PUBVET, Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia.

Fibra solúvel no metabolismo energético de ruminantes

Carla Giselly de Souza[1], Hugo Batista Lima[1], Messias José Santos Silva[2], Leonardo Augusto Fonseca Pascoal[2]

[1]UFPB-CCA, Doutorando Areia, PB. E-mail-carlaxlsouza@yahoo.com.br
[2]UFPB-CCHSA, Professor Bananeiras, PB. E-mail-leonardo@cft.ufpb.br

Resumo

Grande parte da energia obtida pelos animais ruminantes em ambiente de criação é proveniente da fermentação dos carboidratos solúveis e estruturais, os quais são convertidos, pela fermentação microbiana, em produtos metabólicos que podem ser destinados à síntese de carne, leite, lã e trabalho. Deste modo o objetivo deste estudo é revisar sobre a importância da fibra solúvel no metabolismo energético de ruminantes e demonstrar as principais diferenças em relação às outras fibras. As fibras solúveis são as pectinas, beta-glicanas, gomas, mucilagens, e algumas hemiceluloses, já as fibras insolúveis são a celulose, lignina, hemiceluloses e pectinas insolúveis. A pectina é o único componente da parede celular que é completamente e rapidamente fermentável e, portanto, não é, em contraste com a hemicelulose, uma das substâncias lignificadas da matriz. Pesquisadores ao testarem dois tipos de processamento de grãos de milho (floculado ou moído grosso) e sua substituição por 50% polpa de *citrus* peletizada em vacas da raça Holandês alimentadas com silagem de milho, observaram que a inclusão parcial de polpa

de *citrus* utilizada na dieta não afetou o consumo de MS e de matéria orgânica e as digestibilidades de amido e proteína bruta. No entanto, as digestibilidades aparentes da FDN e FDA foram maiores, causando efeito benéfico no desempenho de vacas de leite. Onde, animais alimentados com fibra solúvel apresentaram maior ganho de peso e melhor conversão alimentar. De forma geral, Os subprodutos com alta concentração de pectina possuem grande potencial para serem utilizados nas dietas de ruminantes, pela alta densidade energética. Associado a isso, possuem um tipo de fermentação favorável, sem a produção de ácido lático, ajudando a manter um ambiente ruminal favorável, entretanto tal introdução deve ser feito com cuidado, para que os objetivos iniciais de economia e bem estar animal aliado à boa produção não se percam.
Palavras-chave: Pectina, Carboidratos, fermentação, desempenho.

Soluble fiber on energy metabolism of ruminants

Abstract

Much of the energy produced by ruminant animals in a breeding environment is derived from the fermentation of soluble and structural carbohydrates, which are converted by microbial fermentation into metabolic products that can be allocated to the synthesis of meat, milk, wool and work. In this context the study´s objective is to review the importance of soluble fiber in the ruminants´ energetic metabolism and show the main differences in comparison to other fibers. The soluble fibers are pectins, beta-glucans, gums, mucilages and some hemicelluloses, and the insoluble fibers are cellulose, lignin, hemicelluloses and insoluble pectins. Pectin is the only component of the cell wall which is completely and rapidly fermentable therefore it is not in contrast to hemicelluloses one of the lignified substance of the matrix. Researchers when testing two types of corn kernels processing (flaked or coarsely grounded) and its replacement by 50% *citrus* pulp pelleted in Holstein cows fed with corn silage, observed that the partial inclusion of *citrus* pulp used in the diet did not affect the intake of DM and organic material and the

digestibility of starch and crude protein. However, the apparent digestibility of NDF and ADF were higher, causing a beneficial effect on the performance of dairy cows. Where animals fed with soluble fiber showed higher weight gain and better feed conversion. In general the by-products with high pectin concentration have great potential for use in ruminant´s diets due to their high energetic density. Besides that they have a favourable type of fermentation without lactic acid production, helping maintaining a favourable rumen environment; however such introduction in the diet of ruminants must be done carefully, in order not to lose the initial economic goals and animal welfare allied to a good production.

Keywords: Pectin, carbohydrates, fermentation, performance.

INTRODUÇÃO

Os animais consomem o alimento para atender suas exigências em energia e outros nutrientes. Animais ruminantes podem utilizar a porção fibrosa de plantas forrageiras como fonte de energia. Entretanto, se por alguma razão a natureza do volumoso disponível restringir o consumo alimentar, este limitará também o desempenho animal, cuja consequência direta é a redução da eficiência do processo produtivo (Pereira *et al*., 2003). Grande parte da energia obtida pelos animais ruminantes em ambiente de criação é proveniente da fermentação dos carboidratos solúveis e estruturais, os quais são convertidos, pela fermentação microbiana, em produtos metabólicos que podem ser destinados à síntese de carne, leite, lã e trabalho (Faturi *et al*., 2006).

Os carboidratos totais (CHT) nos alimentos podem ser classificados nas frações A, que corresponde à fração solúvel do nutriente, constituída de açúcares simples de rápida degradação no rúmen; B1, composta basicamente de amido e pectina; B2, que possui taxa de degradação ruminal mais lenta e corresponde à porção digestível da parede celular vegetal; e C, que

compreende à porção da parede celular vegetal que não é digerida ao longo de sua permanência no trato gastrintestinal (Sniffen *et al*., 1992).

De acordo com Van Soest *et al*., (1991), Allen (1997) e Allen e Grant (2000), o tipo e a quantidade de carboidratos presentes no alimento afetam a fermentação e a eficiência microbiana. Este grupo é muito heterogêneo e inclui ácidos orgânicos, açúcares (mono e oligossacarídeos), amido e frutosanas, além dos carboidratos encontrados na parede celular das plantas, mas solúveis em detergente neutro, como a pectina, galactanos e b-glucanos.

