

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

TARCISIO BELLINASSO

FISIOLOGIA RUMINAL: UMA REVISÃO

**DOM PEDRITO
2013**

TARCISIO BELLINASSO

FISIOLOGIA RUMINAL: UMA REVISÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Zootecnia da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Zootecnia.

Orientador: Prof. Dr. José Acélio Silveira da Fontoura Júnior

Co-orientadora: Cintia Saydelles

**Dom Pedrito
2013**

TARCISIO BELLINASSO

FISIOLOGIA RUMINAL: UMA REVISÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Zootecnia da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Zootecnia.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 14, de outubro de 2013.

Banca examinadora:

Prof. Dr. José Acélio Silveira da Fontoura Junior
UNIPAMPA

Prof. Dra. Angélica Pereira dos Santos Pinho
UNIPAMPA

Prof. Dra. Adriana Pires Neves
UNIPAMPA

Dedico este trabalho de conclusão de curso ao Sr. Severino Bellinaso e Sra. Antonieta A. Pippi Belinaso, meus pais (in memorian). A Carmen Silvia Belinaso (esposa), aos meus filhos Carlos A. Bellinaso e Tarcisio B. Bellinaso e suas respectivas esposas Rosemer C. Bellinaso e Glaucia Bortolluci, a meus netos Laura Bellinaso e Leonardo Bellinaso. Aos meus irmãos Beatriz Bellinaso (in memorian), José Bellinaso (in memorian), Roque Bellinaso (in memorian), Leonidas Bellinaso, Zélia Bellinaso, Edno Bellinaso, Maria de Lurdes Bellinaso, José Huberto Bellinaso e João Alberto Bellinaso.

AGRADECIMENTO

A todos os meus mestres, que com abnegação e desempenho sempre se dedicaram para que eu tivesse êxito na minha graduação.

Em especial ao orientador José Acélio Silveira da Fontoura Junior, a co-orientadora Cintia Saydelles e ao colaborador e amigo, Diego Costa de Souza (Caiçara).

RESUMO

O processo digestivo nos herbívoros é complexo. A digestão dos ruminantes, por terem o estômago dividido em vários compartimentos, é ainda mais complexa envolvendo várias enzimas. Estas substâncias são elaboradas pelo próprio organismo dos animais e pela flora microbiana alojada no rúmen. Além destes microorganismos, dependem também do tipo e qualidade de alimento ingerido pelos animais e de seu pH. Devido à variação constante do meio ambiente e a multiplicidade do sistema, o trabalho trata somente dos fenômenos normais, sem levar em consideração as possíveis carências, patologias e prenhez. Desta forma sugere-se que o conhecimento deste processo esteja ao alcance de todo produtor, que visa um bom desempenho na produção de animais, proporcionando embasamento para o planejamento alimentar. O tema dedica-se a fermentação, transformação dos hidratos de carbono, proteínas, lipídios e assim como sua absorção pelo trato digestivo e transposição dos metabólicos para o meio interno. Enfatiza também a síntese de proteína microbiana e sua síntese pelas bactérias aproveitando o nitrogênio não proteico e ainda aborda a elaboração de certas vitaminas. Espera-se assim proporcionar um melhor conhecimento da fisiologia ruminal, facilitando uma suplementação mais eficiente.

Palavras-Chave: Carboidratos. Lipídios. Nutrição. Rúmen.

ABSTRACT

The digestive process is complex in herbivores. Ruminants by having the stomach divided into several compartments, even more their digestion is even more complicated involving several enzymes. These substances are produced by the body itself and the microorganisms housed in the rumen microbial flora. Besides these ingested micro-organisms, it also depends on the type and quality of food ingested by the animals and their pH. Due to the constant variation of the environment and the multiplicity of the system, this work is based only in the normal phenomena, without taking into consideration the possible shortcomings and pathologies. There by it is suggested that this process knowledge is available to every maker, aiming at a good performance in animal production, providing the basis for meal planning. The theme is dedicated to fermentation processing of carbohydrates, proteins, and lipids as well as their absorption by the digestive tract and metabolic transposition to internal medium. It also emphasizes the synthesis of microbial protein and its synthesis by bacteria taking advantage of non-protein nitrogen and also discusses the development of certain vitamins. This is expected to offer a better understanding of rumen physiology, facilitating a more efficient supplementation.

Keywords: Carbohydrates. Lipids. Nutrition. Rumen.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Anatomia dos ruminantes.....	11
Figura 2 – Rota de <i>Embden- Meyerhof</i>	14
Figura 3 – O metabolismo de carboidratos em bovinos	16
Figura 4 – O metabolismo de proteínas em bovinos	18
Figura 5 – Ciclo da uréia.....	19
Figura 6 - O metabolismo de lipídeos em bovinos	23

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	METODOLOGIA	10
3	DESENVOLVIMENTO	11
3.1	APARELHO DIGESTIVO DOS RUMINANTES	11
3.2	FLORA RUMINAL.....	13
3.3	FERMENTAÇÃO PELAS BACTÉRIAS.....	13
3.3.1	Fermentação dos carboidratos no pré-estômago	13
3.3.2	Fermentação e metabolismo das proteínas no rúmen.....	17
3.3.3	Fermentação e metabolismo dos lipídios no rúmen	22
3.4	FERMENTAÇÃO E METABOLISMO PELOS PROTOZOÁRIOS	24
3.5	AÇÃO METABÓLICA DOS FUNGOS	24
4	SÍNTESE DE VITAMINAS	25
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	25
6	REFERÊNCIAS.....	25

1. INTRODUÇÃO

A alimentação dos herbívoros está relacionada quase que inteiramente ao pasto. Estes alimentos contêm todos os nutrientes básicos para a manutenção, crescimento e proliferação dos herbívoros.

Os alimentos podem ser classificados em hidratos de carbono, lipídeos, protídeos, vitaminas, sais minerais e água.

Os hidratos de carbono (CHO) são os mais abundantes na dieta e são representados pela celulose, hemicelulose, amidos, açúcares e lignina. Esta última não é considerada um carboidrato e sim uma fibra e está altamente associada à celulose (ANDRIGUETO; PERLY; MINARD et al., 2006).

Segundo os mesmos autores, os vegetais na forma química como são encontrados na natureza, não são passíveis de serem absorvidos no trato intestinal. Para tal, os mesmos passam pelo processo de ingestão, mastigação, desdobramento por ação de enzimas, e por último são absorvidos no trato digestivo e distribuídos pelas vias linfáticas e sanguíneas para todos os órgãos e tecidos.

Os ruminantes possuem a capacidade de utilizar alimentos fibrosos, como pastos, fenos, silagem, através de fermentação microbiana ocorrida no rúmen, que transforma os alimentos em energia, proteína e lipídios disponíveis para o animal (BARCELOS; PAIVA; PEREZ, 2001).

