

## **A Importância dos Carboidratos na Alimentação dos Equinos - La Importancia de los Carbohidratos en la Alimentación de los Equinos - The Importance of the Carbohydrates for Feeding Horses**

**Eliane Morgado:** Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, UNESP, Jaboticabal, São Paulo, Brasil. Contato por e-mail: [elimorg@yahoo.com.br](mailto:elimorg@yahoo.com.br) | **Leandro Galzerano:** Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, UFRRJ, Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil. Bolsista da CAPES. Contato por e-mail: [leandrogalzerano@yahoo.it](mailto:leandrogalzerano@yahoo.it)

**REDVET: 2008, Vol. IX, Nº 10**

Recibido 23.01.08 / Ref. provisional: H011\_REDVET / Revisado 29.07.08 / Aceptado 28.08.08 /  
Ref. definitiva n101008\_101008\_REDVET / Publicado: 15.10.08

Este artículo está disponible en <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n101008.html> y más concretamente en <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n101008/101008.pdf>

REDVET® Revista Electrónica de Veterinaria está editada por Veterinaria Organización®.  
Se autoriza la difusión y reenvío siempre que enlace con Veterinaria.org® <http://www.veterinaria.org> y con REDVET® - <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet>

### **Resumo**

Os carboidratos são extremamente importantes na dieta dos equinos, sendo os carboidratos não estruturais as fontes primárias de energia. Os monossacarídeos são as únicas formas de carboidratos que podem ser absorvidos pelo intestino delgado e os carboidratos mais complexos são fermentados no intestino grosso, onde ocorre a fermentação microbiana. As frações dos carboidratos são definidas pelos métodos químicos ou enzimáticos utilizados nas análises, e vários são os métodos de avaliação da qualidade das forragens, e da composição bromatológica dos ingredientes. O sistema de partição dos carboidratos mais adequada à fisiologia digestiva dos equinos, seria o fracionamento dos carboidratos não fibrosos em grupo dos carboidratos hidrolisáveis a açúcar simples no intestino delgado, e grupo dos carboidratos fermentáveis no intestino grosso, produzindo ácidos graxos voláteis. A qualidade e a composição dos carboidratos nos alimentos são grandemente variáveis, sendo a análise individual dos ingredientes das dietas o melhor método para estimar a composição dos carboidratos dos alimentos. O conhecimento das frações dos carboidratos e de suas características químicas e físicas nos alimentos permite a avaliação de sua qualidade, seu valor nutricional e sua importância no balanceamento de dietas, podendo assim prevenir certas

desordens digestivas que acometem os eqüinos quando são ingeridas grandes quantidades de carboidratos não fibrosos, influenciando na saúde do animal.

---

## Resumen

Los carbohidratos son extremadamente importantes en las dietas de equinos, siendo los carbohidratos no estructurales las fuentes primarias de energía. Los monosacáridos son la única forma de carbohidratos que pueden ser absorbidos por el intestino delgado y los carbohidratos más complejos son fermentados en el intestino grueso, donde ocurre la fermentación microbiana. Las fracciones de los carbohidratos son definidas por los métodos químicos o enzimáticos utilizados en los análisis, y varios son los métodos de evaluación de la calidad de los forrajes y de la composición bromatológica de los ingredientes. El sistema de partición de los carbohidratos más adecuado a la fisiología digestiva de los equinos sería el fraccionamiento de los carbohidratos no fibrosos en grupos de los carbohidratos hidrolizados a azúcares simples en el intestino delgado, y grupo de los carbohidratos fermentados en el intestino grueso, produciendo ácidos grasos volátiles. La calidad y la composición de los carbohidratos en el alimento son grandemente variables, siendo el análisis individual de los ingredientes de las dietas el mejor método para estimar la composición dos carbohidratos de los alimentos. El conocimiento de las fracciones de los carbohidratos y de sus características físicas y químicas en los alimentos permite la evaluación de su calidad, su valor nutricional y su importancia en el balance de dietas, pudiendo así prevenir ciertos desórdenes digestivos que perjudican a los equinos cuando son ingeridas grandes cantidades de carbohidratos no fibrosos, influenciando negativamente la salud de el animal.

**Palabras-claves:** Caballos | Carbohidratos no fibrosos | Fibra |

---

## Abstract

Carbohydrates are extremely important in diets for horses and the nonstructural ones are the primary source of energy. The monosaccharides are the only way of carbohydrates that can be absorbed by the small intestine and the most complex carbohydrates are fermentable in the hindgut where the microbial fermentation occurs. The carbohydrates fractions are defined by the chemicals and enzymatic methods used in analyses, and many are the methods for forages quality valuation and also for ingredient chemical composition. The system of carbohydrate partition most adequate for the physiology digestive of horses would be the fraction

of nonfiber carbohydrates in hydrolyzable carbohydrate to sugar in the small intestine, and the group of fermentable carbohydrates in the hindgut producing volatile fatty acid. The quality and composition of carbohydrate in the feed are such variable being the individual ingredient analyses in the diets the best methods for estimate the carbohydrate composition. The knowledge of carbohydrate fractions and the chemical characteristics allow the evaluation of the quality, nutritional value and importance in the diets balance and so prevent certain digestive disorders in horses when great amounts of nonfiber carbohydrates are intaken influencing the health of animal.

**Key words:** | Fiber | Horses | Nonfiber carbohydrates|

---

## 1. Introdução

Os eqüinos são animais herbívoros não ruminantes, que possuem estômago simples, que digerem principalmente os carboidratos não estruturais como amido, maltose e sacarose no intestino delgado e intestino grosso altamente desenvolvido, com câmara de fermentação comparada ao rúmen de bovinos, onde a presença de grande população de microorganismos possibilita a utilização dos carboidratos estruturais presentes na parede celular das forrageiras para obtenção de energia, sendo sua natureza e concentração os principais determinantes da qualidade dos alimentos volumosos, especialmente de forragens, sendo extremamente importantes nas dietas dos eqüinos.

A digestão nos eqüinos pode ser dividida em pré-cecal, na qual predomina intensa digestão enzimática, e pós-ileal, na qual a digestão é basicamente microbiana. Entretanto, é provável que, devido à intensa digestão enzimática pré-cecal, com conseqüente absorção no intestino delgado dos carboidratos solúveis e da proteína, a qualidade da digesta que alcança o trato pós-ileal prejudique a digestão microbiana, reduzindo a eficiência de utilização da fibra e, por conseqüência, minimize o potencial de extração da energia contida nesta porção do alimento ingerido (UDEN & VAN SOEST, 1982).

Vários são os métodos de avaliação da qualidade das forragens, e da composição bromatológica dos ingredientes que por muito tempo foi a ferramenta, mais importante dos nutricionistas, porém, atualmente, somente a composição dos alimentos não explica ou justifica as produções dos animais. Os ingredientes, de forma geral, tornaram-se mais elaborados passando por melhoramentos e por processamentos industriais que lhes conferem qualidades e propriedades particulares.

O sistema de partição dos carboidratos em carboidratos fibrosos e carboidratos não fibrosos foi desenvolvido para uso em nutrição de ruminantes (NRC, 2007), e tem sido utilizado na avaliação de alimentos para eqüinos. No entanto, diferenças importantes entre as espécies devem ser observadas, no que diz respeito ao processo de digestão, em função da diferença na compartimentalização do trato digestório, o que se traduz em diferenças na digestibilidade dos alimentos (SMOLDERS et al., 1990).

HOFFMAN et al. (2001) propôs um sistema mais adequado à fisiologia digestiva dos eqüinos dividindo os carboidratos em três frações, fração dos carboidratos hidrolisáveis composta por açúcares e amido; fração dos carboidratos rapidamente fermentáveis como frutanas e substâncias pécticas; e fração dos carboidratos lentamente fermentáveis representada pela fibra em detergente neutro, mais especificamente, hemiceluloses e celulose.

O objetivo desta revisão é descrever sobre a digestão dos carboidratos, utilização dos componentes da fibra pelos eqüinos e sobre os métodos de avaliação dos carboidratos dos alimentos e enfatizar a importância do fracionamento dos carboidratos na nutrição de eqüinos de forma mais adequados à fisiologia digestiva desses animais.