Diferenças nos produtos da fermentação proporcionam ao animal diferentes quantidades de nutrientes metabolizáveis, sendo que a predominância de nutrientes glicogênicos (propionato) em relação aos lipogênicos (acetato) pode afetar a quantidade e composição do leite e o crescimento animal (Hall, 2000).

Quando grandes quantidades de amido e açúcares são fornecidas na dieta de ruminantes, a fermentação pode ser direcionada para produção de ácido lático, podendo provocar acidose e reduzir o aproveitamento da fibra. Entretanto, outros carboidratos solúveis, como pectinas e b-glucanos, que compõem a fibra solúvel não são fermentados a lactato, favorecendo a degradação da fibra pelas bactérias celulolíticas do rúmen (Bomfim, 2003).

Por isso, é necessário distinguir os alimentos que contém estes tipos de carboidratos, pois podem promover boa eficiência na fermentação ruminal sem os problemas associados a altas quantidades de amido (Van Soest *et al*., 1991). Deste modo o objetivo deste estudo é revisar sobre a importância da fibra solúvel no metabolismo energético de ruminantes e demonstrar as principais diferenças em relação às outras fibras.

Fibra Alimentar

Segundo Weiss (1993) a fibra pode ser definida como sendo o componente estrutural das plantas (parede celular), a fração menos digestível dos alimentos, a fração do alimento que não é digerida por enzimas de

mamíferos ou a fração do alimento que promove a ruminação e a saúde do rúmen.

As fibras são divididas de acordo com a solubilidade em água, são as fibras solúveis e insolúveis. As fibras solúveis são as pectinas, beta-glicanas, gomas, mucilagens, e algumas hemiceluloses, já as fibras insolúveis são a celulose, lignina, hemiceluloses e pectinas insolúveis (Figueiredo *et al*., 2009).

A maioria dos componentes de fibra solúvel (pectina, os frutanos, beta-glucanos) são facilmente fermentados no rúmen e pode mesmo ser facilmente fermentados no intestino grosso de animais monogástricos (Kearney, 2005; Righi *et al*., 2008; Mertens, 1992).

Nutricionalmente, a fibra tem atributos físicos e químicos que estão relacionados com os processos mecânicos de digestão (mastigação e passagem) e à degradação enzimática associada a fermentação (Mertens, 1992).

Pectina

A estrutura basica é um polímero do ácido galacturônico com variáveis graus de esterificação do ácido urônico, com grupos metil ou acetil. Na maioria das plantas, o polímero de ácido galacturônico de base tem cadeias laterais compostas de galactose, arabinose, xilose, rhamose, e frutose. A molécula de pectina consiste de uma longa cadeia variando em comprimento de unidades de ácido galactourônico parcialmente metilados (Müller e Prado, 2004), seus pesos moleculares geralmente variam de 60.000 a 90.000. As pectinas são virtualmente completamente digeridas no cólon (Wercu e Ivi (1941) in Anderson e Chen 1979) e menos de 5% de pectina ingerida é recuperado nas fezes (Cummings,(1976) in Anderson e Chen 1979).

As substâncias pécticas podem ser naturalmente encontradas em todas as frutas e plantas, entretanto estão presentes abundantemente em subprodutos da indústria de obtenção de sucos de frutas (polpa de laranjas, maracujás e maçãs) e resíduos da obtenção de açúcar (polpa de beterraba). Pela presença de pectina na composição de sua parede celular, a polpa cítrica possui maior

degradabilidade ruminal do que o amido e de que outros carboidratos estruturais presentes (Ben-Ghedalia *et al*., 1989). Apresentam concentração média em leguminosas, e baixa em gramíneas (Van Soest, 1994 e Van Soest *et al*., 1991). Nas frutas, as substâncias pécticas estão localizadas na parede celular parenquimatosa e nas células que possuem seiva (Goodwin e Mercer, 1988).

De uma maneira geral, a pectina é encontrada em três formas: ácido péctico (não contém grupos metoxil), ácido pectínico ou pectina (capaz de formar géis) e protopectina (a substância 'mãe' do ácido hidrolizável). Essas substâncias pécticas ocorrem em todos os tecidos das plantas e são caracterizadas quimicamente pela presença de núcleos de ácido galactourônico na estrutura molecular (Müller e Prado, 2004)

Dentre as propriedades físicas e químicas da parede celular, as mais importantes são: solubilidade, capacidade de retenção de água, capacidade de ligar-se aos sais biliares, efeito tamponante e, finalmente, a capacidade de troca catiônica (Van Soest, 1994). Sendo que uma das propriedades da pectina é possuir uma alta troca de cátions, pelo menos na forma desmetilada (Van Soest *et al*., 1991), contribuindo para um ambiente ruminal favorável.

Desta forma, a pectina é o único componente da parede celular que é completamente e rapidamente fermentável e, portanto, não é, em contraste com a hemicelulose, uma das substâncias lignificadas da matriz (Van Soest *et al*., 1991). Outra grande vantagem é que a fermentação da pectina não produz ácido láctico, enquanto os açúcares são rapidamente fermentados a lactato. A quantidade de lactato resultante da fermentação varia dependendo do açúcar específico no alimento (Cullen *et al*., 1986; Müller e Prado, 2004).

Digestão da Fibra Solúvel

Alguns autores sugerem o fracionamento dos carboidratos utilizando o conceito de fibra dietética, resultante da utilização da fibra na alimentação humana, por englobar todos os carboidratos que não são digeridos pelas enzimas dos mamíferos, o que também é de suma importância para animais

monogástricos. De acordo com Van Soest, *et al*., (1991) e Hall *et al*., (1999), a fibra dietética é subdividida em duas frações, a fração insolúvel que é representada pelos carboidratos insolúveis em detergente neutro (FDN) e a fração solúvel em detergente neutro, ou fibra solúvel em detergente neutro (FSDN).