Os protídeos só ultrapassam a mucosa intestinal na forma de aminoácidos e pequenos peptídeos, os lipídeos que se encontram geralmente na forma de ésteres são desdobrados em ácidos graxos e glicerol e só são absorvidos pela mucosa intestinal na forma de ácidos graxos (ANDRIGUETO; PERLY; MINARD et al., 2006).

Este trabalho consta de uma revisão bibliográfica visando, a fisiologia ruminal, abordando as bactérias, os protozoários e os fungos, assim como suas inter-relações com os hidratos de carbono, as proteínas, os lipídios e síntese de certas vitaminas.

2. METODOLOGIA

O estudo foi realizado na Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), campus Dom Pedrito – RS, nos meses de junho de 2013 a outubro de 2013.

Foram realizadas pesquisa bibliográfica em livros, artigos, tratados, revistas e jornais.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1 APARELHO DIGESTIVO DOS RUMINANTES

O aparelho digestivo dos ruminantes compreende a boca, dentes, glândulas salivares, faringe, laringe, esôfago, o pré-estômago que se divide em retículo, rúmen, omaso (folhoso), abomaso (coagulador), intestino delgado (duodeno, jejuno e íleo), intestino grosso (ceco, colo e reto), (figura 1).

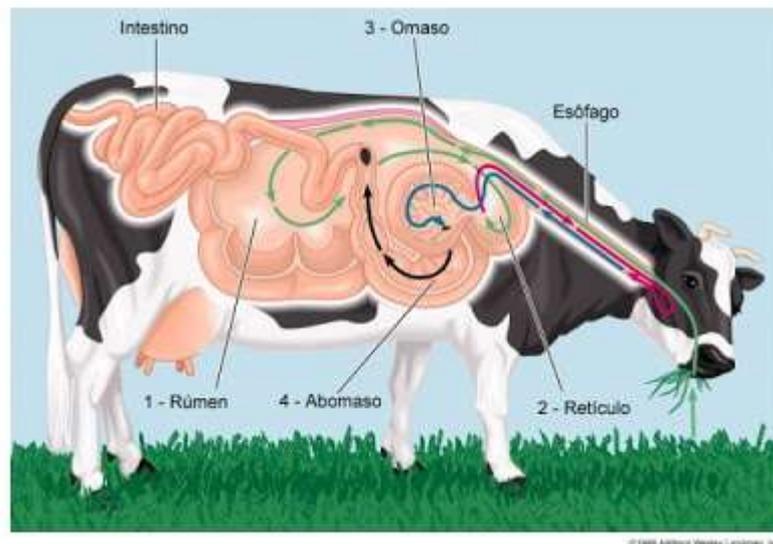


Figura1: Anatomia dos ruminantes (<http://www.infoescola.com/animais/ruminantes/>)

O processo de apreensão dos alimentos é feito com os incisivos inferiores e com a placa dental superior. A primeira mastigação consta de uma parcial fragmentação e salivação. A saliva atua como elemento tampão, seu pH é de 6,5 a 7,5. Após a deglutição no rúmen o bolo alimentar recebe as primeiras infusões ruminais e após um determinado tempo o mesmo é regurgitado recebendo a segunda mastigação. Se a alimentação for muito fibrosa o evento pode se repetir (ANDRIGUETO; PERLY; MINARD et al., 2006).

O pâncreas, o fígado, o abomaso e o intestino delgado elaboram as mesmas enzimas que os monogástricos. Os cães, gatos e ruminantes não contêm amilase salivar ou ptialina em sua saliva (ANDRIGUETO; PERLY; MINARD et al., 2006).

No intestino delgado inicia a absorção, no intestino grosso é realizada a absorção de água, sais e formação de algumas vitaminas (BARCELOS; PAIVA; PEREZ, 2001).

A diferença marcante entre os monogástricos e ruminantes é o pré-estômago com suas divisões: rúmen, retículo, ou omaso. O rúmen e o retículo contêm papilas absorvíveis que possuem a capacidade de absorver os ácidos graxos voláteis (AGV) provenientes da fermentação dos carboidratos. O complexo rúmen se forma a partir dos primeiros dias do nascimento e se completa pela 10^a a 12^a semana (ANDRIGUETO; PERLY; MINARD et al., 2006).

Segundo os mesmos autores, no pré-estômago constituído de rúmen, retículo e omaso, os dois primeiros são responsáveis pela fermentação dos alimentos através dos micro-organismos (ANDRIGUETO; PERLY; MINARD et al., 2006).

Outro elemento diferencial dos ruminantes é a goteira esofágica, colocada em funcionamento, ao nascer, com a presença do líquido lácteo, a mesma conduz o colostro e o leite direto ao abomaso e intestino delgado.

Nas primeiras 24 a 48 horas do bezerro, o abomaso e o intestino apresentam condições especiais com uma rede de absorção diferenciada dos adultos e sem a liberação de enzimas com a finalidade de não desdobrar o colostro. Estas substâncias são imunoglobulinas, as quais tem que serem absorvidas integralmente, pois nela estão contidas todas as defesas do futuro animal. A mucosa do rúmen, com suas papilas tem a propriedade de absorver a fermentação dos hidratos de carbono (BARCELOS; PAIVA; PEREZ, 2001).

Quando já desenvolvido, o pré-estômago inicia a transformação dos alimentos através da fermentação dos mesmos por ação de enzimas produzidas por micro-organismos. Essas bactérias são numerosas e de grande variedade, sua formação depende da dieta. O pH do pré estômago oscila entre 5,5 a 7,0, sendo o mais frequente 6,8 a 6,9, a saliva atua como elemento tampão, pois o bicarbonato deste líquido é uma substância anfótera. A temperatura do rúmen é em torno de 38°C a 40°C e a umidade é de 85% a 90% (ANDRIGUETO; PERLY; MINARD et al., 2006).

A partir do abomaso, a digestão e a absorção são semelhantes aos monogástricos. Porém, a passagem do conteúdo ruminal é mais lenta, os açúcares, os amidos são praticamente inexistentes e no intestino há produção de uma ribonuclease que digere facilmente os ácidos nucléicos liberando aminoácidos

líquido e fósforo resultante da lise dos micro-organismos digeridos (BARCELOS; PAIVA; PEREZ, 2001)..

3.2 FLORA RUMINAL

A flora ruminal é composta de bactérias anaeróbicas, protozoários e fungos. As principais bactérias são as celulolíticas, as hemicelulolíticas, as amilolíticas, as metanogênicas que desdobram, respectivamente, a celulose, a hemicelulose, os amidos, os hidratos de carbono, formando os ácidos graxos voláteis (AGV), o metano, as proteínas e os lipídeos (NUSSIO; CAMPOS; LIMA, 2011).

