

## Digestibilidade total, ileal e cecal e variação pós-prandial da glicemia em ratos alimentados com amido gelatinizado de mandioca

Gabriela Bicca da Silveira\*

Alexandre Campos da Silva\*\*

Eliomar Pereira do Socorro\*\*\*

Bruno Jean Adrien Paule\*\*\*\*

### Resumo

A digestibilidade total, ileal e cecal, a porcentagem de digesta chegando ao íleo e o valor de suas correlações com a glicose sanguínea são importantes informações para a estimativa do valor nutricional do amido e do regime alimentar do qual ele participa. Com o objetivo de determinar a digestibilidade total, ileal e cecal de um alimento e de seu amido, a porcentagem de digesta chegando ao íleo e a correlação entre esta e as variações da glicemia pós-prandial em ratos, nos mesmos intervalos de tempo, realizou-se um trabalho piloto com dez ratos Wistar alimentados com dieta composta de uma base protéica adicionada de amido gelatinizado de mandioca. Os resultados de digestibilidade total, ileal e cecal e a porcentagem de digesta chegando ao íleo foram obtidos pela análise das fezes e do conteúdo ileal e cecal com auxílio do  $Cr_2O_3$ . Nos mesmos intervalos de tempo (0, 30, 60, 90 e 120 minutos pós-prandiais), o sangue foi coletado e a dosagem de glicose foi obtida através de *kit* enzimático. Os resultados indicam uma alta correlação entre a porcentagem de digesta chegando ao íleo e a glicemia, bem como um alto valor de digestibilidade do amido gelatinizado de mandioca, condizendo com resultados de outros estudos de digestibilidade realizados com amidos gelatinizados.

**Palavras-chave:** Ratos. Mandioca. Digestibilidade. Glicemia.

### INTRODUÇÃO

A experimentação animal é tida como uma das questões éticas de maior repercussão no último século (LENOIR, 1995), fazendo com que a busca de métodos substitutivos para a viviseção animal sejam impostos, sobretudo para a

indústria de *pet foods* (SOCORRO, 1993). No entanto, o desenvolvimento científico ainda depende, em várias circunstâncias, deste tipo de experimento (PETROIANU, 1996).

A avaliação dos alimentos nos animais através da medida da digestibilidade total aparente é, muitas vezes, executada em animais de com-

---

\* M.S. Saúde Animal. Professora da Escola de Medicina Veterinária. Associação de Ensino e Cultura Pio Décimo. SE. Laboratório de Nutrição Animal (LANA)  
Departamento de Produção Animal  
Escola de Medicina Veterinária  
Universidade Federal da Bahia  
Av. Adhemar de Barros, 500 Ondina  
40.170-110 Salvador Bahia Brasil  
E-mail: lanavet@ufba.br

\*\* Médico Veterinário. Professor da Escola de Medicina Veterinária. Associação de Ensino e Cultura Pio Décimo. SE.

\*\*\* D.S. Nutrição Animal. Professora da Escola de Medicina Veterinária da UFBA.

\*\*\*\* M.S. Zootecnia. Doutorando. Programa de Pós-Graduação em Imunologia do Instituto de Ciências da Saúde. UFBA.

panhia pela quase ausência de críticas sociais à sua metodologia, mesmo que seu custo seja oneroso. Contudo, se esta medida é capaz de indicar o desaparecimento das frações do alimento no decorrer de sua passagem através do trato digestivo, não pode informar sobre o seu aproveitamento pelo organismo.

Alimentos com elevados teores de amido têm sido utilizados como forma de redução dos custos do fornecimento energético para carnívoros domésticos, especialmente cães, os quais utilizam, em última instância, a glicose como fonte quase exclusiva de energia (WOLTER, 1988).

No caso dos alimentos ricos em amido, além da inexistência de um método de determinação específico para esta fração (CHAMP, 1985), a influência do local sobre o produto final da digestão reduz o valor do coeficiente de digestibilidade total como forma de avaliação do valor nutricional do alimento que o contém (SOCORRO, 1993).