## **2. O Trato Digestório dos Eqüinos**

O trato digestório dos eqüinos é dividido em boca, esôfago, estômago, intestino delgado e intestino grosso. Cada segmento desempenha funções específicas na digestão e absorção dos nutrientes, com destaque para os intestinos delgado e grosso nesse processo.

A apreensão dos alimentos nos eqüinos, efetua-se com o auxílio dos lábios, língua e dentes, sendo necessário para a mastigação uma dentição completa e sem anomalias. Devido à grande mobilidade dos lábios, os eqüinos podem selecionar os alimentos mais palatáveis.

A duração da mastigação depende da natureza do alimento, ou seja, demoram cerca de 10 minutos para mastigar 1 kg de aveia ou ração peletizada, enquanto demoram 40 minutos para mastigar 1 kg de feno, produzindo diariamente de 10 a 50 litros de saliva, de acordo com a dieta (MEYER, 1995).

O estômago do cavalo adulto de porte médio é relativamente pequeno, correspondendo a aproximadamente, 8 a 10% do trato digestório, ajustado para uma recepção contínua de pequenas quantidades de alimento (CUNHA, 1991).

A ingestão de alimentos pelos eqüinos ocorre em pequenas quantidades e a taxa de passagem no estômago é de 1 a 5 horas (MEYER, 1995). Segundo WEYNBERG et al. (2006), a passagem pelo estômago e intestino delgado é

rápida, de 5 horas em média, considerando que o maior tempo de retenção é registrado no ceco e cólon, de 35 horas, em média.

Os processos digestivos no estômago ocorrem pela atividade simultânea de enzimas digestivas e microrganismos. No estômago ocorrem processos fermentativos, favorecidos pela existência de extensas áreas da mucosa desprovidas de glândulas gástricas, onde são formados ácidos graxos voláteis, sendo que o ácido acético representa mais de 90% do total, e as concentrações relativas dependem da natureza da dieta e dos microrganismos presentes (MEYER, 1995).

O intestino delgado do eqüino adulto, de porte médio, tem cerca de 20 metros de comprimento e é dividido em duodeno, jejuno e íleo, compreendendo a aproximadamente 30% do trato digestório (CUNHA, 1991). Neste compartimento ocorre principalmente a digestão enzimática pela ação das enzimas pancreáticas, proteases, amilase e lipases sendo observado também uma quantidade considerável de microrganismos anaeróbicos que aumenta à medida que se aproxima da sua porção final, sendo o principal local de digestão e absorção de lipídeos, carboidratos solúveis e parte da proteína dos alimentos (MEYER, 1995).

Os eqüinos não possuem vesícula biliar, mas a secreção da bile e do suco pancreático é contínua e o tempo de trânsito no intestino delgado é bastante rápido e a maior parte da digesta tem taxa perto de 30 cm/min (WEYNBERG et al., 2006).

O intestino grosso dos eqüinos é muito desenvolvido, e seu volume representa 60 % do volume total do trato digestório, dividido-se em ceco, cólon e reto, sendo o cólon subdividido em cólon ventral direito e esquerdo, cólon dorsal direito e esquerdo, e cólon distal (MEYER, 1995). Neste compartimento ocorre a maior parte da fermentação microbiana e tem função semelhante ao rúmen (TISSERAND, 1988). Este compartimento é o local primário de digestão dos carboidratos estruturais, que são digeridos por enzimas produzidas pelos microrganismos ali presentes, e absorvidos na forma de ácidos graxos voláteis, principalmente acetato, propionato e butirato (HINTZ et al., 1971).

A forma anatômica e a motilidade do ceco e do cólon dos eqüinos favorece o maior tempo de retenção do alimento, em relação aos outros compartimentos do trato gastrintestinal, o que possibilita a ação dos microrganismos na digestão dos constituintes da parede celular das forragens. Assim, a utilização dos nutrientes da parede celular das forragens, pelos microrganismos do ceco e cólon, depende do tempo de permanência da digesta nestes compartimentos. No entanto, o tempo de permanência do alimento nos diversos segmentos do trato digestório do cavalo depende de vários fatores, tais como: a individualidade, o tipo de atividade física e a natureza da dieta (MEYER, 1995).

Durante a passagem da digesta pelo trato gastrointestinal, ocorre a possibilidade de mistura das secreções, da hidrólise pelas enzimas digestivas, da absorção de produtos resultantes, da fermentação bacteriana e da absorção dos produtos da fermentação (WEYENBERG et al., 2006).

Segundo DROGOUL et al. (2000) existem dois fenômenos de retenção seletiva no intestino grosso de eqüinos, um ocorre no ceco e cólon ventral com retenção de partículas grosseiras ocasionadas pelas contrações retropropulsivas originárias na área da flexura pélvica do cólon maior (SELLERS et al., 1982), e na junção do cólon ventral e dorsal (ARGENZIO et al., 1974) sendo esta a maior barreira para o fluxo de partículas grandes, maiores que 1cm (DROGOUL et al., 2000). O outro fenômeno está relacionado a algum mecanismo na transição do cólon dorsal e distal, que, preferencialmente, retém líquido e partículas pequenas, menor que 2mm, comparada com partículas maiores (SPERBER et al., 1992 citados por DROGOUL et al., 2000). Este mecanismo ocorre porque as contrações musculares da parede do cólon distal impulsionam o líquido em movimento retroprogressivo em direção ao cólon dorsal direito (BJÖRNHAG, 1987), resultando em retenção seletiva, não de partículas grosseiras como no grande cólon ventral, mas de líquido e partículas finas (HUME & SAKAGUSHI, 1991).

### **3. Digestão dos Carboidratos pelos Eqüinos**

Os carboidratos são extremamente importantes na dieta dos eqüinos e correspondem a aproximadamente 75% de todo o conteúdo da planta. Os monossacarídeos são as únicas formas de carboidratos que podem ser absorvidos pelo intestino delgado e os carboidratos mais complexos devem ser metabolizados em açúcares simples antes serem absorvidos e utilizados pelo animal.

Os eqüinos digerem mais de 95% dos carboidratos não estruturais e, aproximadamente, 40 a 50% da parede celular (PAGAN, 2001b). O processo de digestão nos eqüinos ocorre em duas etapas: uma enzimática, no intestino delgado, denominada pré-cecal, e uma microbiana, no intestino grosso, denominada pós-ileal. Na etapa enzimática, os carboidratos são expostos a enzimas pancreáticas e intestinais que digerem as proteínas, lipídeos, e carboidratos não estruturais como amido, maltose e sacarose que serão hidrolisados e absorvidos como monossacarídeos. Na etapa microbiana, que ocorre no intestino grosso, ocorre principalmente a digestão da fração fibrosa.

Segundo MEYER (1995), os açúcares e o amido são digeridos e absorvidos no intestino delgado dos eqüinos. No entanto, os que escapam à digestão pré-cecal serão fermentados anaerobicamente no ceco-colon juntamente com os carboidratos estruturais, produzindo ácidos graxos voláteis (AGV),

ou seja, ácidos acético, propiônico, butírico, isovalérico e valérico, que são absorvidos e metabolizados no fígado e tecidos periféricos para a produção de energia.

O conteúdo de carboidratos nas dietas é, geralmente, avaliado em função das características anatômicas dos vegetais, com ênfase na parede celular vegetal e no seu conteúdo celular, isto é, a fibra em detergente neutro e carboidratos não estruturais, respectivamente (VAN SOEST, 1994).

Segundo KRONFELD (2001) este tipo de avaliação adequa-se melhor à fisiologia digestiva dos ruminantes do que a dos eqüinos, pois para animais com fermentação no intestino grosso os carboidratos não estruturais deveriam ser divididos em dois grupos: grupo dos carboidratos hidrolisáveis que incluem os monossacarídeos, dissacarídeos e amido que irão ser hidrolisados a açúcar simples no intestino delgado, e grupo dos carboidratos fermentáveis que incluem hemiceluloses, celulose, ligninocelulose, amidos resistentes à hidrólise enzimática, oligossacarídeos, inclusive as frutanas (fruto-oligossacarídeos), galactanas,  $\beta$ -glucanas, e substâncias pécticas, que irão ser fermentados no intestino grosso, produzindo ácidos acético, propiônico e butírico (HOFFMAN et al., 2001).