Os protozoários são representados pelos isotríchias, com capacidade de fermentar os açúcares; oligotríchia a celulose; o epidiniun o amido. Outros grupos degradam também outros glicídios, sendo todos transformados em AGV (ANDRIGUETO; PERLY; MINARD et al., 2006).

O nitrogênio para suprir os protozoários e bactérias é retirado das proteínas e outras fontes nitrogenadas não proteicas. Os fungos colonizam as fibras, e sua atividade fibrolítica é mais intensa que as bactérias. Os fungos não têm muita ação fermentadora eles agem sobre a lignina com finalidade principal de fracioná-la (CHURCH, 1993).

3.3 FERMENTAÇÃO PELAS BACTÉRIAS

3.3.1 Fermentação dos carboidratos no pré-estômago

O valor nutritivo dos alimentos está relacionado à sua composição química e a quantidade aproveitada de nutrientes pelo animal. Nos ruminantes, a simbiose entre o animal e os microrganismos do rúmen, permite a utilização de carboidratos não metabolizáveis por certas enzimas, mas desdobráveis pela flora bacteriana. Desta maneira, a quantidade de alimento absorvida depende da velocidade em que é realizada a fermentação no rúmen e do tempo que os mesmos ficam em contato com os microrganismos. Portanto, a fração efetivamente degradada é função da taxa de digestão e de passagem (NUSSIO; CAMPOS; LIMA, 2011).

A fermentação dos carboidratos, isto é, celulose, hemicelulose, amido e glicídio são realizadas pela ação das enzimas das microbactérias, transformando-os

em AGV os quais em contato com as paredes do rúmen, são absorvidas pelo epitélio ruminal, tomando a via linfática, indo para o fígado onde sofrem transformações. Após, estas substâncias tomam a via metabólica dos glicídios e lipídeos (NUSSIO; CAMPOS; LIMA, 2011). Os hidratos de carbono, que constituem 75% da matéria seca do volumoso, são a principal fonte de energia dos ruminantes.

As ligações β 1,4 da celulose são hidrolisadas liberando como produtos finais celobiose e glicose. Na hemicelulose a hidrolização é mais complexa, mas a mesma é desdobrada em xilose, xilobilose e arabinose (CHURCH, 1993).

Os amidos sofrem a ação da α -amilase, que hidrolisa ligações no interior da cadeia liberando a maltose como produto final. As β -amilases atuam no final da cadeia, amídica formando glicose (NUSSIO; CAMPOS; LIMA, 2011), (figura 2).

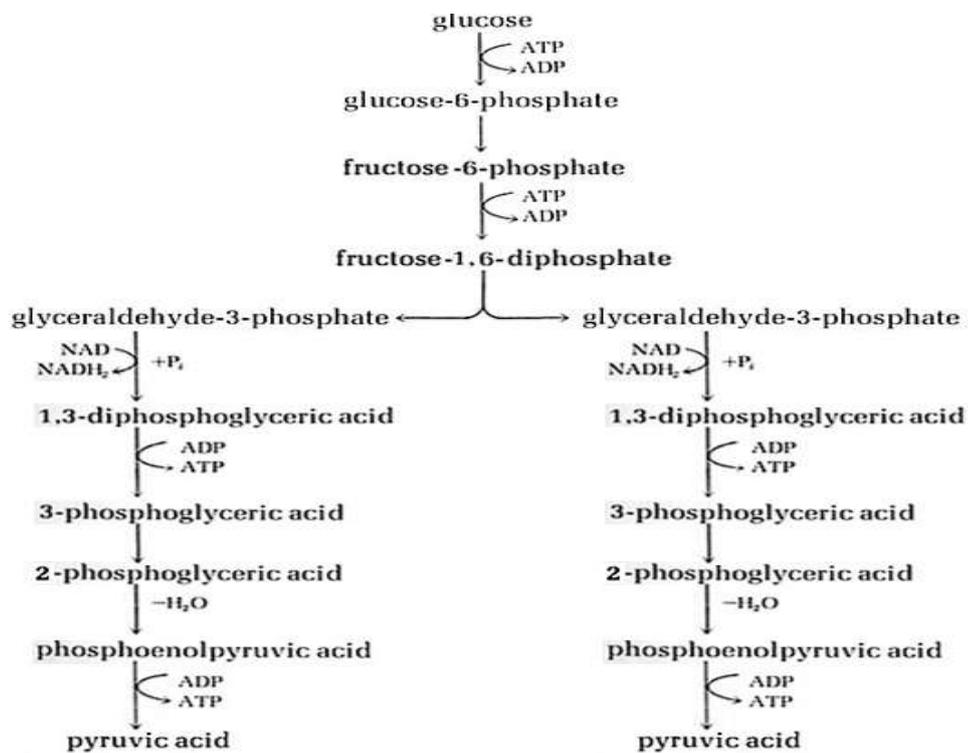


Figura 2: Rota de Embden- Meyerhof (http://textbookofbacteriology.net/metabolism_3.html)

Segundo os mesmos autores, outros polissacarídeos são desdobrados por enzimas associadas a membrana celular das bactérias. As moléculas formada por uma, duas ou três unidades monoméricas (hexoses) resultante da hidrólise extracelular de polissacarídeos, são transportadas para o interior da célula bacteriana onde são metabolizadas.

Os monômeros as (hexoses) penetram na célula microbiana e são utilizadas nas reações de síntese da parede celular, mas a maior parte deles é fermentada pelas bactérias ruminais seguindo a rota glicolítica de *EMBDEN-MAYERHOF-PARMAS*, a mesma é considerada a mais fácil e eficiente para transformação de HEXOSE FOSFATO em piruvato (NUSSIO; CAMPOS; LIMA, 2011).

Nesta rota a glicose, frutose e outras hexoses passam por diversas reações transformando-se em ácido pirúvico consumindo 2 adenosina trifosfato (ATP) e produzindo 4 ATP. Na mesma rota as pentoses também recebem fosforilação transformando-se em frutose (hexose) (TOMICH; GONCALVES; MAURICIO, 2003).

O piruvato é o principal e mais eficiente produto metabólico intermediário do rúmen, que a partir de várias rotas diferentes podem ser utilizados tendo como produto final a formação de AGV, (acetato, propionato, butirato), CO₂ e metano (HOBSON; STEWART, 1997).

Outras bactérias do rúmen fermentam os carboidratos mas em pequenas proporções formando ácido láctico, valérico e fórmico.

Os acetatos são os menos reduzidos e sua formação determina o maior rendimento de ATP para as bactérias (KOZLOSKI, 2002). A oxidação de uma molécula de glicose resulta na formação de 2 acetato e 4 mols de ATP.