A FSDN pode ser obtida por diferença, descontando-se as demais frações do alimento, conforme metodologia descrita por Hall (2000) ou pelo método enzimático-gravimétrico (AOAC, 1995), através da ação de enzimas proteolíticas e amilolíticas. A vantagem do método descrito por Hall (2000) é que ao longo da análise se obtém as demais frações do alimento, no entanto, todos os erros analíticos ficarão acumulados sobre o valor estimado da fibra solúvel. Por outro lado, o método enzimático-gravimétrico, é mais preciso, porém o custo de aquisição das enzimas para a realização de uma quantidade razoável de amostras o torna quase inviável nos estudos para ruminantes.

Apesar dos carboidratos solúveis em detergente neutro apresentarem substâncias com características semelhantes, estas possuem diferentes padrões de fermentação ruminal (Hall, 2000; Ariza *et al*., 2001; Bomfim, 2003) que podem provocar alterações no trato digestório e na cinética do processo digestivo (Faturi *et al*., 2006).

Com relação a estas modificações sabe-se que açúcares, amido e frutanas podem ser fermentados à ácido lático continuando a fermentar em pH baixo e produzindo mais proprionato (Hall, 2001). Contudo, o potencial de digestão dos carboidratos fibrosos é limitado devido à ocorrência da rápida fermentação do amido, o que promove aumento no número de bactérias produtoras de ácido lático com a consequente redução da atividade das bactérias celulolíticas e possibilidade de ocorrência de quadros de acidose ruminal (Macallister e Cheng, 1996). No entanto, a proporção de cada produto final depende do tipo de carboidrato fermentado, das espécies bacterianas que interagem e do ambiente no rúmen durante a fermentação, levando sempre em consideração a interligação destes fatores.

A presença de fibra solúvel em detergente neutro tem a característica de promover maior produção de acetato e manutenção dos valores de pH próximos à neutralidade (Hall e Herejk, 2001). De acordo com Leiva *et al* (2000), independentemente da fonte de carboidrato solúvel, os efeitos no pH ruminal estarão diretamente relacionados com a sua taxa de fermentação e com a taxa de produção de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC). Isto tem sido verificado através da obtenção de produções de células microbianas semelhantes entre sacarose, amido e pectina quando fermentados em um pH relativamente neutro, contudo menores produções microbianas a partir da fermentação da pectina são observadas em pH baixo (Strobel e Russell, 1986).

Durante a fermentação ruminal os microrganismos fermentam os carboidratos para produzir energia para si e como consequência são liberados gases. A fermentação ruminal, conduz à formação de ácidos graxos voláteis (AGV), CO2, H2O, CH4 e de material microbiano. Alguns energia é liberada na forma de calor. Os AGV são então absorvidos e utilizados pelo animal como uma fonte de energia. O material microbiana, por sua vez, é digerido, resultando em lípidos, ácidos graxos, aminoácidos, os quais são absorvidos e utilizados como fonte de energia e proteínas. Os ácidos graxos voláteis oriundos do final do processo fermentativo são absorvidos pelo epitélio ruminal, onde são direcionados para as mais diversas vias metabólicas. A partir da fermentação de açúcares e amido geralmente maiores quantidades de propionato são produzidas pelos microrganismos ruminais, enquanto que da fermentação de substâncias pécticas mais acetato é oriundo. Desta forma a manipulação da fermentação através da fonte de carboidrato solúvel pode causar mudanças na proporção dos AGCC produzidos no rúmen, o que influenciará os resultados de teor de gordura, produção de leite assim como o padrão de crescimento animal (Gonçalves, 2010). Estas respostas podem ser obtidas uma vez que diferenças nos produtos da fermentação proporcionam ao animal diferentes quantidades de nutrientes metabolizáveis, onde a predominância de nutrientes glicogênicos (propionato) contra os lipogênicos

(acetato) devem afetar a quantidade e composição da produção de leite e do crescimento animal (Hall, 2000).

O fracionamento dos carboidratos solúveis permite descrever como e onde eles podem ser digeridos, as características de fermentação e quais quantidades e tipos de nutrientes eles podem fornecer para o ruminante. Os alimentos concentrados ricos em FSDN podem representar uma importante fonte de energia para os animais ruminantes, em primeiro lugar pelos benefícios trazidos ao ambiente ruminal, sem reduzir drasticamente o pH, proporcionando melhor aproveitamento da FDN dos alimentos volumosos (Henrique *et al*., 2003; Assis *et al*., 2004) e em segundo lugar pela dificuldade de utilização destes alimentos para nutrição de monogástricos, já que estes animais não produzem enzimas capazes de digerir os carboidratos encontrados na FSDN (Faturi *et al*., 2006). Alterações no pH ruminal, que tem elevada importância na digestibilidade ruminal, têm sido atribuídas à inclusão de carboidratos solúveis na dieta, influindo sobretudo na digestibilidade dos carboidratos estruturais, pois afeta diretamente o desenvolvimento microbiano no rúmen, assim como a ação das enzimas secretadas por estes microrganismos. Porém variações podem ocorrer variações em função da fonte de carboidrato solúvel.

Quando grandes quantidades de amido e açúcares são fornecido na dieta de ruminantes, a fermentação pode ser direcionada para produção de ácido lático podendo provocar acidose, entretanto, outros carboidratos solúveis que compõem a fibra solúvel, como pectinas, arabanos e β-glucanos não são fermentados a lactato (Hall, 2000). A introdução de grãos de cereais com alta concentração de amido, em níveis moderados a altos na dieta, torna mais susceptível a redução na digestão da fibra. Isto ocorre devido a rápida fermentação do amido, aumentando o número de bactérias produtoras de ácido lático e reduzindo a atividade das bactérias celulolíticas, podendo ocorrer acúmulo de ácido lático no rúmen e dominância de bactérias ácido-tolerantes, criando uma condição ruminal instável (Macallister e Cheng, 1996).