Ahlstrom e Skrede (1998) estudaram a digestibilidade em diferentes espécies, fazendo comparações entre cães, raposas, martas e ratos, enfocando o uso destas três últimas espécies como modelo de digestibilidade em cães. Não foram encontradas diferenças na digestibilidade da matéria seca entre ratos e cães, no entanto os cães apresentaram melhor capacidade de digestão de proteínas e gorduras; os carboidratos totais foram melhor digeridos em ratos, mas não houve diferenças na digestibilidade de amidos nas referidas espécies. Os autores sugeriram que, devido às diferenças dos valores de digestibilidade encontrados nas duas espécies, os ratos não seriam modelos adequados de digestibilidade em cães.

Por outro lado, o tipo de alimento, seu processamento e o quanto isto reflete na sua forma física levam a diferentes influências nas respostas glicêmica e insulinêmica aos carboidratos dietéticos (TOVAR; GRANFELDT; BJÖRCK, 1992; MUIR et al., 1995).

Holm e colaboradores (1988), estudando o grau de gelatinização do amido, sua digestão *in vitro* e respostas metabólicas em ratos, utili-

zaram o amido de trigo com diferentes graus de gelatinização. As respostas glicêmica e insulinêmica apresentaram correlação positiva com a hidrólise por alfa-amilase *in vitro*, o que sugere a importância do grau de gelatinização na digestibilidade e nas respostas metabólicas aos amidos.

A glicemia considerada fisiológica de ratos em jejum varia de 50 a 135 mg/dl (HARKNESS; WAGNER, 1993). O impacto provocado por um alimento específico na glicemia pós-prandial, comparativamente a um alimento referencial, é chamado índice glicêmico. Um alimento com alto índice glicêmico é aquele que provoca uma alta resposta imediata no nível de glicose sanguínea (PAIVA; LIMA; SOUSA, 1998).

Através da determinação da utilização do amido pelo animal, baseada na influência em seus níveis glicêmico e insulinêmico, pode-se fazer uma avaliação mais significativa da fração amilácea da dieta (WOLTER; SOCORRO; HOUDRÉ, 1998).

O trabalho teve por objetivos: pesquisar, em ratos, as possíveis correlações entre os valores de glicemia e a taxa de passagem ileal, nos mesmos intervalos de tempo; determinar os coeficientes de digestibilidade total, ileal e cecal; registrar os dados para estudo posterior de suas possíveis correlações com os obtidos em futuro experimento de tese a ser desenvolvido em cães, visando à substituição dos cães por ratos em ensaios que exijam a fistulação dos primeiros. Além disso, objetivou-se comparar as respostas glicêmicas dos animais anestesiados e não anestesiados no momento do sacrifício.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Animais

Foram utilizados 10 ratos da linhagem Wistar, adultos, machos, com a mesma idade, pesando entre 400,78 e 496,60 gramas (média: 443,11 gramas), instalados em gaiolas de metabolismo individuais, com dimensões descritas pelo Conselho Canadense de Proteção dos

Animais (C. C. P. A., 1984). Os demais procedimentos utilizados e o manejo dos animais obedeceram recomendações do Conselho Europeu (J. O. C. E., 1986) sobre a proteção dos animais utilizados para fins experimentais ou outros fins científicos. A temperatura ambiente foi mantida a 21°C.

### Alimentos

Os regimes foram elaborados a partir de uma mesma base protéica, comercializada em conserva, destinada a carnívoros (20% de matéria seca, 50% de proteína bruta na base seca e 6224,73 kcal/kg de MS). O fornecimento energético foi calculado segundo as necessidades de manutenção de cães — 132 Kcal (N. R. C., 1985) —, que suprem as exigências energéticas do rato de laboratório — 114 Kcal (N. R. C., 1995) —, de modo que 50% das necessidades energéticas dos animais fossem supridas pelo amido gelatinizado de mandioca (4074,05 kcal/kg de MS) em suas necessidades de proteína, minerais e vitaminas. O  $Cr_2O_3$  foi utilizado como indicador da fase sólida da digesta e das fezes, na concentração de 0,1% da matéria seca da dieta. O período de adaptação foi de dez dias, quando os ratos receberam uma dieta padronizada.