De acordo com o mesmo autor, as propionatos podem ser produzidos por duas rotas diferentes, succinato e acrilato. A rota do acrilato é mais eficiente pois não envolve síntese de ATP. As bactérias produzem o propionato a partir dos lactatos produzidos por outros microrganismos.

Certas bactérias produzem o butirato a partir dos piruvatos. Estas são em pequeno número e portanto sua produção é reduzida.

Estequiometria típica da fermentação das hexoses produzindo 65% de ácido acético (Ac) 20% de propiônico (Pr), e 15% de butírico (Bu).



- a) Glicose \rightleftharpoons 2 acetato + 2CO₂ + 8H
- b) Glicose \rightleftharpoons 1 butirato + 2CO₂ + 4H
- c) Glicose \rightleftharpoons 2 propionato
- d) Glicose \rightleftharpoons 2 lactato

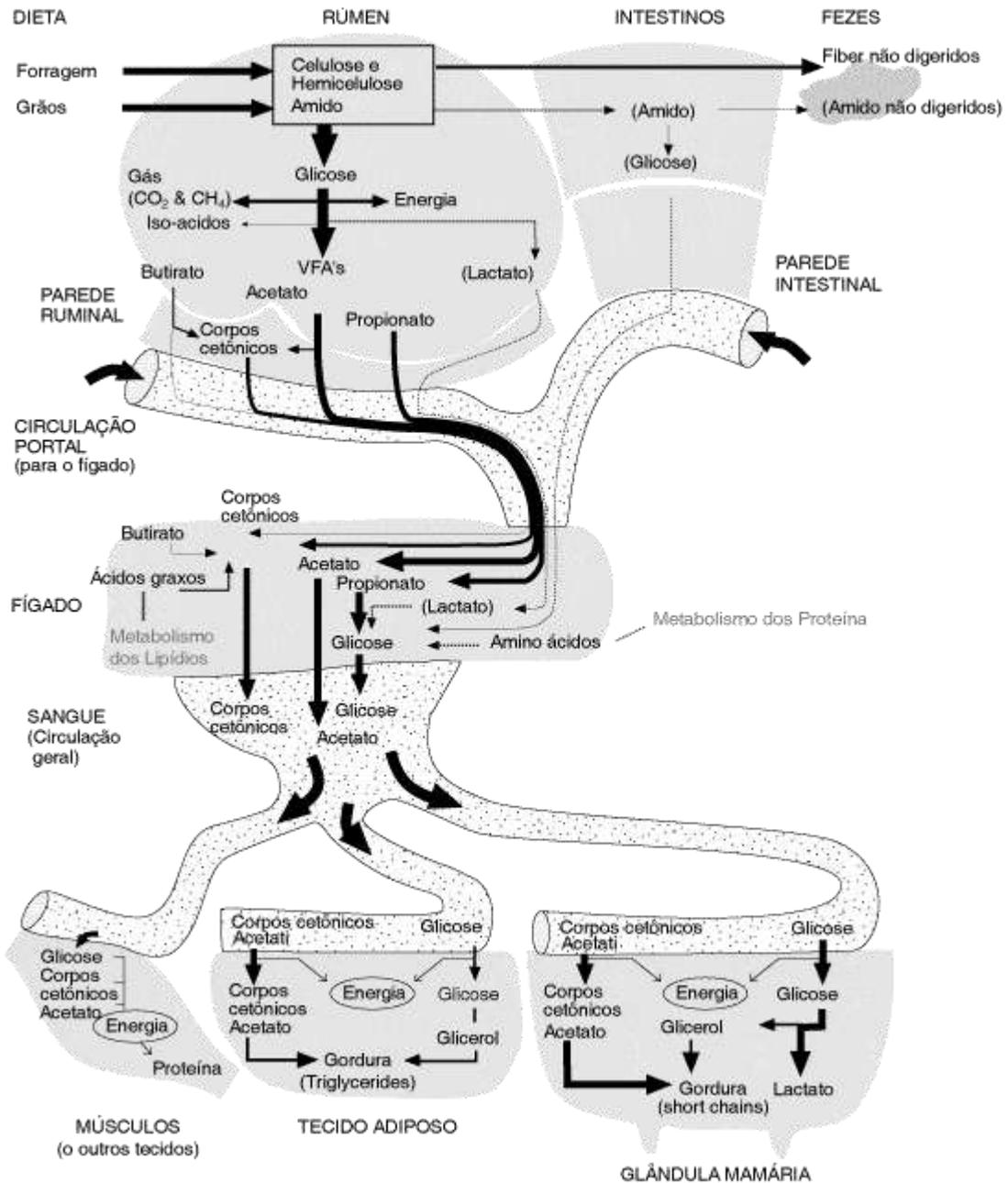


Figura 3: O metabolismo de carboidratos em bovinos (<http://babcock.wisc.edu/node/137>).

Praticamente todos os carboidratos são metabolizados pelas enzimas bacterianas e transformados em AGV, como o acético 65%, o propiônico 20% e o butírico 15%. Esta fermentação fornece também pequenas quantidades de ácido fórmico, valérico e láctico (NUSSIO; CAMPOS; LIMA, 2011).

Dietas ricas em volumosos produzem até 70% de ácido acético, o qual é eficiente na produção do leite, principalmente na gordura dos mesmos (ANDRIGUETO; PERLY; MINARD et al., 2006). Dietas com alto teor de amido

proporcionam um aumento na produção de ácido propiônico de até 40% do total, este ácido, acarreta um maior crescimento e engorda dos animais.

O ácido acético ao entrar no meio interno, e junto ao citoplasma das células adiposas, por influência da acetil CoA sintetase, converte-se em ácido graxo no tecido adiposo do ruminante. O ácido acético é ainda utilizado na glândula mamária para síntese da gordura do leite (ANDRIGUETO; PERLY; MINARD et al., 2006).

O propiônico é o único ácido graxo que faz uma real contribuição para síntese da glicose no ruminante 54% (ANDRIGUETO; PERLY; MINARD et al., 2006), portanto sendo o principal precursor da lactose.

No processo de degradação dos glicídios no rúmen, por ação de bactérias metanogênicas, pode haver perdas de 6 a 8% de energia bruta formando o metano. A produção deste gás no rúmen tem importância nos produtos finais da fermentação, entre eles, produção de ATP, produção de H₂ e redução de CO₂. Os formatos e a pectina são os substratos que participam nestas reações (KOZLOSKI, 2002). A produção de energia pelas bactérias metanogênicas ainda não está bem esclarecida (HOBSON; STEWART, 1997).

3.3.2 Fermentação e metabolismo das proteínas no rúmen

Todo o alimento que contém proteína e que passa pelo rúmen, recebe ação de enzimas proteolíticas que estão associadas à membrana celular das bactérias (Figura 4).