Neste contexto, comparando duas dietas contendo aproximadamente 35% de carboidratos solúveis em detergente neutro, Ariza *et al*., (2001) observam que na dieta com maior concentração de FSDN foram observadas melhorias na eficiência de síntese microbiana e reduções nas concentrações de nitrogênio amoniacal ruminal em comparação à dieta com maior concentração de amido. Erfle *et al*., (1982) verificaram que a redução gradativa dos valores do pH ruminal de 7,0; 6,0 e 5,0 reduziu, respectivamente, a quantidade total de bactérias de 8,3 para 7,8 e 3,6 x 109/mL, tendo sido que as bactérias celulolíticas foram as que sofreram o maior efeito da redução dos valores de pH. A redução na quantidade de bactérias celulolíticas, que normalmente também são degradadoras da hemicelulose, afeta diretamente a digestibilidade da FSDN.

Henrique *et al*., (2003) estudando a inclusão crescente de polpa cítrica peletizada em substituição ao milho em dietas para ovinos verificaram elevação na ingestão de matéria seca, na digestibilidade da proteína bruta e da fibra em detergente ácido assim como no metabolismo de nitrogênio.

No que diz respeito à produção de proteína microbiana, estudos mostraram que a FSDN pode vir a promover elevação destas produções, contudo seria interessante a inclusão nestas dietas de maiores proporções de proteína de escape ruminal.

Microrganismos Fermentadores da Fibra Solúvel e Produção de Ácidos Graxos Voláteis

Antunes e Rodriguez, (2006) relatam que o ecossistema ruminal é habitado por um conjunto muito concentrado e diverso de microrganismos anaeróbios, incluindo bactérias, protozoários e fungos. Mais de duzentas espécies de bactérias, dez espécies de protozoários e oito espécies de fungos já foram isoladas e descritas, as bactérias são as responsáveis pela maior parte da digestão dos alimentos no rúmen, pela sua predominância numérica e atividade metabólica.

Os mesmos autores em revisão revelam que a pectina é rápida e completamente degradada no rúmen pelas espécies de bactérias: *Prevotella ruminicola, Butyrivibrio fibrisolvens, Lachnospira multiparus e Succinivibrio dextrinosolvens*. Os protozoários ruminais apresentam intensa atividade de degradação dos componentes fibrosos dos alimentos, mas utilizam os carboidratos não estruturais na dieta com maior eficiência, sendo capazes de engolfar facilmente grânulos de amido em suspensão no conteúdo ruminal, onde, podem ser responsáveis por até 45% da atividade amilolítica do rúmen. Entretanto, nenhuma espécie de fungo anaeróbio foi capaz de degradar a pectina e substancias pécticas.

Os principais produtos da fermentação dessas bactérias são: acetato, propionato, butirato, formato, lactato, succinato, e hidrogênio (Antunes e Rodriguez, 2006). A proporção molar de acetato e propionato é afetada pelo nível de concentrado e tamanho de partícula da forragem, e aumenta o acetato com o tempo de mastigação.

No tocante a produção de AGVs, apesar dos grandes avanços na população microbiana e diferenças no consumo de alimento, as proporções ruminais de AGV são bastante estáveis nas dietas com variáveis proporções de concentrado e volumoso com diferentes valores de fibra solúveis. Onde, a quantidade assim como o tamanho da fibra afetam as proporções e absorções dos AGV, pois são amplamente dependentes do pH (Souza *et al*., 2010).

A proporção geralmente de AGV sofre influencia da dieta e o estado da população metanogênica do rúmen. Segundo Grant *et al*., (1990) trabalhando com forragem na ração com diferentes granulométrica não alterando as quantidades ou proporções de CNF, concluíram que a falta de efetividade da fibra seja solúvel ou não é frequentemente responsável pela acidose, depressão na gordura no leite e alteração na proporção molar dos AGVs.

Metabolismo dos Carboidratos (Fibra Solúvel)

Quando os carboidratos e fibras vegetais são ingeridos juntos resulta em menos hiperglicemia do que quando a mesma quantidade e tipo de

carboidratos de carbono são ingeridos sem fibra vegetal (Anderson e Chen, 1979).

Haber *et al*., (1977) compararam a influência de maçãs inteiras, purê de maçã ou suco de maçã sobre a saciedade, glicemia, e as mudanças de insulina no sangue, em humanos entre 22 e 40 anos. Todas as refeições continham 60 g de carboidrato. Comendo maçãs inteiras a saciedade foi significativamente maior quando comparado com o puré de maçã ou suco de maçã. Efeitos semelhantes de fibras de plantas sobre a saciedade foram relatadas por outros (Kay e Strasberg (1978) in Anderson e Chen, 1979). Após a ingestão de maçãs inteiras houve um pequeno aumento da glicose no plasma em 30 min, mas os valores de glicose retornaram aos valores basais no 60 min e permaneceram lá pelas 2 horas seguintes.

Em contraste, Haber *et al*., (1977) relata que o suco de maçã induzida ligeiramente hiperglicemia inícial, mas foi associado com os valores de glicose no plasma que foram distintamente inferiores aos valores de jejum entre 60 e 180 min. O aumento de insulina do soro foi 2 vezes maior após o suco de maçã do que após maçãs inteiras. Sem dúvida, o aumento de insulina significativamente maior após o suco de maçã induziu uma redução significativa nos valores de glicose no plasma durante a 2ª e 3ªˢ horas do ensaio.

Os efeitos de purê de maçã foram intermediários entre a de maçãs inteiras e o suco de maçã. Isto é de interesse considerável porque sugere que a ruptura física das fibras de plantas altera as suas propriedades fisiológicas. Quando grandes quantidades de fibras vegetais solúveis foram incorporados nas refeições do teste, valores ainda mais de glicose e de insulina no sangue foram observados (Haber *et al*., (1977).