Os carboidratos fermentáveis deveriam ainda ser divididos em fibras lentamente fermentáveis (celulose, hemiceluloses, ligninocelulose), que irão produzir principalmente ácido acético; e fibras rapidamente fermentáveis (frutanas), que tendem a dar origem a lactato ao invés de acetato, aumentando os riscos de desordens digestivas (KRONFELD, 2001).

As frações dos carboidratos hidrolisáveis e rapidamente fermentáveis são fermentadas no rúmen enquanto que nos eqüinos os carboidratos hidrolisáveis são digeridos principalmente no intestino delgado, podendo ser fermentado no intestino grosso quando ingerido em excesso (HOFFMAN et al., 2001). Os processos digestivos e metabólicos nos eqüinos são muito mais eficientes para carboidratos hidrolisáveis que para carboidratos fermentáveis (KRONFELD, 2001).

VAN SOEST (1994) relatou que, em razão da digestão de carboidratos solúveis e proteína ocorrerem antes do intestino grosso e, dependendo da forma e da quantidade da dieta fornecida, pouco substrato, além do material fibroso, chega o ceco dos eqüinos, podendo prejudicar a população de microrganismos, diminuindo o aproveitamento dos carboidratos estruturais, haja vista que os microrganismos precisam de carboidratos, proteínas e minerais para metabolizarem os carboidratos estruturais.

A digestão e metabolismo dos carboidratos estruturais no intestino grosso dos eqüinos pode ser capaz de satisfazer as necessidades energéticas de eqüinos em manutenção, mas esta fonte de energia torna-se incapaz de suprir as exigências energética de eqüinos de alto desempenho, sendo

necessário aumentar a densidade energética da dieta, que tradicionalmente é feita com a adição de grãos ou subprodutos de grãos de cereais, que contêm grandes quantidades de açúcares e amido, fornecendo mais energia que as forragens (NRC 2007).

Em geral, as pastagens jovens, em estágio de crescimento, possuem maiores teores de energia, carboidratos não estruturais e proteína, quando suplementada com alimentos concentrados, podendo ocorrer sobrecarga de carboidratos não estruturais, aumentando os riscos de desordens digestivas, como cólicas.

Quando os carboidratos não estruturais são consumidos em grandes quantidades, escapam a hidrólise no intestino delgado e passam para o intestino grosso onde irão fermentar rapidamente, produzindo excesso de gases e ácido láctico. A alta concentração de ácido láctico retém água e reduz o pH do lúmen intestinal para valores inferiores a seis, aumentando o risco de desordens digestivas, como diarreia osmótica, e cólicas associadas à distensão intestinal por gases e fluidos (COHEN et al., 1999).

O fornecimento de grandes quantidades de amido nas dietas dos eqüinos compromete sua digestão no intestino delgado, aumentando a quantidade de carboidratos rapidamente fermentáveis no ceco-cólon, que pode resultar em complicações metabólicas como endotoxemias, cólicas e laminite. A capacidade crítica para a sobrecarga da digestão dos carboidratos hidrolisáveis é de, aproximadamente, 0,4% do peso vivo dos eqüinos (POTTER et al., 1992).

Segundo HOFFMAN et al. (1999), os carboidratos que são hidrolisados e rapidamente fermentáveis, são abundantes em gramíneas jovens e em alimentos concentrados, e a ingestão excessiva de carboidratos hidrolisáveis pode ocorrer quando a pastagem em crescimento é suplementada com concentrados.

A variação sazonal dos carboidratos hidrolisáveis e rapidamente fermentáveis em pastagens pode ter influência na eficiência metabólica e no risco de certas desordens metabólicas e digestivas nos eqüinos, pois a microbiota do intestino grosso destes animais é muito sensível às mudanças na quantidade e na qualidade dos carboidratos rapidamente fermentáveis.

O consumo de gramíneas ricas em frutanas, que é um carboidrato rapidamente fermentável, pode causar mudanças semelhantes às que ocorrem quando o amido escapa à digestão no intestino delgado e é fermentado no intestino grosso, uma vez que os níveis de frutanas nas gramíneas são muito variáveis, com alterações diárias em pastagens em fase de crescimento (HOFFMAN et al., 2001), dificultando a predição da

quantidade de frutanas ingeridas pelos eqüinos manejados sob pastejo (CUDDEFORD, 2001).

#### **4. Componentes da Fibra e sua Utilização pelos Eqüinos**

Nos animais não ruminantes, a estratégia de utilização digestiva dos componentes da parede celular vegetal varia consideravelmente, de acordo com as particularidades morfofisiológicas do trato digestório de cada espécie animal, com destaque para os eqüinos, por apresentarem a maior capacidade de digestão da fração fibrosa (SLADE & HINTZ, 1969).

O consumo de volumoso é essencial para os eqüinos, pois a fibra promove o funcionamento normal do trato digestório e previne distúrbios comportamentais que ocorrem em função da redução dos níveis de fibra (PAGAN, 2001a).

MERTENS (1992) definiu nutricionalmente a fibra como uma fração do alimento indigerível ou lentamente digerível, que ocupa espaço no trato gastrintestinal. O conteúdo adequado de fibra na dieta para eqüinos promove o funcionamento digestivo normal prevenindo vícios de comportamento como a aerofagia (PAGAN, 2001a).

A natureza e concentração dos carboidratos estruturais da parede celular são os principais determinantes da qualidade dos alimentos volumosos, especialmente em forragens (TEIXEIRA & ANDRADE, 2001). A parede celular pode constituir de 30 a 80% da matéria seca das plantas forrageiras, onde se concentram carboidratos como celulose, hemiceluloses e pectina.

O valor nutritivo de forragens é determinado pelo conteúdo de fibra que está relacionado à quantidade de parede celular na planta e à qualidade da fibra em função do grau de lignificação (PAGAN, 2001a).

Segundo VAN SOEST & ROBERTSON (1985), a lignificação é o fator limitante da digestão, uma vez que todos os herbívoros são limitados na sua capacidade digestiva pelo finito tempo de retenção.

A composição da lignina dos alimentos também possui influência na digestibilidade da parede celular, inibindo a digestibilidade dos carboidratos estruturais como a celulose e hemicelulose (SALIBA et al., 1999a e SALIBA et al., 1999b). Estes fatores são importantes, pois o teor de lignina pode ser considerado um dos principais fatores envolvidos na redução da digestibilidade das forragens.

As forrageiras de clima tropical, em relação às espécies de clima temperado, são caracterizadas por apresentarem baixos teores de carboidratos solúveis e elevada proporção de parede celular,

conseqüentemente, de carboidratos estruturais. O elevado conteúdo de parede celular das gramíneas tropicais está associado a aspectos de natureza anatômica das espécies em razão da alta proporção de tecido vascular característico das plantas C<sub>4</sub> (VAN SOEST, 1994).

Os níveis de carboidratos estruturais são bem mais elevados em gramíneas do que em leguminosas onde o caule apresenta os maiores teores. Com o avanço da maturidade, ocorrem mudanças na composição química das plantas e, conseqüentemente, no valor nutritivo, diminuindo a relação conteúdo celular: parede celular em comparação com as plantas jovens, que possuem maior relação de folha: caule e baixo teor de fibra e lignina (NRC, 2007).

Segundo PACIULLO (2002), quimicamente a parede celular é uma matriz complexa composta por proteínas, complexos fenólicos, água, minerais e de polissacarídeos como celulose, hemiceluloses e pectina.

A celulose é a molécula mais abundante da natureza, sendo o componente mais importante da parede celular das plantas, correspondendo de 20 a 30% das paredes primárias e de 40 a 90 % das paredes secundárias (EZEQUIEL & GALATI, 2005).

A estrutura da celulose é composta de cadeias lineares de D-glicose unidas por ligações  $\beta$ -1,4 com alto grau de polimerização e elevado peso molecular encontradas, principalmente, em sua forma cristalina, que confere a alta resistência ao rompimento de suas ligações por substâncias químicas (GIGER-REVERDIN, 1995).