Inicialmente, as moléculas proteicas são hidrolisadas em polipeptídios. Os mesmos sofrem novas hidrolizações por intermédio de outras enzimas proteolíticas, resultando em peptídeos e aminoácidos (AA). Os ácidos aminados e pequenos peptídeos, até cinco resíduos, podem entrar na célula bacteriana e serem metabolizados (CHURCH, 1993).

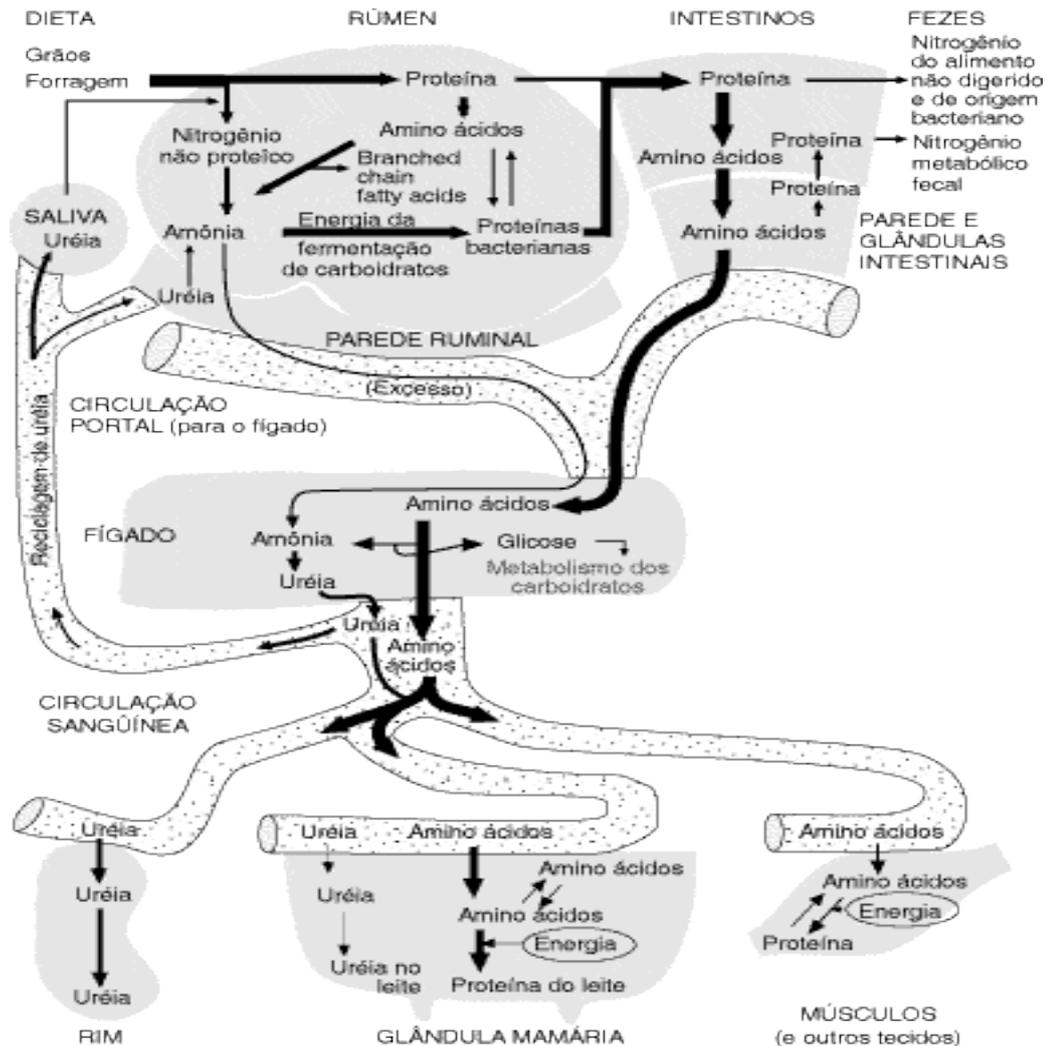


Figura 4: O metabolismo de proteínas em bovinos (<http://babcock.wisc.edu/node/145>)

Uma pequena quantidade destas proteínas não são transformadas por estas enzimas proteolíticas e serão designadas como proteínas não degradáveis pelo rúmen (PNDR). As mesmas só serão desdobradas pelas enzimas pancreáticas no intestino delgado. As outras proteínas que são degradáveis no rúmen são denominadas de PDR.

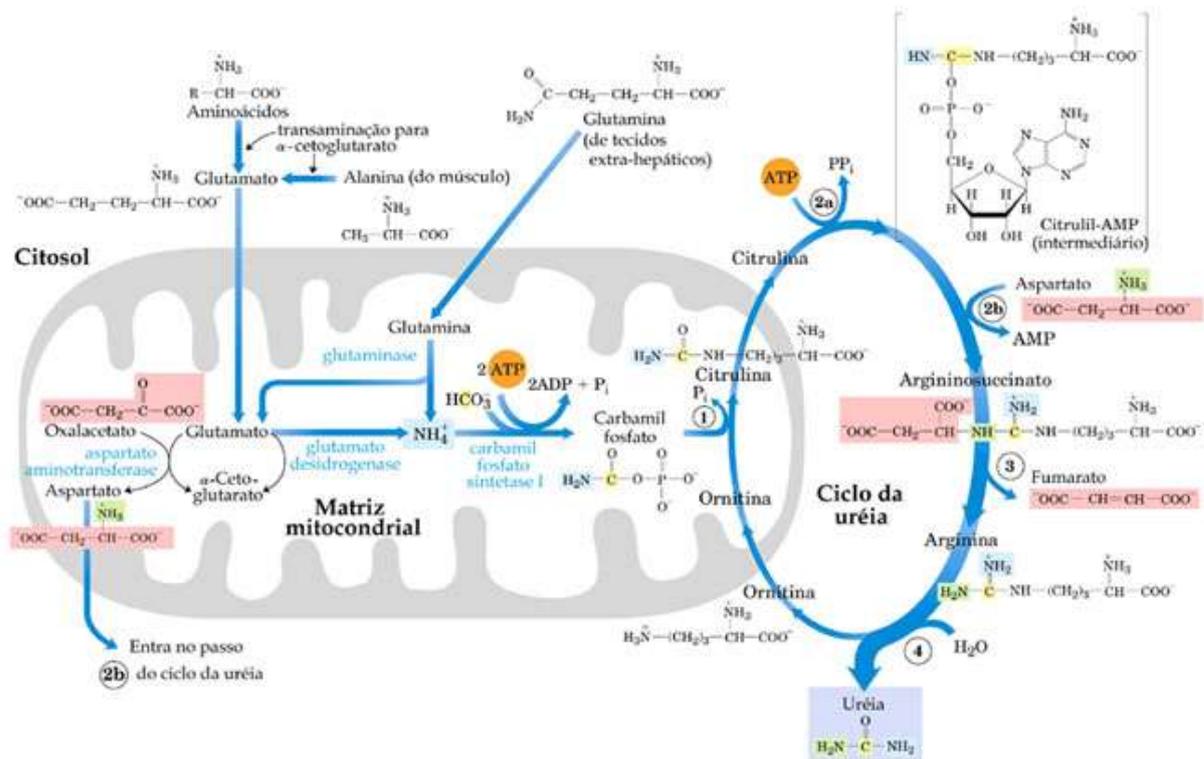
Os ácidos nucleicos de origem dietética, de células bacterianas mortas de células vegetais são totalmente degradados no rúmen, por nucleases bacterianas extracelulares, originando nucleosídeos, bases nitrogenadas, ribose, desoxirribose e fosfatos, os quais são metabolizados pelas bactérias (OLIVEIRA; ZANINE; SANTOS, 2007).