Este estudo demonstram claramente que quando os carboidratos são ingeridos com fibras vegetais o aumento resultante da glicose no sangue e concentrações de insulina é significativamente menor quando os mesmos carboidraos são ingeridos sem fibras (Anderson e Chen, 1979) .

As polpas de *citrus* e de beterraba devido às suas características físicas e químicas e aos resultados das avaliações nutricionais, vêm recebendo grande atenção como subprodutos potenciais a serem incorporados às dietas de ruminantes, substituindo parcialmente ou totalmente os grãos de cereais (Müller e Prado, 2004).

Menezes Jr*. et al*., (2000a,b), ao testarem dois tipos de processamento de grãos de milho (floculado ou moído grosso) e sua substituição por 50% polpa de *citrus* peletizada em vacas da raça Holandês alimentadas com silagem de milho, observaram que a inclusão parcial de polpa de *citrus* utilizada na dieta não afetou o consumo de MS e de matéria orgânica e as digestibilidades de amido e proteína bruta. No entanto, as digestibilidades aparentes da FDN e FDA foram maiores, causando efeito benéfico no desempenho de vacas de leite. Autores (Van Soest *et al*., 1991; Van Soest, 1994) relatam que o uso da polpa cítrica na dieta favorece as condições ruminais quando comparado com o uso de concentrados ricos em amido, cujo padrão de fermentação diminui o pH ruminal tornando o animal propenso a distúrbios metabólicos e alterações na composição do leite.

Dessa forma o conhecimento da utilização da polpa de *citrus* peletizada (fonte de fibra solúvel) como fonte de energia em substituição a uma fonte de amido convencional, em dietas para vacas leiteiras, pode ajudar na viabilização da sua adoção como alternativa em sistemas intensivos de produção (Müller e Prado, 2004).

Parâmetros Ruminais e o Desempenho de Animais Alimentados com Fibra Solúvel

A incorporação de carboidratos de alta digestibilidade em dietas é um método para aumentar a energia para os ruminantes. Ao ponto que a fermentação ruminal de carboidratos também pode aumentar a produção microbiana (Krause *et al*., 2002a). A quantidade de carboidratos na dieta, e a sua fermentação alteram a produção de ácidos fermentados no rúmen. Durante a alimentação as partes solúveis da parede celular das plantas, são

rapidamente fermentadas no rúmen, liberadas e hidrolizadas a monômeros, sendo estes últimos rapidamente fermentados há ácidos graxos voláteis reduzindo o pH do meio (Owens e Goetsch, 1988).

Entretanto a produção desses ácidos precisa ser balanceada através de sua remoção ou neutralização, onde sua capacidade tamponante é determinada pelo total de ruminação, secretando mais saliva durante o intervalo das alimentações (Allen, 1997). A grande maioria da energia obtida pelos animais ruminantes principalmente durante o confinamento é proveniente da fermentação dos carboidratos solúveis e estruturais, sendo transformados em produtos metabólicos pela fermentação microbiana e destinados a síntese de carne, leite e lã. Os carboidratos solúveis são o principal fator que pode alterar a digestão dos carboidratos estruturais, através dos concentrados, resultando em alterações do trato digestivo, interferindo na cinética do processo digestivo, como taxa de passagens das partículas, taxa de digestão, pH ruminal, modificando a população microbiana (Mota, 2006). O grupo de carboidratos solúveis é muito heterogênio incluindo ácido orgânico, açucares (mono e oligossacarideos), amido e frutanas, e aqueles encontrados na parede celular das plantas, e solúvel em detergente neutro como a pectina, galactanos e β-glucanos, levando a diferentes padrões de fermentação ruminal (Faturi, 2005).

Os carboidratos correspondem a cerca de 50 a 80% da matéria proveniente do volumoso e grãos de cereais Valadares Filho e Cabral, (2002), os quais são representados pelos fibrosos e não fibrosos. A fibra normalmente é usada para caracterizar os alimentos, e principalmente estabelecer limites máximos dos ingredientes presentes nas rações dos ruminantes (Mertens, 1992). Em relação aos carboidratos não fibrosos mais facilmente solúveis, largamente encontrados nos alimentos concentrados, tem a característica de modificar o ambiente ruminal interferindo no padrão de fermentação dos carboidratos fibrosos.

Faturi *et al*., (2006) avaliou o efeito de duas fontes de carboidratos solúveis(silagem e grão de milho), amido ou fibra solúvel (polpa cítrica),

associadas a dois níveis de FDN (alta 48,28 e baixa 39,79) sobre o desempenho de novilhos em confinamento na fase de terminação, onde eles avaliaram o ganho de peso entre os dois tratamentos com maior nível de FDN, observou que os animais alimentados com fibra solúvel apresentaram maior ganho de peso e melhor conversão alimentar que os alimentados com amido como fonte de carboidrato solúvel, onde, estes animais apresentaram ganho de peso de 1,435 kg/dia e conversão alimentar de 7,494 enquanto aqueles alimentados com amido tiveram ganho de 1,262 kg/dia e conversão de 8,651, conforme pode ser visualizado na Tabela 1.

A diferença verificada entre os dois tratamentos pode estar relacionada à maior digestibilidade da MS e, principalmente, da FDN de dietas com maior teor de fibra solúvel em relação àquelas com maior teor de amido (Faturi, 2005).

Na Tabela 2 são apresentados dados referentes à utilização de fibra solúvel na alimentação de ovinos em confinamento.Os valores de pH ruminal não sofreram influencia (P=0,0554) das dietas experimentais (Tabela 2). Em média, os valores de pH ficaram em torno de 6,29, Apesar da fibra solúvel em detergente neutro (FSDN) ter a característica de promover a manutenção dos valores de pH próximos à neutralidade (Hall, 2000), quando comparado aos valores de pH ruminal obtidos com dietas onde o amido esteve presente em elevadas concentrações, este comportamento não foi verificado no presente trabalho.