### Medições

Durante o período experimental, os animais receberam duas refeições ao dia, com intervalo de oito horas entre a primeira e a segunda (8:00h e 16:00h). Os restos foram pesados após uma hora da distribuição. As coletas das fezes foram realizadas uma vez ao dia, pela manhã, através de uma bandeja removível no assoalho da gaiola.

No sacrifício, utilizou-se anestesia por inalação com clorofórmio em cinco animais. Para que este parâmetro também pudesse ser analisado, os demais foram sacrificados por deslocamento cervical. Foram abatidos dois ratos por horário, com intervalo de trinta minutos entre cada dupla. A coleta de sangue aconteceu nos tempos 0, 30, 60, 90 e 120 minutos e proce-

deu-se à análise de glicemia por um método de glicose oxidase (Merck®, Darmstadt, Germany).

Os valores de digestibilidade total, ileal e cecal, assim como a taxa de passagem ileal com base na matéria seca, foram obtidos, após o sacrifício dos animais, a partir da coleta total das fezes e do conteúdo ileal e cecal nas secções respectivas nos mesmos intervalos de tempo da coleta sanguínea. As pesagens foram feitas em balança analítica (0,0001 g de precisão).

O cálculo da porcentagem de digesta chegando ao íleo de cada animal foi realizado com base na fórmula:

$$DCI = 100 - \left( \frac{I - R}{I} \right) \times 100$$

Onde: DCI = Porcentagem de digesta chegando ao íleo;

I = Quantidade de alimento ingerido (oferecido / rejeitado);

R = Quantidade de digesta intestinal recuperada.

O cálculo dos coeficientes de digestibilidade total, ileal e cecal do alimento foi realizado com base na fórmula

$$CD = 100 - \frac{(\%Cr_2O_3I \times \%ASAR)}{\%ASAI \times \%Cr_2O_3R}$$

Onde:  $\%Cr_2O_3I$  = Porcentagem de óxido crômico do alimento ingerido;

$\%ASAR$  = Porcentagem de digestas ou fezes recuperadas na base de amostra seca ao ar;

$\%ASAI$  = Porcentagem de alimento ingerido na base de amostra seca ao ar;

$\%Cr_2O_3R$  = Porcentagem de óxido crômico das digestas ou fezes recuperadas.

O cálculo dos coeficientes de digestibilidade total, ileal e cecal do alimento foi realizado com base na fórmula:

$$CD = 100 - \frac{(\%Cr_2O_3I \times \%ASAAR) \times \%ASAR}{(\%Cr_2O_3R \times \%ASAAI) \times \%ASAI}$$

Onde:  $\%Cr_2O_3I$  = Porcentagem de óxido crômico do alimento ingerido;

$\%ASAAR$  = Porcentagem de amido das digestas ou fezes recuperadas na base de amostra seca ao ar;

%ASAR = Porcentagem de digestas ou fezes recuperadas na base de amostra seca ao ar;

%Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>R = Porcentagem de óxido crômico das digestas ou fezes recuperadas;

%ASAAI = Porcentagem de amido do alimento ingerido na base de amostra seca ao ar;

%ASAI = Porcentagem de alimento ingerido na base de amostra seca ao ar.

Para descrever os comportamentos da resposta glicêmica e da porcentagem de digesta chegando ao íleo nos horários estudados, foi aplicado o modelo polinomial de segunda e terceira ordens, respectivamente.