A maior parte das substâncias nitrogenadas consumidas pelo animal e absorvidas pela flora bacteriana é convertida em amônia.

Os aminoácidos, os pequenos peptídeos e a amônia em presença da fermentação dos carboidratos, que resultam energia e esqueletos carbônicos, é considerado o meio e substrato ideal para as bactérias elaborarem novas proteínas, denominadas proteínas microbianas (Pmic) (SANTOS; MENDONÇA, 2011) .

Segundo o mesmo autor, os micro-organismos utilizam dois mecanismos para a fixação do nitrogênio não proteico (amônia e ureia) nos esqueletos carbônicos para formar os AA (Figura 5):

- através da enzima glutamina sintetase (GS);
- através da enzima glutamato desidrogenase (GHD).



Quando no rúmen houver uma grande concentração de amônia predomina a ação da GHD. Este processo não requer ATP para fixar a amônia. Quando a concentração de amônia for baixa, predomina a ação da GS, mas com o consumo de uma molécula de ATP para cada molécula de amônia fixada. Portanto, se tivermos uma concentração de amônia elevada a eficiência da síntese microbiana será maximizada (SANTOS; MENDONÇA, 2011).

Os esqueletos carbônicos, são provenientes da fermentação dos CHO que resultam em ácidos graxos, n-valérico, iso-butírico, iso-valérico e 2 metil butírico (SANTOS; MENDONÇA, 2011).

As fontes energéticas, para os micro-organismos se multiplicarem e elaborarem a síntese proteica, provêm quase que na sua totalidade, da fermentação dos CHO. Algumas bactérias ruminais têm a capacidade de obter energia da degradação proteica, mas nenhuma consegue obter energia dos lipídeos (SANTOS; MENDONÇA, 2011).

Os AA e os pequenos peptídeos tem dois caminhos a seguir: Transformam-se em Pmic ou são fonte de energia. A quantidade de AA a serem incorporados há Pmic são relacionados à fermentação do CHO, com uma adequada quantidade de CHO, a energia disponível é suficiente para que haja a síntese proteica. Se a quantidade de suplementação do CHO for inadequadamente e insuficiente, os aminoácidos tendem a serem fermentados como fonte de energia (CHURCH, 1993). A fonte energética que segue esta rota é proporcionada pelos aminoácidos que se transformam em acetoglutarato originando AGV, este processo de desaminação tem um rendimento de um ATP, bem mais baixo que os provenientes dos polissacarídeos.

A massa ruminal proteica chamada de proteína metabolizada (PM) que passa pelo omaso, abomaso, chegando no duodeno, pode ser classificada em Pmic, PNDR e proteína endógena (SANTOS; MENDONÇA, 2011).

A proteína microbiana é a principal fonte de proteína metabolizável (PM) para os ruminantes. Em todas as situações produtivas ela se encontra presente em torno de 45% a 55% da PM, no interior do intestino das vacas leiteiras, 55% a 65% em bovinos de corte confinado com rações de alto teor energético e mais de 65% em bovinos mantidos exclusivamente em boas pastagens (SANTOS; MENDONÇA, 2011).

Os protozoários apesar de terem porção significativa da massa microbiana ruminal, possuem baixa taxa de passagem ficando assim diminuído sua participação na cota proteica. Pode-se afirmar, portanto que 90% da Pmic que passa pelo intestino é de origem bacteriana (SANTOS; MENDONÇA, 2011).

A Pmic é equilibrada em proporções na maioria dos AA e a mesma pode resultar em 15% de lisina e 5% de metionina, porcentagem esta que proporciona melhores resultados no desempenho metabólico. Trabalhos têm demonstrado que a

lisina e metionina, na proporção de 3:1 são os AA mais limitantes para produção de leite e carne na maioria das raças. A Pmic, portanto, tem um perfil importante e preciso destes dois AA (SANTOS; MENDONÇA, 2011).

Ao nível intestinal, o processo digestivo dos protídeos nos ruminantes é semelhante aos monogástricos quando se refere ao enzimático e glandular. Uma das diferenças fundamentais é no abomaso em que a ação da pepsina agindo sobre a molécula proteica, provoca uma lenta neutralização da acidez da digesta duodenal (SANTOS; MENDONÇA, 2011).

A maior digestão é iniciada no jejuno médio, onde as enzimas pancreáticas, tripsina, quimotripsina e carboxipeptidase apresentam atividade máxima. No íleo médio, as proteínas recebem a ação das aminopeptidases e dipeptidases secretadas pelo intestino. Todas estas enzimas têm a finalidade de quebrar as grandes cadeias proteicas e transformá-las em AA e pequenos peptídeos (5 C) (REECE, 2006).

A mucosa do intestino delgado apresenta microvilosidades onde estas substâncias ultrapassam a mucosa intestinal e com a ação de carreadores alcançam a veia porta e são lançados no fígado. Os aminoácidos essenciais (AAE) são absorvidos com maior velocidade que os aminoácidos não essenciais (AANE). Uma porção de AA é utilizada pelo fígado para síntese de glicose (17% da glicose do organismo) (SANTOS; MENDONÇA, 2011), outra vai para o citoplasma das células dos tecidos e o ácido ribonucleico (RNA) se encarrega de sintetizar as proteínas que o organismo necessita. A outra porção pode perder o grupo amínico transformando-se em gordura, pode também ser utilizada como fonte de energia quando forem esgotadas todas as reservas glicídicas e gordurosas.

O farelo de soja, de canola, amendoim e girassol são ricos em proteína degradável no rúmen (PDR). O farelo de algodão é uma fonte intermediária. Farinha de peixe, osso, carne, sangue, glúten de milho, se destacam como fontes de PNDR.