Tabela 1 - Valores médios para ganho de peso médio diário (GMD), conversão alimentar (CA), conversão de energia bruta (CAEB) e conversão de proteína bruta (CAPB), peso ao final do período experimental (PF) e condição corporal dos novilhos (CC) de acordo com o tratamento

Means for daily weight gain (DWG), feed conversion (FC), GE conversion (GEC), CP conversion of PB (CPC), final body weight (FW) and body condition (BC) of finishing feedlot steers

Tratamento *Treatment*	GMD (kg/dia) DWG(Kg/Day)	CA FC	CAEB GEC	CAPB CPC	PF (kg) FW(kg)	CC[A] BC
[1]Amido alto teor de FDN *Starch high NDF*	1,262b	8,651 a	37,0 b	1,14b	455,8 b	3,86 a
[2]Amido Baixo teor de FDN *Starch low NDF*	1,459a	7,340 b	31,6 a	0,98a	471,4 a	3,86 a
[3]Fibra solúvel alto teor de FDN *Soluble fiber high NDF*	1,435a	7,494 b	32,0 a	0,96a	469,6 a	3,92 a
[4]Fibra solúvel baixo teor de FDN *Soluble fiber low NDF*	0,97c	8,542 a	36,7 b	1,06a b	433,1 c	3,64 b
CV	11,8	12,7	12,6	13,3	2,4	5,2

Composição de amido e FDN dos tratamentos:

[1]Amido- 29,07, FDN-48,28; [2]Amido- 35,28, FDN-39,79; [3]Amido- 14,65, FDN-48,13; [4]Amido- 15,33, FDN-39,04. [A] Condição A = muito magro; condição B = magro; condição C = animal com escore médio; condição D = gordo; condição E = muito gordo. Médias com diferentes letras na mesma coluna diferem (P<0,08) pelo teste t na comparação entre tratamentos.

Fonte: adaptado de Faturi *et al*., (2006)

Tabela 2 – Valores de pH de ovinos alimentados com dietas contendo diferentes concentrações de amido e fibra solúvel em detergente neutro
Sheep pH values feed by different diets containing different starch concentration and neuter detergent soluble fiber

	Dieta			
Tempo (h) *Time*	[1]Amido *Starch*	[2]Amido/FSDN *Stargh/SNDF*	[3]FSDN *SNDF*	Subparcela *Split-plot*
- 1	6,45	6,69	6,68	6,61ª
0	6,64	6,65	6,76	6,68ª
1	5,95	6,19	6,29	6,15BC
2	5,88	6,07	6,16	6,04C
4	5,97	6,15	6,11	6,08C
6	6,16	6,21	6,07	6,15BC
8	6,44	6,25	6,31	6,34B
Parcela	6,21	6,32	6,34	

Composição de amido e FDN das dietas:
[1]Amido- 26,61, FDN-34,96; [2]Amido-18,42, FDN- 34,36; [2]Amido-8,27, FDN-33,72

Subparcela: Num mesmo ensaio quando queremos testar dois ou mais fatores, mas, em condições experimentais um pouco diferentes daquelas utilizadas nos experimentos fatoriais. Nesses experimentos, também conhecidos como "split-plot", as parcelas são dividas em partes menores e iguais, denominadas subparcelas, que constituem a unidade básica para fins de análise estatística. A principal característica desse delineamento é a casualização dos níveis dos fatores, que é feita em dois estágios (Kronka e Banzatto, 2006).
Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na linha e maiúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05). Gonçalves, 2010

Faturi (2005), trabalhando com bovinos alimentados com dietas contendo carboidratos solúveis (amido e FSDN), associados aos níveis baixo e alto de fibra em detergente neutro (FDN), observou que os maiores valores de pH ruminal só diferiram em função dos níveis de FDN, independentemente do tipo de carboidrato solúvel presente nas dietas.

Por sua vez, Assis *et al*., (2004), verificaram que os alimentos concentrados ricos em FSDN, representam uma importante fonte de energia para os ruminantes, não reduzem drasticamente o pH ruminal e proporcionam melhor aproveitamento dos carboidratos fibrosos oriundos de volumosos.

Só foi possível efeito significativo ($P<0,01$) quando os valores de pH foram avaliados em função dos tempos de colheitas ruminais (Tabela 2).

Os valores de pH decresceram até oito horas após a alimentação independentemente da dieta, confirmando o observado por Faturi (2005) que constatou reduções até as seis horas após a alimentação. É importante ressaltar que em todos os tempos de colheita os valores de pH ruminal não foram inferiores a 6,04 (2 horas após a alimentação), fato este que favorece a uma fermentação mais eficaz dos carboidratos fibrosos, com consequente melhor aproveitamento pelos ruminantes.

Na Tabela 3 são apresentados dados de ganho em peso de ovinos confinados alimentados com diferentes fontes de alimentos. O ganho em peso médio diário (Tabela 3) dos animais da dieta FSDN (0,074 kg) foram os menores obtidos quando comparados aos demais ($P<0,01$). Os animais das dietas AMIDO e AMIDO/FSDN ganharam, em média, 0,208 kg/dia ($P>0,05$). Estes resultados estiveram de acordo com os reduzidos consumos de matéria seca observados para a dieta FSDN, o que fez com que os animais ganhassem menos peso.