As hemiceluloses compreendem uma coleção heterogênea de polissacarídeos amorfos com grau de polimerização muito inferior ao da celulose VAN SOEST (1994). A composição das hemiceluloses varia entre espécies vegetais e representam, em média, 10 a 25% da matéria seca das forragens e de muitos subprodutos industriais como farelos, polpa cítrica e de beterraba e, entre 2 a 12% nos grãos de cereais e raízes (GIGER-REVERDIN, 1995).

Os animais não ruminantes digerem relativamente melhor as hemiceluloses que a celulose, e uma possível explicação da maior eficiência de digestão das hemiceluloses baseiam-se na hipótese de que as ligações arabinofuranosídicas se mostram sensíveis à acidez gástrica, o que possivelmente expõe as xilanas à digestão intestinal FERREIRA (1994).

As pectinas pertencem ao grupo de polissacarídeos não amiláceos com elevados teores de ácido galacturônico, ramnose, arabinose e galactose, e estão presentes caracteristicamente na lamela média e na parede primária da célula vegetal. As leguminosas contêm mais substâncias pécticas, de 7 a 14%, que as gramíneas, de 2 a 5% (EZEQUIEL & GALATI, 2005).

A lignina é dos componentes da parede celular de grande relevância, pois sua concentração nos alimentos exerce negativamente uma grande influencia sobre a digestibilidade da dieta. A lignina constitui um polímero fenólico que se associa aos carboidratos estruturais, celulose e hemicelulose, durante o processo de formação da parede celular, alterando significativamente a digestibilidade destes carboidratos das forragens (VAN SOEST & WINE, 1968).

A degradabilidade das pectinas pelas bactérias intestinais de não ruminantes é quase que completa. As substâncias pécticas entre os polissacarídeos da parede celular vegetal são as que possuem maior importância no processo de retenção de água (EASTWOOD, 1992). Segundo FERREIRA (1994), a propriedade higroscópica das fibras vegetais constitui um dos aspectos relevantes para se explicar o volume e peso das fezes, assim como seu grau de viscosidade e sua relação com o trânsito da digesta.

HINTZ et al. (1971) salientaram que os cavalos digerem fibras com 60 a 70% da eficiência da digestão dos ruminantes. A menor digestão ocorre pelo fato dos eqüinos apresentarem a taxa de passagem da digesta mais rápida, ou seja, menor tempo de retenção da digesta no trato gastrintestinal, reduzindo, desta forma, a exposição do alimento à ação microbiana no intestino grosso (ÜDEN & VAN SOEST, 1982).

Segundo DROGOUL et al. (2001), a eficiência de utilização da fibra dietética pelos eqüinos está correlacionada com três principais fatores: a composição da dieta, especialmente a fração dos carboidratos, estruturais e não estruturais; a atividade fibrolítica do ecossistema microbiano; e a taxa de passagem de digesta pelo trato digestório, especialmente no compartimento fermentativo, sendo que o aumento da digestibilidade da fibra geralmente está associado ao aumento do tempo de retenção da digesta.

## **5. Análise da Fibra Dietética na Nutrição Animal**

A importância do conhecimento do valor nutritivo dos alimentos, assim como da utilização dos nutrientes na obtenção do máximo potencial produtivo e reprodutivo do animal é inquestionável.

A análise químico-bromatológica dos ingredientes é, sem dúvida, o primeiro passo para a avaliação das dietas. Existem vários métodos para a determinação da fibra e da qualidade dos alimentos, onde devemos avaliar as limitações do método a ser empregado em sua determinação. MERTENS et al. (1994) relata que o objetivo de se analisar qualquer alimento é o de detectar as diferenças nutricionais entre as fontes de alimentos para fornecer informações aos nutricionistas e, ainda, separar as frações digestíveis, não digestíveis, rapidamente digestíveis, etc.

### **5.1. Análise da fibra bruta**

O método gravimétrico analítico mais antigo para a determinação das frações que compõem a parede celular é o da fibra bruta padronizado por Henneberg & Stohmann em 1864 e nomeado com o nome do local onde trabalhavam que era a Estação Experimental de Weende (GIGER-REVERDIN, 1995).

O resíduo obtido após a digestão ácido-básica corresponde à fração indigestível do alimento, composta pela celulose, e por porções variáveis de polissacarídeos não celulósicos e lignina, parcialmente solubilizados durante a análise (EZEQUIEL & GALATI, 2005).

O método laboratorial para isolar a fibra bruta baseia-se no uso de ácidos e bases fortes com a finalidade de medir os componentes químicos da parede celular das plantas, não medindo de forma exata as hemiceluloses, lignina e celulose presentes na parede celular das plantas, pois a extração ácida remove o amido, açúcares, parte da pectina e hemiceluloses, enquanto a base forte remove proteínas, pectinas, hemiceluloses remanescentes e parte da lignina. Portanto, o valor obtido para o teor de fibra bruta não reflete na quantidade verdadeira da fração fibrosa do alimento.

A lignina solubilizada, em proporções variáveis, torna-se parte do extrato não nitrogenado, o qual deveria ser o componente mais digerível do alimento. Em função da inclusão das hemiceluloses e lignina nas frações do extrato não nitrogenado, a digestibilidade desta fração, principalmente nos alimentos volumosos, que supostamente contém os carboidratos facilmente digeridos, é menor que a digestibilidade da fibra bruta, que contém os constituintes da parede celular, não representando assim, uma boa estimativa das frações dos carboidratos solúveis e digestíveis (MERTENS, 2003).

### **5.2. Método de Van Soest para a determinação da qualidade das forrageiras**

O método de determinação da qualidade das forrageiras proposto por Van Soest baseia-se na separação das frações constituintes dos tecidos vegetais por meio de reagentes específicos, denominados detergentes.

Por meio do detergente neutro é possível separar o conteúdo celular, constituído principalmente por proteínas, lipídios, carboidratos solúveis, compostos não nitrogenados, minerais e outros constituintes solúveis em água dos constituintes da parede celular da planta composto basicamente por celulose, hemiceluloses e lignina. Através de detergente ácido é possível solubilizar o conteúdo celular, a hemiceluloses e os minerais solúveis.

A determinação da fibra em detergente neutro (FDN) baseia-se no método de determinação da qualidade das forrageiras proposto por VAN SOEST & WINE (1967) pela separação das diversas frações constituintes das forrageiras. Desde então, várias modificações na metodologia foram realizadas ao longo do tempo, devendo-se, portanto, tomar o cuidado ao se fazer comparação de valores.

O método original da fibra em detergente neutro (FDN) usa sulfito de sódio para remover proteínas contaminantes da FDN partindo ligações disulfídicas e dissolvendo muitas ligações de proteína. Atualmente, o uso de sulfito foi removido do procedimento devido a possíveis perdas da lignina e compostos fenólicos, no entanto, torna-se crucial para remoção de contaminações com nitrogênio em alimentos tratados com calor (VAN SOEST et al., 1991).

A fração fibra em detergente neutro (FDN) recupera os principais constituintes da parede celular, a celulose, hemiceluloses e lignina, com alguma contaminação por proteína, minerais e amido, podendo a contaminação com minerais variar de 0 a 4% na composição da FDN (WEISS, 1993). No entanto, a FDN é a melhor forma de estimar os principais componentes estruturais da parede celular, com exceção das substâncias pécicas, sendo o maior inconveniente do método a solubilização das pectinas e  $\beta$ -glucanas, que são substâncias frequentemente presentes na parede celular vegetal (FERREIRA, 2004). Segundo MERTENS (1992), a contaminação com proteína parece contrabalançar a perda da pectina imediatamente solúvel fazendo a FDN uma estimativa aceitável da parede celular.

O método original, no entanto, não remove adequadamente o amido em alguns alimentos como grãos e silagem de grãos, superestimando, desta forma, os valores da fibra em detergente neutro (FDN). Desta forma foi desenvolvida uma modificação da técnica, incluindo o uso da  $\alpha$ -amilase estável ao calor no procedimento e/ou uréia para remover o amido em amostras que contenham quantidades consideráveis de amido, reduzindo substancialmente essa contaminação e facilitando a filtração (VAN SOEST et al., 1991).