Para a comparação das respostas glicêmicas dos animais anestesiados e não anestesiados, foi utilizado o teste t de Student (SAMPAIO, 1998).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os coeficientes de digestibilidade total, ileal e cecal da matéria seca (MS) e do amido do alimento são apresentados na Tabela 1. A determinação da digestibilidade ileal comparada à digestibilidade total permite avaliar a eficiência da digestão enzimática no intestino delgado.

TABELA 1  
Coeficientes de digestibilidade total, ileal e cecal do alimento e do amido na base de amostra seca ao ar

| Digestibilidade | Fração analítica             |                 |
|-----------------|------------------------------|-----------------|
|                 | CD da matéria seca ao ar (%) | CD do amido (%) |
| Total           | 96,75                        | 99,84           |
| Ileal           | 57,14                        | 95,91           |
| Cecal           | 95,81                        | 99,60           |

A digestibilidade total da matéria seca parece elevada relativamente aos coeficientes (em média de 80%) determinados para rações comerciais em cães (WOLTER, 1988) e o baixo coeficiente de digestibilidade ileal da matéria seca é consonante com os resultados obtidos por SCHIËNEMANN e colaboradores (1989) com dietas com elevados teores de amido de mandioca, milho e arroz, tendo como fonte protéica farinhas de carne ou de soja.

O elevado coeficiente de digestibilidade total do amido conseqüente de seu desaparecimento observado desde o íleo é certamente devido à boa acessibilidade enzimática conferida pela gelatinização do mesmo, como observado

por Jouglin, Racine e Wolter (1992) com os amidos de mandioca, milho, arroz e trigo; e por Singh e Smith (1997) com as farinhas de trigo e aveia. Esta alta digestibilidade ileal também o exclui como causa do deslocamento da digestão da MS para o ceco, como citado por Wolter, Socorro e Houdré (1998), referindo-se a dietas de elevado teor em amidos crus.

Os níveis de glicose encontrados no soro dos animais estão representados na Figura 1. A comparação da resposta glicêmica dos animais anestesiados e não anestesiados não indicou diferença estatística significativa ( $p < 0,05$ ), no entanto foi observada uma inversão nos valores obtidos nos tempos iniciais.

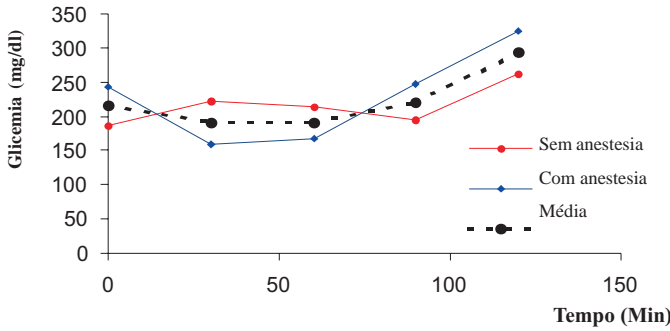


FIGURA 1 – Resposta glicêmica com e sem utilização de anestesia

A porcentagem de digesta chegando ao íleo em função dos tempos de coleta, a correlação entre a porcentagem de digesta chegando ao íleo

e a glicemia nos mesmos horários estão apresentadas na Figura 2.

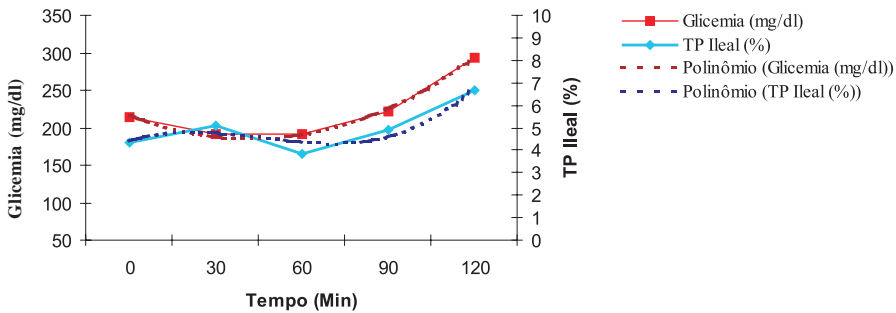


FIGURA 2 – Glicemia e taxa de passagem ileal

Para descrever os comportamentos da resposta glicêmica e da porcentagem de digesta chegando ao íleo nos horários estudados, foi aplicado o modelo polinomial, sendo que os que melhor se ajustaram foram os de segunda e terceira ordens, respectivamente.

