doi.org/10.7591/9781501732355

Vyas, D., & Erdman, R. A. (2009). Meta-analysis of milk protein yield responses to lysine and methionine supplementation. *Journal of Dairy Science*, *92*(10), 5011–5018. https://doi.org/10.3168/jds.2008-1769

Wang, C., Liu, H. Y., Wang, Y. M., Yang, Z. Q., Liu, J. X., Wu, Y. M., Yan, T., & Ye, H. W. (2010). Effects of dietary supplementation of methionine and lysine on milk production and nitrogen utilization in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *93*(8), 3661–3670. https://doi.org/10.3168/jds.2009-2750

Wittwer, F. (2000). Diagnóstico dos desequilíbrios metabólicos de energia. In F. H. D. . González, J. O. . Barcellos, H. . Ospina, & L. A. O. Ribeiro (Eds.), *Perfil metabólico em ruminantes: seu uso em nutrição e doenças nutricionais* (pp. 9–22). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.