A determinação da fibra em detergente ácido (FDA) ou da lignocelulose foi desenvolvida para evitar a solubilização da lignina que ocorre no método da fibra bruta. VAN SOEST (1963) desenvolveu o método que não utiliza álcali para isolar a fibra, propondo um detergente ácido específico, a fim de solubilizar o conteúdo celular e as hemiceluloses, obtendo um conteúdo insolúvel em detergente ácido, denominado fibra em detergente ácido. Este método também pode ser usado como um passo preparatório para a determinação da lignina, celulose, nitrogênio insolúvel em detergente ácido, cinza insolúvel em detergente ácido e sílica (VAN SOEST et al., 1991).

A fibra em detergente ácido (FDA) isola, principalmente, a celulose e a lignina com contaminação de pectina, cinzas e compostos nitrogenados, principalmente os produzidos pela reação de Maillard, sendo estes resíduos a porção menos digerível pelos microrganismos presentes no trato digestório de alguns animais. Este método utiliza ácido sulfúrico a 1N para solubilizar açúcares, amido, hemiceluloses e o detergente para remover a proteína (MERTENS, 1992).

A extração ácida é usada para remover componentes não fibrosos minimizando as perdas de lignina, no entanto, não satisfaz a definição nutricional de fibra dietética porque as hemiceluloses solúveis em detergente ácido são removidas e a pectina que é um carboidrato rapidamente fermentável não é removido. A precipitação da pectina em ácido forte pode ser a razão pela qual, alguns alimentos que contêm alta quantidade de pectina apresentam resultados da fibra em detergente ácido (FDA) mais altos que a fibra em detergente neutro (FDN) (MERTENS, 2003).

Conhecendo-se a porcentagem da fibra em detergente neutro (FDN) e da fibra em detergente ácido (FDA) do material analisado, é possível calcular a fração de hemiceluloses, pela diferença entre estas duas frações.

A análise seqüencial estima a hemiceluloses e a celulose de uma forma mais exata que a análise não seqüencial da fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA), pois a FDN solubiliza a pectina e a FDA não, portanto, o teor de hemiceluloses estimado pela subtração da FDN e FDA seqüencial, terá um menor valor, pois a pectina é precipitada pela FDA. A sílica também apresenta efeito semelhante, sendo solúvel em detergente neutro e insolúvel em detergente ácido (VAN SOEST et al., 1991).

### **5.3 Fibra alimentar total (FAT)**

O conceito de polissacarídeos não amiláceos e fibra alimentar total surgiu com o interesse de se utilizar a fibra na alimentação humana, porque ambos incluem polissacarídeos resistentes a ação das enzimas digestivas dos mamíferos, essas frações são relevantes para animais monogástricos com fermentação no intestino grosso.

O método da fibra em detergente neutro (FDN) não recupera gomas, mucilagens,  $\beta$ -glucanas e pectinas, que são carboidratos resistentes às enzimas digestivas dos mamíferos, mas são rapidamente fermentáveis (VAN SOEST et al., 1991). Esses carboidratos são recuperados nas análises dos polissacarídeos não amiláceos e da fibra dietética total (HOFFMAN et al., 2001).

A análise dos polissacarídeos não amiláceos recupera a fibra insolúvel como celulose, hemiceluloses, e a fibra solúvel como pectina, gomas e mucilagens e alguns polissacarídeos, mas não recupera a lignina. A análise da fibra alimentar total é similar a dos polissacarídeos não amiláceos, mas incluem lignina e ligninocelulose, com atraso na taxa de fermentação (HALL, 1989).

Para eqüinos, os polissacarídeos não amiláceos podem não ser uma medida proveitosa como a fibra alimentar total porque a lignina está presente em maior proporção em alimentos para eqüinos que em dietas para humanos (HOFFMAN et al., 2001).

Metodologicamente, um dos métodos gravimétricos mais conhecidos para a determinação da fibra alimentar total é o descrito por PROSKY et al (1984 e 1985) que foi adotado pelo AOAC desde 1985, como parte dos procedimentos dessa análise, é feito o tratamento da amostra com etanol 80% para isolar o resíduo da fibra, ao contrário da fibra insolúvel em detergente neutro e da fibra bruta, a fibra alimentar corresponde a todos os componentes da parede celular.

Algumas modificações foram feitas para esclarecer alguns problemas e corrigi-los, resultando no método indicado pela AOAC (1995) para a avaliação da fibra total, insolúvel e solúvel (PROSKY et al. 1992). As enzimas básicas são: amilase, protease e amiloglucosidase. O resíduo resultante pode ser filtrado para obtenção da fibra insolúvel ou sofrer precipitação etanólica a fim de avaliar gravimetricamente a fibra total e/ou fibra solúvel, devidamente corrigidos para cinzas e proteínas.

Adicionalmente, a dependência da precipitação do etanol para a recuperação pode resultar em precipitação incompleta da fibra solúvel e co-precipitação de outros compostos orgânicos (MAÑAS & SAURA-CALIXTO, 1993).

O método enzimático-químico mais utilizado é o baseado em ENGLYST et al. (1982) onde os polissacarídeos não amiláceos são medidos após a conversão dos açúcares simples a ácidos urônicos. A primeira etapa deste método baseia-se na digestão enzimática do amido da amostra, seguindo a precipitação com etanol 80% para a separação da fração fibrosa, que é então hidrolisada com ácido sulfúrico, determinando-se os polissacarídeos não amiláceos e polissacarídeos não celulósicos. Os açúcares neutros são determinados por cromatografia líquido-gasosa ou líquida de alta resolução, e os ácidos urônicos são determinados por colorimetria. Os valores obtidos por este método não incluem a lignina, a qual deve ser determinada separadamente para se obter o valor real da fibra alimentar total.

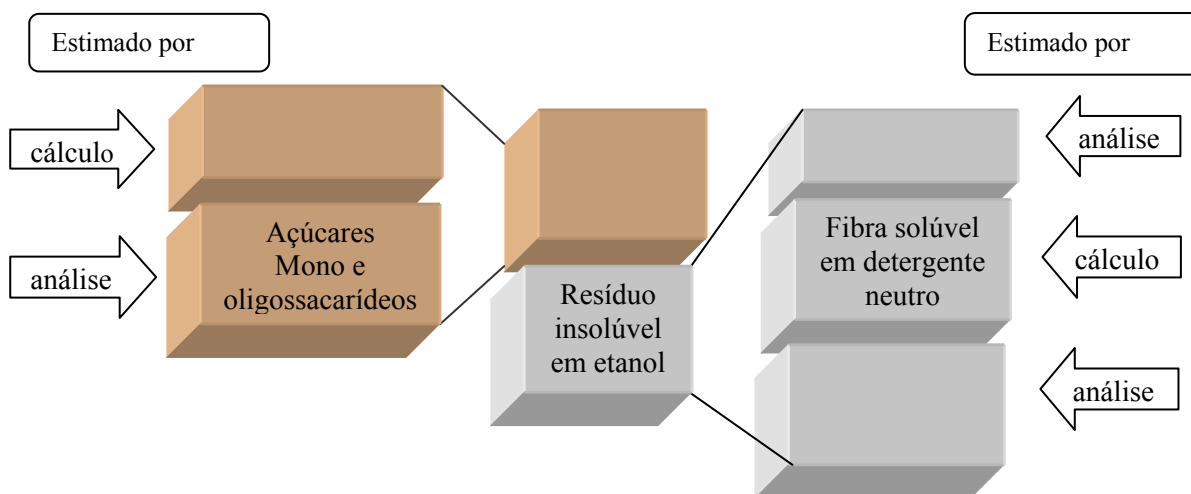
Através da fibra alimentar total podemos estimar eficientemente os componentes estruturais totais, porém não tem sido usado na nutrição de

ruminantes, pois são métodos mais onerosos e sofisticados e muitos demandam mais tempo que muitos dos métodos disponíveis.