Para a glicemia:

$$y = 15,964x^2 - 77,036x + 278$$

$$R^2 = 0,9943$$

Para porcentagem de digesta chegando ao íleo:

$$y = 0,2267x^3 - 1,7357x^2 + 3,9776x + 1,936$$

$$R^2 = 0,8911$$

Apesar das diferenças encontradas entre os modelos explicativos e os valores dos coeficientes das equações obtidas com os dados, uma relação entre a glicemia e a porcentagem de digesta chegando ao íleo foi confirmada pelo alto e significativo valor da correlação de Pearson determinada entre estes parâmetros ( $r = 0,87$  com  $p = 0,0514$ ).

Isso faz sentido ao se considerar que o aumento na glicemia dá-se num intervalo de tempo posterior à digestão da ingesta e, ao mesmo tempo, informa sobre a necessidade de um prolongamento do intervalo de tempo de coleta, visto que a resposta glicêmica encontrada ainda estava em ascensão, não sendo o intervalo sufi-

ciente para demonstrar seu pico, tampouco seu decréscimo.

Estes resultados justificam um futuro experimento com cães, com a recomendação de um aumento no número de intervalos de tempo de coleta.

## CONCLUSÕES

Considerando os resultados obtidos neste experimento, pode-se concluir que:

1) O coeficiente de digestibilidade do amido gelatinizado de mandioca em rato foi alto e equivalente a outros amidos gelatinizados de cereais.

2) Houve uma alta correlação positiva entre a porcentagem de digesta chegando ao íleo e a glicemia, conforme esperado.

3) Não foi encontrada influência significativa da anestesia sobre a glicemia.

## *Total, ileal and cecal digestibility and postprandial glycemia variation in rats fed with gelatinized cassava starch*

### *Abstract*

*The total, ileal e cecal digestibility, the percentage of digesta reaching the ileum, and the value of their correlation with the blood glucose are important pieces of information for estimating the nutritional value of both starch itself and starchy regimens. In order to determine the total, ileal e cecal digestibility of one type of meal and of its starch, the percentage of digesta reaching the ileum and the correlation between the latter and the postprandial glycemia variations in rats, at regular time spans, a pilot study was carried out with ten Wistar rats, fed with gelatinized cassava starch. The results of the total, ileal e cecal digestibility as well as the percentage of digesta reaching the ileum were obtained by analyzing both the feces and the ileal and cecal content by means of  $Cr_2O_3$ . At the same time spans (0, 30, 60, 90 e 120 minutes after meal), the blood was collected and the glucose dosage was estimated by using an enzymatic kit. The results indicate a high correlation between the percentage of digesta reaching the ileum and the glycemia, as well as a high value of digestibility of the gelatinized cassava starch, which is in agreement with other studies on digestibility using gelatinized starch.*

**Keywords:** Rats. Cassava. Digestibility. Glycemia.

## REFERÊNCIAS

AHLSTROM, O.; SKREDE, A. Comparative nutrient digestibility in dogs, blue foxes, mink and rats. **The Journal of Nutrition**, v.128, n.12, p.2676S-2677S, 1998.

C. C. P. A. Conceil Canadien de Protection des Animaux. **Manuel sur le soin et l'utilisation des animaux d'expérimentation**. Ottawa: C.C.P.A., 1984. v.2. cap. 21 - Les rats d'expérimentation, p.195-212.