Com a implementação de tecnologia de ponta em bovinos de leite e corte, de grande produção, o rúmen não consegue produzir proteína em qualidade e quantidade suficiente. Para suprir esta deficiência implantou-se métodos com o objetivo de aumentar a ingestão de PNDR, afim de que a mesma possa ser metabolizada e absorvida no intestino.

Para atingir tais fins usa-se métodos químicos e físicos. Os químicos são tratados pelo tanino e formaldeídos (ANDRIGUETO; PERLY; MINARD et al., 2006).

Os tratamentos físicos consiste em expor o alimento a temperaturas elevadas visando a ocorrência das reações de *Mylardi* e aumento de presença de pontes de disulfetos; estes métodos são tostagem, peletização e floculação (ANDRIGUETO; PERLY; MINARD et al., 2006).

3.3.3 Fermentação e metabolismo dos lipídeos no rúmen

A maioria dos lipídeos que contêm as células vegetais e grãos de cereais, são ingeridos na forma de ésteres. Enzimas associadas à membrana celular das bactérias como a lípase, fosfolipase e galactolipase, hidrolisam os ésteres desdobrando-os em glicerol, galactose e ácidos graxos (MACKLE; KAY; AULDIST, 2003). O glicerol e a galactose entram na célula bacteriana e são metabolizados, tomando a rota dos carboidratos. Os ácidos graxos, que na sua maioria são insaturados, uma pequena parcela são incorporados aos lipídeos bacterianos e aos protozoários, outra, a maior porção, são bio-hidrogenados, e fluem do rúmen para o abomaso na forma de ácidos graxos saturados livres e sem serem utilizados pela população microbiana (MARTIN; JENKINS, 2002).

Na dieta dos ruminantes os lipídeos apresentam-se na forma esterificada de mono e digalactoglicerídeos em forragens, e como triglicerídeos nos concentrados (Figura 6).

Em vacas de alta produção pode-se acrescentar 3 a 5% de gordura para aumentar a ingestão energética e reduzir o consumo do amido, possibilitando aumentar o equilíbrio forragem concentrado da dieta, diminuindo assim distúrbio da fermentação ruminal causados pelo excesso de carboidratos.

A fermentação ruminal é inibida se o conteúdo lipídico da dieta for acima de 6 a 7% com base na matéria seca (PALMQUIST; JENKINS, 1980).

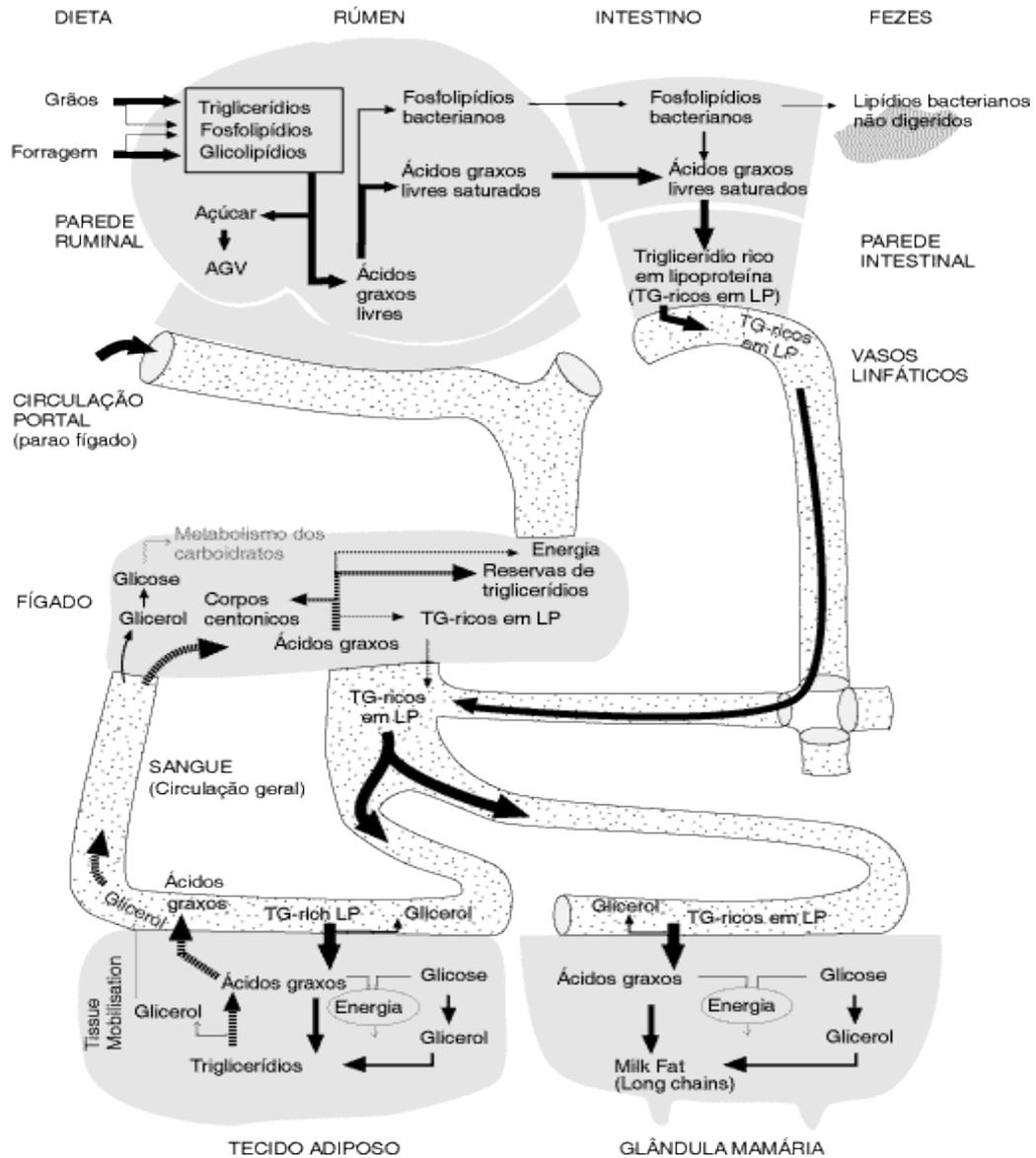


Figura 6: O metabolismo de lipídeos em bovinos (<http://babcock.wisc.edu/node/141>)

As bactérias ruminais não são capazes de utilizar os ácidos graxos como fonte de energia, mas parte deles podem ser incorporados à membrana bacteriana (4%). Estas bactérias também possuem o poder de síntese de ácidos de cadeia longa, como esteárico e palmítico através da metabolização dos açúcares. A carne após grelhada, 51% é gordura insaturada e 45% seria saturada, mas um terço dela é composta de ácido esteárico sendo no mínimo inofensivo, com propriedades semelhantes aos insaturados (SANTOS; MENDONÇA, 2011).