#### 5.4 Fibra solúvel em detergente neutro

Fibra solúvel em detergente neutro é uma entidade nutricional composta por diversas frações dos alimentos e inclui os polissacarídeos não amiláceos e a fibra que não é retida pela análise da fibra em detergente neutro como as substâncias pécticas,  $\beta$ -glucanas, frutanas e gomas.

HALL et al. (1999) desenvolveram um sistema para partição de carboidratos solúveis em detergente neutro divididos em: ácido orgânico, mono e oligossacarídeos, amido e frações fibrosas solúveis. O sistema usa uma extração com 80% de etanol para separar açúcares e ácidos orgânicos de baixo peso molecular dos polissacarídeos (amido, fibra solúvel e fibra insolúvel) permanecendo estes no resíduo insolúvel em etanol. Os açúcares são medidos diretamente no extrato solúvel em etanol e o amido no resíduo insolúvel em etanol. Os ácidos orgânicos e carboidratos solúveis em detergente neutro, são as duas frações mais diversas, em termos de composição, e são calculados por diferença. O fracionamento dos carboidratos solúveis em etanol 80% está ilustrado na Figura 1.



**Figura 1.** Fracionamento dos carboidratos solúveis em detergente neutro (CSDN) com etanol 80%, análises diretas e estimativas calculadas (Adaptado de HALL, 2000; HALL et al., 2001).

**O cálculo dos ácidos orgânicos é feito pela seguinte fórmula:**

$$\text{Ácidos Orgânicos} = (\text{MO} - \text{PB}) - (\text{MOIE} - \text{PBIE}) - \text{EE} - \text{açúcares}$$

Onde: MO = matéria orgânica da amostra; PB = proteína bruta; MOIE = matéria orgânica insolúvel em etanol 80%; PBIE = proteína bruta insolúvel em etanol 80%; EE = extrato etéreo (HALL, 2000).

**O cálculo dos carboidratos solúveis em detergente neutro (CSDN) é feito pela seguinte fórmula:**

$$\text{CSDN} = (\text{MOIE} - \text{PBIE}) - (\text{MORDN} - \text{PBRDN}) - \text{AIE}$$

Onde: MO = matéria orgânica da amostra; PB = proteína bruta; MOIE = matéria orgânica insolúvel em etanol 80%; PBIE = proteína bruta insolúvel em etanol 80%; EE = extrato etéreo; MORDN = matéria orgânica insolúvel em detergente neutro; PBRDN = proteína bruta insolúvel em detergente neutro; AIE = amido insolúvel em etanol a 80% (HALL, 2000).

Este sistema de análise permite simultânea determinação do amido, fibra solúvel, e fibra insolúvel. Apesar dos constituintes terem boa repetibilidade e ser mais simples que o método da fibra dietética solúvel, a estimativa da fibra solúvel pela diferença eleva o potencial de erros inerente com correções para proteína com  $N \times 6,25$ , com a pressuposição incorreta que 6,25 é o correto multiplicador para todas as amostras (JONES, 1931, citado por HALL, 2003).

## **6. Análise das Frações dos Carboidratos não Fibrosos**

Os carboidratos são os principais constituintes das plantas forrageiras e correspondem de 50 a 80% da matéria seca das forragens e cereais, e podem ser agrupados em duas grandes categorias: carboidratos estruturais, que incluem os constituintes da parede celular; e carboidratos não estruturais que incluem os carboidratos presentes no conteúdo celular (VAN SOEST, 1994).

Os carboidratos não fibrosos apresentam disponibilidade nutricional rápida, completa e constante entre os alimentos, de 98 a 100%, enquanto os carboidratos fibrosos, como celulose e hemiceluloses, os quais juntamente com a lignina, compõem a parede celular vegetal, são lentamente digeridos apresentando disponibilidade nutricional variável ocupando espaço no trato gastrintestinal (VAN SOEST, 1967).

Quantitativamente, o carboidrato não fibroso mais importante dos alimentos é o amido, sendo o maior carboidrato de reserva na maioria das gramíneas, sementes de leguminosas e tecido vegetativo de gramíneas e leguminosas de clima tropical. Na maioria das gramíneas de clima temperado, os carboidratos de reserva presentes em maior quantidade são as frutanas, ocorrendo em menor proporção que o amido, especialmente no caule (NRC, 2007).

As frações dos carboidratos são definidas pelos métodos químicos ou enzimáticos utilizados nas análises, podendo ocorrer variações consideráveis associadas com a especificidade das enzimas utilizadas nas análises do amido e dos carboidratos não estruturais, que são constituídos pelos monossacarídeos, dissacarídeos, oligossacarídeos, amidos e frutanas (HALL, 2003).

O método mais usual para a determinação dos carboidratos não estruturais, que incluem os amidos, frutanas e açúcares nos tecidos das plantas é o método enzimático descrito por SMITH (1981), no qual utiliza-se alfa amilase comercial para hidrolisar dissacarídeos e amido a hexoses, sem que ocorra hidrólise das frutanas, estimando de forma mais precisa essa fração dos carboidratos (NRC, 2007).

Os carboidratos não estruturais são compostos pelos constituintes do conteúdo celular como amido, monossacarídeos, dissacarídeos, oligossacarídeos e frutanas. Já os carboidratos não fibrosos são compostos pelos constituintes do conteúdo celular e por componentes da parede celular como as substâncias pécticas  $\beta$ -glucanas e galactanas, diferindo assim os carboidratos não estruturais dos carboidratos não fibrosos pela inclusão de alguns componentes da parede celular, como substâncias pécticas, nos carboidratos não fibrosos. Diferindo assim, os carboidratos não estruturais dos carboidratos não fibrosos. Geralmente, o conteúdo de carboidratos não fibrosos nos alimentos é estimado pela subtração de 100% da matéria seca dos percentuais de proteína bruta, extrato etéreo, cinzas e fibra em detergente neutro. A limitação deste cálculo é que ele coloca todos os carboidratos solúveis em detergente neutro em um único grupo que inclui tanto carboidratos estruturais como a pectina quanto carboidratos não estruturais encontrados no conteúdo celular, uma vez que a pectina é solubilizada em solução de detergente neutro (HALL, 2001).

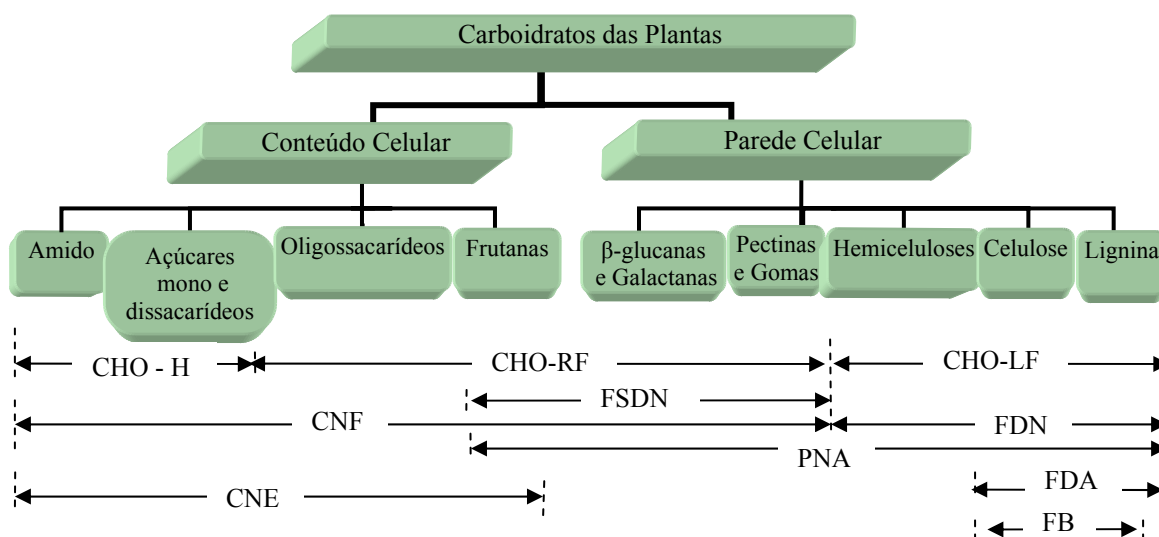
Segundo HALL (2003), uma forma de determinar as frações dietéticas da fibra é subdividindo-a em fração insolúvel, representada pelos carboidratos insolúveis em detergente neutro como a celulose e hemiceluloses e, em fração solúvel, composta por componentes solúveis em detergente neutro, que é a fração completamente disponível do alimento, correspondendo às frutanas, substâncias pécticas, galactanas,  $\beta$ -glucanas, ácidos orgânicos, monossacarídeos, oligossacarídeos, amido, e outros carboidratos que não as hemiceluloses e a celulose.