Tabela 3. Peso corporal inicial (PCI), peso corporal final (PCF), ganho em peso total (GPT), ganho em peso médio diário (GMD), conversão alimentar (CA) e eficiência alimentar (EA) de ovinos alimentados com dietas contendo diferentes concentrações de amido e fibra solúvel em detergente neutro
Initial Body weight (IBW), final body weight (FBW), total gain weight, daily weight gain (DWG), feed conversion (FC), feed efficiency (FE) by sheep feed with different diets containing different starch concentration and neuter detergent soluble fiber

	Dieta				
Item	Amido	Amido/FSDN	FSDN	p para tratamento	CV*
PCI (Kg)	19,24	19,05	18,95	<0,0001	3,24
PCF (Kg)	35,89[a]	33,09[a]	24,57b	<0,0001	10,19
GPT (Kg)	16,65[a]	14,37[a]	5,52b	<0,0001	27,25
GMD (Kg)	0,222[a]	0,192[a]	0,071b	<0,0001	22,63
CA (Kg/MSi/Kg GANHO)	4,38[a]	4,84[a]	8,66b	<0,0001	18,92
EA (Kg ganho/Kg MSi	0,23[a]	0,21[a]	0,11b	<0,0001	18,70

[1]Amido- 26,61, FDN-34,96; [2]Amido-18,42, FDN- 34,36; [2]Amido-8,27, FDN-33,72. Médias seguidas por letras diferentes na linha diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05); * CV – Coeficiente de Variação. Gonçalves, 2010.

A conversão alimentar (Tabela 3) piorou na dieta com maior concentração de FSDN (P<0,01). Enquanto foi encontrado o valor de 4,38 para as dietas AMIDO e 4,84 para a AMIDO/FSDN, na dieta FSDN este valor alcançou 8,66. A piora na conversão alimentar foi também acompanhada pela pior (P<0,05) eficiência alimentar apresentada pela dieta FSDN (0,11 kg ganho/kg MSi)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No balanceamento de rações para ruminantes é fundamental considerar as características físicas da fibra e suas proporções, pois esta fração do alimento está relacionada ao estímulo de mastigação, motilidade ruminal e prevenção de distúrbios metabólicos, garantindo desta forma a manutenção do ambiente ruminal.

A mudança muito brusca na qualidade, granulometria e tipo da fibra resulta em mudança de perfil microbiano no rúmen e mudanças no fluxo de tamponantes para o rúmen, alterando o pH, provocando menor neutralização dos ácidos produzidos no rúmen e refletindo negativamente no desempenho animal.

De forma geral, o uso de polpa de cítrus, os subprodutos com alta concentração de pectina possuem grande potencial para serem utilizados nas dietas de ruminantes, por apresentarem alta densidade energética. Associado a isso, possuem um tipo de fermentação favorável, sem a produção de ácido lático, ajudando a manter um ambiente ruminal favorável, entretanto tal introdução na dieta dos ruminantes deve ser feito com cuidado, estudando os riscos econômicos e de demanda para que os objetivos iniciais de economia e bem estar animal aliado à boa produção não se percam.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allen, D.M. and Grant, R.J. Interactions between forage and wet corn gluten feed as sources of fiber in diets for lactating dairy cows. Journal of Dairy Science, v.83, n.2, p. 322-331, 2000.

Allen, M.S. Relationship between fermentation acid production in the rumen and requirements for physically effective fiber. In: SYMPOSIUM: Meeting the fiber requirements of dairy cows. Journal of Dairy Science, v.80, n.7, p.1447-1462, 1997.

Anderson, J.W. and Chen, W.J.L. Plant fiber. Carbohydrate and lipid metabolism. *The American Journal of Clinical Nutrition* 32: FEBRUARY, pp. 346-363. Printed in U.S.A. 1979.

Antunes, R.C and Rodriguez, N. M. 2006. In: Cap8. Nutrição de Ruminantes. Berchielli, T.T.; Pirez, A.V.; Oliveira, S.G. Jaboticabal, Funep, 538p. 2006.

Ariza, P.; Bach, A.; Stern, M.D. and Hall, M.B. Effects of carbohydrates from citrus pulp and hominy feed on microbial fermentation in continuous culture. Journal of Animal Science, v.79, p.2713-2718, 2001.

Assis, A.J.; Campos, J.M.S.; Valadares Filho, S.C.; Queiroz, A.C.; Lana, R P.; Euclydes R. F.,; Mendes Neto, J.; Rodrigues Magalhães, A.L. and Mendonça, S.S. Polpa cítrica em dietas para vacas em lactação. 1. Consumo de nutrientes, produção e composição do leite. Revista Brasileira de Zootecnia, v.33, n.1, p.242-250, 2004.

ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURA CHEMISTS - A.O.A.C. Official methods of the analysis. 11ª ed., Washington, D.C., 1995.

Ben-Ghedalia, D.; Yosef, E.; Miron, J. and Est, Y. The effects of starch- and pectin- rich diets on quantitative aspects of digestion in sheep. Animal Feed Science and Technology, v.24, p.289-298, 1989.

Bomfim, M.A.D. Carboidratos solúveis em detergente neutro em dietas de cabras leiteiras. Viçosa, MG:

Universidade Federal de Viçosa, 2003. 119p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 2003.

Cullen, A. J.; Harmon, D. L. and Nagaraja, T. G. In vitro fermentation of sugars, grains and by-product feeds in relation to initiation of ruminal lactate production. Journal of Dairy Science - v. 69, p. 2616-2623, 1986.

Erfle, J.D.; Boila, R.J.; Teather, R.M.; Mahadevan, S. and Sauer, F.D. Effect of pH fermentation characteristics and protein degradation by rumen microorganisms in vitro. Journal of Dairy Science, v.65, p.1457-1464, 1982.

Faturi, C.; Ezequiel, J.M.B.; Fontes, N.A.; Stiaque, M.G. and Cruz, O.G.S. Fibra solúvel e amido como fontes de carboidratos para terminação de novilhos em confinamento. R. Bras. Zootec., v.35, n.5, p.2110-2117, 2006

Faturi, C. Fontes de carboidratos solúveis e níveis de fibra em detergente neutro em dietas para terminação de novilhos em confinamento. Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista, 2005. 73p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Estadual Paulista, 2005.

Figueiredo, S. M.; Dias, V.A.R.C. and Ribeiro, L.D. Fibras alimentares: combinações de alimentos para atingir meta de consumo de fibra solúvel/dia. *e-scientia,* v.2, n.1, 2009.