CHAMP, M. Digestion des glucides chez les monogastriques. **Reproduction, Nutrition et Development**, v.25, p.819-842, 1985.

HARKNESS, J. E.; WAGNER, J. E. **Biologia e clínica de coelhos e roedores**. 3.ed. São Paulo: Roca, 1993.

HOLM, J. et al. Degree of starch gelatinization, digestion rate of starch "in vitro" and metabolic response in rats. **Am. J. Clin. Nutr.**, v.47, p.1010-1016, 1988.

JOUGLIN, M.; RACINE, B.; WOLTER, R. Digestibilité apparente de l'amidon chez le chien et contribution a l'étude de la digestibilité *in vitro* par une méthode enzymatique. **Recueil de Médecine Vétérinaire**, v.1968, n.5, p.355-361, 1992.

J. O. C. E. Directive C.C.E. 86/609/C.C.E. du 24 nov. 1986 concernant la protection des animaux utilisés à des fins expérimentales ou à d'autres fins scientifiques. **Journal Officiel du Conseil de l'Europe**, 18 déc. 1986.

LENOIR, N. CONF/93/4 - Doc. Inf.1 de 3 janv. 1995. In: **Sessões do Comitê de Bioética da UNESCO**. Disponível em <<http://www.unesco.org/ethics/fr/vivant/prg/enjeu/intro.html>>. Acesso em: 21 fev. 2002.

MUIR, J. G. et al. Food processing and maize variety affects amounts of starch escaping digestion in the small intestine. **Am. J. Clin. Nutr.**, v.61, p.82-89, 1995.

N. R. C. National Research Council. **National Academy of Science. Nutrient requirements of dogs**. Washington: National Academy Press, 1985. 84p.

N. R. C. National Research Council. National Academy of Science. **Nutrient requirements of laboratory animals**. 4<sup>th</sup> ed. Washington: National Academy Press, 1995. 192p.

PAIVA, M. F. B.; LIMA, D. F.; SOUSA, J. M. A. Avaliação da resposta glicêmica ao cuscuz, em humanos saudáveis. **Higiene Alimentar**, v.57, n.12, p.32-35, 1998.

PETROIANU, A. Aspectos éticos na pesquisa em animais. **Acta Cirúrgica Brasileira**, v.11, n.3, p.157-164, 1996.

SAMPAIO, I. B. M. **Estatística aplicada à experimentação animal**. Belo Horizonte: Fundação de Ensino e Pesquisa em Medicina Veterinária e Zootecnia, 1998.

SCHIENEMANN, H. et al. Precaecal et postileal digestibility of various starches, and pH values and organic acid content of digesta and faeces. **Advances in Animal Physiology and Nutrition**, v.19, p.44-58, 1989.

SINGH, N.; SMITH, A. C. A comparison of wheat starch, whole wheat meal and oat flour in the extrusion cooking process. **J. Food Engng.**, v.34, n.1, p.5-32, 1997.

SOCORRO, E. P. **Digestibilité totale et iléale d'aliments a haute teneur en amidons de blé et de manioc chez les chiens**. 1993. Thèse. Institut National Agronomique, Paris-Grignon.

TOVAR J.; GRANFELDT, Y.; BJÖRCK, M. Effects of processing on blood glucose and insulin responses to starch in legumes. **J. Agric. Food. Chem.**, v.40, p.1846-1851, 1992.

WOLTER, R. **Dietetique du chien et du chat**. Paris: Masson, 1988. 253p.

WOLTER, R.; SOCORRO, E. P.; HOUDRÉ, C. Digestibilité totale et iléale d'aliments à haute teneur en amidons de blé ou de manioc chez le chien. **Recueil de Medecine Vétérinaire**, Paris, v.5-6, n.174, p.45-55, 1998.

## Agradecimentos

Às Sr<sup>as</sup> Nicole Henry e Maggy Jouglin e ao Sr. Valette pela valiosa colaboração.