Entre os carboidratos não fibrosos, os monossacarídeos, maltose e o amido são digeridos pelas enzimas dos mamíferos, e a sacarose e lactose podem ser digeridas, mas com alguma variação nessa capacidade entre espécies e indivíduos. No entanto, os mamíferos e outros animais de estômago simples não possuem enzimas próprias para hidrolisar frutanas, ligações  $\beta$ -glucanas, substâncias pécticas e oligossacarídeos, então, estes carboidratos e outros polissacarídeos não amiláceos são designados para a categoria de

fibra dietética, que podem ser fermentados pelos microrganismos do intestino grosso para produzir produtos microbianos de valor nutricional para os animais (HALL, 2003).

HOFFMAN et al. (2001) propuseram um método de fracionamento dos carboidratos não fibrosos mais adequados à fisiologia digestiva de animais com fermentação no intestino grosso, dividindo-os em frações hidrolisáveis que produzem a glicose absorvida pelo intestino delgado, e fração dos carboidratos fermentáveis, que produzem principalmente acetato, propionato e butirato, oriundos da fermentação microbiana no intestino grosso, podendo ser subdivididos em fibras rapidamente fermentáveis e lentamente fermentáveis.

Os carboidratos hidrolisáveis incluem os amidos, monossacarídeos, dissacarídeos e alguns oligossacarídeos, sendo analisados diretamente pelo uso de uma  $\alpha$ -amilase comercial, que irá hidrolisar as ligações dos polissacarídeos e dos açúcares a unidades de glicose, que será quantificada por poder redutor. Esta fração difere da fração dos carboidratos solúveis em água quente por não incluírem as frutanas HOFFMAN et al. (2001)



**Figura 2.** Fracionamento dos carboidratos das plantas: CHO-H = carboidratos hidrolisáveis; CHO-RF = carboidratos rapidamente fermentáveis; CHO-LF = carboidratos lentamente fermentáveis; FSDN = fibra solúvel em detergente neutro; CNF = carboidratos não fibrosos; PNA = polissacarídeos não amiláceos; CNE = carboidratos não estruturais; FDN = fibra em detergente neutro; FDA = fibra em detergente ácido; FB = fibra bruta (Adaptado de HALL, 2003; NRC, 2007).

Os carboidratos rapidamente fermentáveis são calculados pela diferença entre os carboidratos não fibrosos, calculados pela subtração de 100% da matéria seca, dos percentuais da proteína bruta, extrato etéreo, matéria mineral e fibra em detergente neutro, e os carboidratos hidrolisáveis. Os

carboidratos lentamente fermentáveis são considerados como fibra em detergente neutro. O esquema do fracionamento dos carboidratos das plantas está ilustrado na Figura 2.

## 7. Considerações Finais

A quantidade e a composição dos carboidratos nos alimentos são grandemente variáveis, e a análise individual dos ingredientes das dietas torna-se o melhor método para estimar a composição dos carboidratos dos alimentos, pois análises como a fibra em detergente neutro (FDN) e carboidratos não fibrosos (CNF) são misturas heterogêneas de carboidratos que possuem variação na digestibilidade dos seus componentes.

Os carboidratos são extremamente importantes na dieta dos eqüinos, o conhecimento de suas frações e de suas características químicas e físicas nos alimentos permite a avaliação de sua qualidade e de seu valor nutricional, sendo importante no balanceamento de dietas para eqüinos, podendo prevenir certas desordens digestivas que acometem os eqüinos quando ingeridas grandes quantidades de carboidratos não fibrosos, influenciando na saúde do animal.

## Referências Bibliográficas

1. ARGENZIO, R.A.; LOWE, J.E.; PICKARD, D.W.; STEVENS, C.E. Digesta passage and water exchange in the equine large intestine. **American Journal of Physiology**, v. 226, p.1035-1042, 1974.
2. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. **Official methods of analysis**. 16. ed., Arlington: Patricia Cunniff., 1025p., 1995
3. BJÖRNHAG, G. Comparative aspects of digestion in the hindgut of mammals. The colonic separation mechanism (CSM). **Deutsche Tierärztliche Wochenschrift**, v.94, n.8, p.33-36, 1987.
4. COHEN, N.D.; P.G. GIBBS; WOODS, A.M.. Dietary and other management factors associated with colic in horses. **Journal of the American Veterinary Medical Association**, v.215, p.53-60, 1999.
5. CUDDEFORD, D. Starch Digestion in the Horse. In: **Advance on equine nutrition II**. Kentucky Equine Research, Inc., Versailles, Kentucky, USA, p.13-28, 2001.
6. CUNHA, T. J. **Horse feeding and nutrition**. 2 ed, Academic Press , 1991, 445p
7. DROGOUL, C.; DE FOMBELLE, A.; JULLIAND, V. Feeding and microbial disorders in horses: 2: effect of three hay:grain ratios on digesta passage rate and digestibility in ponies. **Journal of Equine Veterinary Science**. v. 21, n.10, p. 487-491. 2001.
8. DROGOUL, C.; PONCET, C; TISSERAND, J. L. Feeding ground and pelleted hay rather than chopped hay to ponies. 1. Consequences

- for in vivo digestibility and of passage de digesta. **Animal Feed Science and Technology**, v. 87, p.117-130, 2000.
9. EASTWOOD, M.A. The physiological effect of dietary fiber: an update. **Annual Review Nutrition**, v12, p.19-35, 1992.
  10. ENGLYST, H.N.; WIGGINS, H.S.E.; CUMMINGS, J.H. Determination of the non-starch polysaccharides in plant foods by gas-liquid chromatography of constituents sugar as alditol acetates. **Analyst**, v.107, n.1, p.307-318, 1982.
  11. EZEQUIEL, J.M.B.; GALATI, R.L. Qualidade da matéria prima e novos testes laboratoriais como instrumento de maximização da dieta balanceada. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. 42, 2005, Goiânia. Simpósio sobre Nutrição de Ruminantes, 2005, Goiânia. **Anais...** SBZ: Goiânia, p.296-321, 2005.
  12. FERREIRA, W. M. Os componentes da parede celular vegetal na nutrição de não-ruminantes. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 31, 1994, Maringá. Simpósio Internacional de Produção de Não-Ruminantes. **Anais...** SBZ: Maringá, p.85-113, 1994.
  13. GIGER-REVERDIN, S. Review of the main methods of cell wall estimation: interest and limits for ruminants. **Animal Feed Science and Technology**, v.55, n.4, p.295-334, 1995.
  14. HALL, M.B. Challenges with nonfiber carbohydrate methods. **Journal of Animal Science**, v.81, p.3226-3232, 2003.
  15. HALL, M.B. Neutral detergent-soluble carbohydrates: nutritional relevance and analysis, a laboratory manual. **Bulletin 339**, University of Florida, 2000.
  16. HALL, J. M. A review of total dietary fiber methodology. **Cereal Foods World**, v. 34, p.526-528, 1989.
  17. HALL, M.B.; HOOVER, W.H.; JENNINGS, J.P.; WEBSTER, M.T.K. A method for partitioning neutral detergent-soluble carbohydrates. **Journal of Science and Food Agriculture**, v.79, p.2079, 1999.
  18. HALL, M.B.; Recent advanced in non-NDF carbohydrates for the nutrition of lactating cows, In: Simpósio Internacional em Bovinos de Leite, 2001, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA-FAEPE, p.139-148, 2001.
  19. HINTZ, H. F.; HOGUE, D. E.; WALKER, E. F, LOWE, J. C.; SCHRYVER, N. F. Apparent digestion in various segments of the digestive tract of ponies fed diets with varying roughage – grain rations. **Journal of Animal Science**, v.32, n.2, p.245-248, 1971.
  20. HOFFMAN, R. M.; LAWRENCE, L. A.; KRONFELD, D. S.; COOPER, W. L.; SKLAN, D. J.; DASCANIO, J. J.; HARRIS, P. A. Dietary carbohydrates and fat influence radiographic bone mineral content of growing foals **Journal of Animal Science**, v.77, p.3330-3338, 1999.