Grant, R.J.; Colenbrander, V. F. and Mertens, D.R. Milk fat depression in dairy cows: role of silage particle size. Journal Dairy Science, v. 73, p. 183-442, 1990.

Gonçalves, J. S. Amido e fibra solúvel em detergente neutro em dietas para ovinos. Jaboticabal, 2010, 101p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, 2010.

Goodwin, T. V. and Mercer, E.I. Introduction to plant biochemistry. 2ed. Oxford: Pergamon Press, 1988.

Hall, M. B. Recentes avanços em carboidratos não-fibrosos na nutrição de vacas leiteiras. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE BOVINOCULTURA DE LEITE: Novos conceitos em nutrição, 2., 2001, Lavras. Anais... Lavras: Universidade Federal de Lavras, p.149-159. 2001.

Hall, M.B. and Herejk, C. Differences in yields of microbial crude protein from in vitro fermentation of carbohydrates. Journal of Dairy Science, v.84, p.2486-2493, 2001.

Hall, M.B. Neutral detergent-soluble carbohydrates nutritional relevance and analysis. Bulletin 339. University of Florida. 2000.

Hall, M.B.; Hoover, W.H.; Jennings, J.P. and Miller Webster, T.K.. A method for partitioning neutral detergent-soluble carbohydrates. Journal of the Science of Food and Agriculture, v.79, p. 2079-2086, 1999.

Harber, G.B.; Heaton, K.W. and Murphy, D. Depletion and Disruption of Dietary Fibre Effects on Satiety, Plasma-Glucose, and Serum-Insulin. The Lancet, Oct. University Departaments of Medicine and chemical Pathology Royal Infirmary, Bristol 679- 681. 1997.

Henrique, W.; SAMPAIO, A.A.M.; LEME, PR.; ALLEONI, G.F.; LANNA, D.P.D. and MALHEIROS, E.B. Digestibilidade e balanço de nitrogênio em ovinos alimentados à base de dietas com elevado teor de concentrado e níveis crescentes de polpa cítrica peletizada. Revista Brasileira de Zootecnia, v.32, n.6, 2007-2015, 2003.

Kearney, C.C. Effects of Dietary Physical Form and Carbohydrate Profile on Captive Giraffe. M.Sc. Thesis, University of Florida, pp. 94. 2005.

Krause, K.M.; Combs, D.K. and Beauchemin, K.A. Effects of forage particle size and grain ferment ability in mid lactation cows. I. Milk production and diet digestibility. Journal of Dairy Science, v.85, p.1936-1946, 2002.

Kronka, S.N. and Banzatto, D.A. Experimentação Agrícola. 4ed. Jaboticabal: Funep, 237p. 2006.

Leiva, E.; Hall, M.B. and Van Horn, H.H. Performance of dairy cattle fed citrus pulp or corn products as sources of neutral detergent-soluble carbohydrates. Journal of Dairy Science, v.83, p.2866-2875, 2000.

MaCallister, T.A. and Cheng, K.J. Microbial strategies in the ruminal digestion of cereal grains. Animal Feed Science Technology, v.62, p.29-36, 1996.

Menezes, J.R.M.P.; Santos, F.A.P.; Guidi, M.T. et al. Efeito do processamento do grão de milho e sua substituição parcial por polpa cítrica peletizada sobre a digestibilidade de nutrientes de vacas em lactação. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 37, 2000. Viçosa/MG. Anais... p.429, 2000a.

Menezes J.R.M.P.; Santos, F.A.P.; Guidi, M.T. et al. Processamento do grão de milho e sua substituição parcial por polpa de *citrus* sobre os parâmetros ruminais e composição do leite de vacas holandesas.. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38, 2000. Viçosa/MG. Anais... p.474, 2000b.

Mertens, D.R.; 1992, Am. Dairy Sci. Assoc., Champaign, IL, Page 219 in Large Dairy Herd Management.

Mota, M.F. Desempenho, parâmetros ruminais e taxa de passagem em vacas da raça holandesa em pastagem de coastcross.Tese. Maringá, pp148. 2006.

Müller, M. and Prado, I.N. Metabolismo da Pectina em Animais Ruminantes: Uma Revisão. Revista Varia Scientia v. 04, n. 08, p. 45-56. dezembro de 2004.

Owens, F.N. and Goetsch. Ruminal Fermentation. In: CHURCH, D.C. The ruminant animal: digestive physiology and nutrition. New Jersey: Prentice Hall, p.145-216. 1988.

Pereira, E.S.; Arruda, A.M.V.; Mizubuti, I.Y. e Silva L.D.F. Consumo voluntário em ruminantes. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 24, n. 1, p. 191-196, jan./jun. 2003.

Righi, F.; Rubini, P.; Romanelli, S.; Renzi, M.; Rossi, F. and Quarantelli, A. Ann Fac Medic *Vet di Parma*, 181-190. 2008.

Sniffen, C. J.; O'connor, J. D.; Van Soest, P.J. et al. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II- Carbohydrate and protein availability. *J. Anim. Sci.,* v.70, p.3562-3577, 1992.

Strobel, H.J. and Russel, J.B. Effect on pH and energy spilling on bacterial protein syntesis by carbohydrate-limited cultures of mixed rumen bacteria. Journal of Dairy Science, v.69, p.2941-2947, 1986.

Valadares Filho, S.C. and Cabral, L.S. Aplicação dos princípios de nutrição de ruminantes em regiões tropicais. In: 39 REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, Recife. Anais... p.514-540. 2002.

Van Soest, P. J.; Robertson, J. B. and LEWIS, B.A. Methods of dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* - v. 74, n. 10, p. 3583- 3597, 1991.

Van Soest, P. J. Nutritional ecology of the ruminant. 2. ed. Cornell University, 476p. 1994.

Weiss, W.P. Predicting energy values of feeds. *Journal of Dairy Science*, v.76, p.1802, 1993.