O restante dos lipídeos, que estão sob a forma de éster, ao chegarem ao intestino são metabolizados pelas enzimas pancreáticas e entéricas (lipase) sendo

desdobrados, da mesma maneira como no rúmen, em ácidos graxos, glicerol e galactose. As duas últimas são absorvidas e metabolizadas como hexose e triose, os ácidos graxos ultrapassam a mucosa intestinal e tomam a via linfática sendo carreados para o fígado.

3.4 FERMENTAÇÃO E METABOLISMO PELOS PROTOZOÁRIOS

Os protozoários fazem parte da flora microbiana só que sua ação é bem mais restrita quando comparados às bactérias. O material ingerido é digerido em vacúolos presentes no interior do protoplasma desses micro-organismos.

Os amidos e outros hidratos de carbono são digeridos, porém não com a mesma velocidade bacteriana e proporcionando uma queda do pH ruminal. A grande ingestão de amido pode provocar a morte dos protozoários (ANDRIGUETO; PERLY; MINARD et al., 2006).

Na presença de proteína, essas são ingeridas pelos protozoários e mais da metade é devolvida ao fluido ruminal na forma de amônia, aminoácidos e peptídeos.

Parte dos aminoácidos e açúcares são fermentados pelos protozoários sendo transformados em AGV, CO₂ e amônia.

Uma das funções mais importantes destes micro-organismos é a manutenção da concentração de amônia e reciclagem do nitrogênio no rúmen. Outra função importante, que as bactérias não realizam, é a fermentação dos lactatos que diminuindo assim o pH ruminal (CHURCH, 1993).

3.5 AÇÃO METABÓLICA DOS FUNGOS

Os fungos colonizam as fibras, e possuem um sistema rizomicelial penetrando nas paredes celulares e liberando os polissacarídeos. Produzem também uma grande quantidade de enzimas que atuam na lignina e celulose desdobrando-as, mas não atuam na pectina. Os produtos de fermentação fúngica são acetatos, lactatos succinatos, CO₂ e H₂ (reduzidor). A flora fúngica é mais desenvolvida nos bubalinos (ANDRIGUETO; PERLY; MINARD et al., 2006).

4. SÍNTESE DE VITAMINAS

Podemos definir como composto orgânico imprescindíveis para o metabolismo normal dos animais são utilizados em pequenas quantidades e os mesmos não podem ser sintetizados pelas células (Guyton; Hall, 2006).

Os ruminantes, como os monogástricos, exigem um teor de vitaminas para ter um perfeito metabolismo. Quando ainda jovens pode haver mais carência, enquanto o rúmen não está bem desenvolvido. Quando desenvolvido, o rúmen sintetiza todas as vitaminas, exceto a A e E. Esta carência é compensada pelos provitamínicos dos vegetais carotenos e tocoferóis. A vitamina D também não é sintetizada no rúmen, mas como a exposição do animal ao sol é constante, sua pele sintetiza e não há carência. A vitamina E é destruída no rúmen, mas é sintetizada a nível dos tecidos (Guyton; Hall, 2006).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando a importância da fisiologia ruminal, e sua repercussão sobre o metabolismo e aumento da produção, é notório que as funções ruminais são de máxima importância, afim de que se possa fazer um bom e eficiente planejamento alimentar que venha proporcionar ao criador bons rendimentos com custos adequados. Um dos procedimentos seria a utilização de sais proteínados cujo substrato básico é a ureia que têm grande importância no uso em pastagens mais fibrosas, proporcionando uma melhor metabolização.

Devido a estes fatores, sugere-se, que o conhecimento deste processo esteja ao alcance de todo o criador, que visa um bom desempenho na produção de animais, proporcionando ao mesmo equilíbrio econômico.

6. REFERÊNCIAS

ANDRIGUETO, J. M.; PERLY L.; MINARD I. et al. **Nutrição animal - As bases e os fundamentos da nutrição animal/ os alimentos**. V. 1. Paym Grafica e Editora Ltda, 2006.

BARCELOS, A. F.; PAIVA, P. C. A.; PEREZ, J. O. R. Fatores antinutricionais da casca e da polpa desidratada de café (*Coffea arabica L.*) armazenadas em diferentes períodos. **Revista Brasileira Zootecnia**. v. 30, n. 4, p. 1316-1324, 2001.

CHURCH, D. C. **Fisiologia digestiva y nutrición de los ruminantes**. Zaragoza: Acríbia, 1993. 641p.

GAYTON, M. D.; HALL, J. **Fisiologia médica**. 11. Ed. Elsevier, 2006.

HOBSON, P. N.; STEWART, C. S. **The rumen microbial ecosystem**. 2. ed. London: Blackie Academic & Professional. 1997. 719 p.

KOZLOSKI, G. V. **Bioquímica dos ruminantes**. 1. ed. Santa Maria: UFSM. 2002, 140 p.

MACKLE, T. R.; KAY, J. K.; AULDIST, M. J. Effects of abomasal infusion of conjugated linoleic acid on milk fat concentration and yield from asture-fed dairy cows. **Journal of Dairy Science**. Savoy, v. 86, n. 2, p. 644-652, 2003.

MARTIN, S. A.; JENKINS, T. C. Factors affecting conjugated linoleic acid and trans-C18:1 fatty acid production by mixed ruminal bacteria. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 80, n. 12, p. 3347-3352, 2002.

NUSSIO, L. G.; CAMPOS; F. P., LIMA, M. L. M. Metabolismo de carboidratos estruturais, cap. 7, in. **Nutrição de ruminantes**, 2. ed. Jaboticabal-SP, 2011. P. 193-238.

OLIVEIRA, J. S; ZANINE, A. M.; SANTOS, E. M. Processo fermentativo, digestivo e fatores antinutricionais de nutrientes para ruminantes. **Revista eletrônica de Veterinária**. V. VIII, n. 2, 2007.

PALMQUIST, D. L.; JENKINS, T. C. Fat in lactation rations: review. **Journal of Dairy Science**. Savoy, v. 63, n. 1, p. 1-14, 1980.

REECE, W. O. **Dukes/ Fisiologia dos animais domésticos**. 12. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2006. 926 p.

SANTOS, F. A. P.; MENDONÇA, A. P. Metabolismo De Proteínas. cap. 09. **Nutrição de ruminantes**, 2. ed. Jaboticabal-SP. 2011. P. 265-297.

TOMICH, T.R.; GONCALVES, L.C.; MAURICIO, R.M. et al. Bromatological composition and rumen fermentation kinetics of hybrids from crosses of sorghum and

sudangrass. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**. v. 55, n. 6, p. 747-755, 2003.