21. HOFFMAN, R.M.; WILSON, J.A.; KRONFELD, D.S.; COOPER, W.L.; LAWRENCE, L. A.; SKLAN, D.; HARRIS, P.A. Hydrolyzable carbohydrates in pasture, hay, and horse feeds: direct assay and seasonal variation. **Journal of Animal Science**, v.79, p.500-506, 2001.
22. HUME, I.D.; SAKAGUCHI, E. Patterns of digesta flow and digestion in foregut and hindgut fermenters. In: T.Tsuda, Y. Sasaki and R. Kawashina (Ed.), **Physiological Aspects of Digestion and Metabolism in Ruminants**. Academic Press Inc., San Diego, USA, p.427-451, 1991.
23. KRONFELD, D. A practical method for ration evaluation and diet formulation: an introduction to sensitivity analysis In: **Advance on equine nutrition II**. Kentucky Equine Research, Inc., Versailles, Kentucky, USA, p.13-28, 2001.
24. MAÑAS, E.; SAURA-CALIXTO, F. Ethanol precipitation: source of error in dietary fiber determination. **Food Chemistry**, v.47, p.351, 1993.
25. MERTENS, D.R. Análise da fibra e sua utilização na avaliação de alimentos e formulação de rações. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 29, 1992, Lavras. Simpósio Internacional de Ruminantes. **Anais...**: SBZ, Lavras, p.188-219, 1992.
26. MERTENS, D.R. Challenges in measuring insoluble dietary fiber. **Journal of Animal Science**. v.81, p.3233-3249, 2003.
27. MERTENS, D.R., BRODERICK, G.A.; SIMONS, R. Efficacy of carbohydrate sources for improving utilization of N in alfalfa silage. **Journal of Dairy Science**, v. 77(Suppl. 1), p.240 (Abstr.).1994.
28. MEYER, H. **Alimentação de cavalos**. São Paulo: Livraria Varela, 1995, 303p.
29. NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrients requirements of horses**. Washington, D.C., 6. Ed., 2007. 341p.
30. PACIULLO, D. S. C. Características anatômicas relacionadas ao valor nutritivo de gramíneas forrageiras. **Ciência Rural**, v.32, n.2, p.357-364, 2002.
31. PAGAN, J. D. Forages for horses: more than just filler. In: **Advance on equine nutrition I**. Kentucky Equine Research, Inc., Versailles, Kentucky, USA, p.13-28, 2001a.
32. PAGAN, J.D. Carbohydrates in equine nutrition. In: **Advance on equine nutrition I**. Kentucky Equine Research, Inc., Versailles, Kentucky, USA, p.13-28, 2001b.
33. POTTER, G. D.; ARNOLD, F. F.; HOUSEHOLDER, D. D.; HANSEN, D. H.; BROWN, K. M. Digestion of starch in the small or large intestine of the equine. **Pferdeheilkunde**, v.1, p.107-111, 1992.
34. PROSKY, L. ; ASP, G. ; FURDA, I et al. Determination of total dietary fiber in foods, foods products and total diets: Interlaboratory

- Study. **Journal of Association of Analytical Chemistry**, v.67, n.6, p.1044-1052, 1984.
35. PROSKY, L.; ASP, G.; FURDA, I. et al. Determination of total dietary fiber in foods and food products: Collaborative Study. **Journal of Association of Analytical Chemistry**, v.68, n.4, p.677-679, 1985.
36. PROSKY, L.; ASP, G.N.; SCHEWEIZER, T.F. et al. Determination of insoluble, soluble and total dietary fiber in foods and food-products: Interlaboratory Study. **Journal of Association of Analytical Chemistry**, v.71, n.2, p.360-367, 1992.
37. SALIBA, E.O.S.; RODRIGUEZ, N.M.; GONÇALVES, L.C.; FARIA, E.P.; PILÓ-VELOSO, D. Caracterização microscópica da lignina dos resíduos agrícolas de milho e de soja submetidos à fermentação ruminal e seus efeitos sobre a digestibilidade da fibra. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.51, n.1, p.89-96, 1999a.
38. SALIBA, E.O.S.; RODRIGUEZ, N.M.; GONÇALVES, L.C.; FERNANDES, P.C.C. Efeito das ligninas dos resíduos agrícolas de milho e soja submetidos à fermentação ruminal sobre a digestibilidade da fibra. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. 36, 1999, Porto Alegre. Simpósio sobre Nutrição de Ruminantes, 1999, Porto Alegre. **Anais...** SBZ: Porto Alegre, p.296, 1999b.
39. SELLERS, A.F.; LOWE, J.E.; DROST, C.J.; RANDANO, V.T.; GEORGI, J.R.; ROBERTS, M.C. Retropropulsion-propulsion in equine large colon. **American Journal Veterinary Research**. v.43, p.390-396, 1982.
40. SLADE, L.M.; HINTZ, H.F. Comparison of digestion in horses, ponies, rabbits and guinea pigs. **Journal of Animal Science**, v.28, n.6, p.842-843, 1969.
41. SMITH, D. Removing and analyzing total nonstructural carbohydrates from plant tissue. Research Report R2107, University of Wisconsin, Madison, 1981.
42. SMOLDERS, E.A.A.; STEG, A.; HINDLE, V.A. Organic matter digestibility in horses and its prediction. **Journal Agricultural Science**, v. 38, p. 435-447, 1990.
43. TEIXEIRA, J.C.; ANDRADE, G.A. Carboidratos na alimentação de ruminantes. In: Simpósio de Forragicultura e Pastagem, 2, Lavras, 2001. **Anais...**: Lavras: UFLA-FAEPE, p.165-210, 2001.
44. TISSERAND, J.L. Non-ruminant herbivores; Part III. Horses and Rabbits. **Livestock Production Science**, v.19, p.279-288, 1988.
45. UDEN, P.; VAN SOEST, P.J. Comparative digestion of timothy (*Phleum pratense*) fibre by ruminants, equines and rabbits. **British Journal Nutrition**, v.47, n.2, p.267-272, 1982.
46. VAN SOEST, P. J. The use of detergents in the analysis of fibrous feeds II. A rapid method for the determination of fiber and

- lignin. **Journal of the Official Agricultural Chemist**, v.46, p.829–835, 1963.
47. VAN SOEST, P. J.; ROBERTSON J. P; LEWIS, B. A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, v.74, p.3583-3597, 1991.
  48. VAN SOEST, P.J. Development of a comprehensive system of feed analyses and its application to forages. **Journal of Animal Science**, v.26. p.119, 1967.
  49. VAN SOEST, P.J. **Nutritional Ecology of the Ruminant**. 2nd Edition. Ithaca, NewYork: Cornell University Press, 1994. 476p.
  50. VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B. **Analysis of forages and fibrous foods**. AS 613 Manual, Dep. Animal Science, Cornell University, Ithaca, NY, 1985. 202p.
  51. VAN SOEST, P.J.; WINE, R.H. Determination of lignina and cellulose in acid detergent fiber with permanganate. **Journal of Association of Agricultural Chemistry**, Washington, v.51, p.780-85, 1968.
  52. VAN SOEST, P.J.; WINE, R.H. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. IV Determination of plant cell-wall constituents. **Journal of the Official Agricultural Chemist**, v.50, p.50-55, 1967.
  53. WEISS, W.P. Predicting energy values of feeds. **Journal of Dairy Science**. V.76, p.1802, 1993
  54. WEYENBERG, S.V.; SALES, J.; JANSSENS, G.P.J. Passage rate of digesta through the equine gastrointestinal tract: a review. **Livestock science**, v. 99, p. 3-13, 2006.