Universidade Estadual de Campinas

Faculdade de Engenharia de Alimentos

Parecer

Este exemplar corresponde a redação final da tese defendida por Dorivaldo da Silva Raupp e aprovada pela Comissão Julgadora em 19.09.94.

CARACTERIZAÇÃO NUTRICIONAL DA FIBRA ALIMENTAR SOLÚVEL E INSOLÚVEL DO FEIJÃO "CARIOCA 80 SH" EM DIETAS EXPERIMENTAIS COM RATOS.

DORIVALDO DA SILVA RAUPP

(Farmac. Bioquímico - Tecnól. Alimentos)

Orientador: Prof. Tit. Dr. Valdemiro Carlos Sgarbieri

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas para obtenção do Título de Doutor em Ciências da Nutrição.

1994

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Valdemiro Carlos Sgarbieri
(Orientador)

Prof. Dr. Felix Guillermo Reyes Reyes
(membro)

Prof. Dr. Jaime Amaya Farfán
(membro)

Prof. Dr. José Fernando Durigan
(membro)

Prof. Dr. Jorge Mancini Filho
(membro)

Profa. Dra. Débora de Queiróz Tavares
(membro)

Profa. Dra. Maria Antonia Martins Galeazzi
(membro)

Campinas, 19 de abril de 1994.

A CRISTO pelo presente da vida.

A minha esposa Eliane,

filhos Henrique e Mauricio,

e meus pais.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Valdemiro Carlos Sgarbieri, pela sua dedicada orientação neste trabalho e amizade.

Aos pós-graduandos e funcionários dos laboratórios de bioquímica nutricional e de ensaios biológicos, pelo apoio amigo.

Aos amigos, Marcio C. Ferraz, por ensinar o uso do software estatístico, e Prof. Gabriel F. da Silva do Departamento de Engenharia Química/UFS, por ensinar o uso do software redator.

A Universidade Federal de Sergipe, pelo fornecimento das cópias deste trabalho.

Aos amigos da turma de Campinas/SP, com os quais convivi por longo tempo, e aos colegas do Departamento de Engenharia Química/UFS, pelo incentivo constante.

E ao CNPq, pela concessão da bolsa de pesquisa.

ÍNDICE

RESUMO vii

ABSTRACT x

INTRODUÇÃO 1

REVISÃO DA LITERATURA 3

1. Caracterização química do feijão *Phaseolus vulgaris* 3

2. Fibra alimentar 5

2.1. Conceituação, componentes e determinação da fibra alimentar 5

2.2. Isolamento e caracterização de frações e componentes fibrosos do feijão 13

2.3. Propriedades físicas, químicas e fisiológicas da fibra 20

Hidratabilidade e gelificação 21

Adsorção e troca catiônica 22

Fermentabilidade intestinal 24

Atividade motora gastro-intestinal 27

2.4. Efeito da fibra na prevenção de doenças gastro-intestinais, cardiovasculares e das mamas 30

2.5. Propriedades nutricionais da fibra 36

2.6. Recomendação alimentar em fibra 48

MATERIAL E MÉTODOS 51

1. Reagentes 51

2. Fontes de fibra 51

Grãos integrais de feijão 51

Celulose de alta pureza 52

3. Procedimentos para obtenção das frações de fibra.. 52

4. Determinações analíticas 58

Umidade 58

Minerais (Cinzas) 58

Lipídios (Extrato etéreo) 59

Proteínas (%N x 6,25) 59

Celulose e lignina 60

Resíduo da hidrólise com glicoamilase 60

Fibra alimentar 61

5. Ensaios biológicos 62

Material e animais para os ensaios 62

Preparo das dietas teste e padrão 62

Procedimento de ensaio 63

Parâmetros avaliados nos ensaios 71

Ingesta alimentar 71

Ingesta de um componente na dieta e sua excreção nas fezes e na urina 71

Taxa da ingesta alimentar excretada como resíduo fecal 72

Digestibilidade aparente da proteína e da matéria orgânica não-nitrogenada 72

Taxa de absorção em minerais 73
Valor biológico aparente da proteína 73
Utilização biológica líquida aparente da proteína 74
6. Análise estatística 74
RESULTADOS E DISCUSSÃO 75
1. Caracterização química e rendimento das frações fibrosas, e caracterização química da fibra padrão 75
2. Ensaios biológicos 81
Ganho em peso dos animais 98
Ingesta, excreta fecal e hidrólise intestinal dos componentes da fonte fibrosa 100
Balanço de nitrogênio, balanço enterogástrico dos minerais e da matéria orgânica não-nitrogenada 113
CONCLUSÕES 123
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 127

RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo estudar a composição química e algumas das propriedades nutricionais dos componentes hidrossolúveis e insolúveis da fibra alimentar do feijão, *Phaseolus vulgaris*, "Carioca 80 SH". Os grãos integrais do feijão "Carioca 80 SH" apresentaram conteúdo total de fibra alimentar estimado, pelo método de Schweizer e Würsch, em 17,05 % do peso seco, sendo 6,00 % de fração solúvel e 11,05 % de fração insolúvel. Uma fração polissacarídea fibrosa, apresentando altas hidratabilidade e viscosidade, foi extraída dos grãos integrais, através da solução aquosa contendo o ácido tricloroacético, e foi estimada em cerca de 4,0 % (Fração VI) do peso seco, dos quais, 2,5 % eram fibra alimentar solúvel (Fração VII). Os polissacarídeos solúveis da fibra alimentar (Fração VII) foram degradados, no mínimo em 65,0 %, pelo trato gastro-intestinal de ratos, aparentemente por fermentação microbiana. Enquanto que a fibra padrão de celulose, ao contrário, foi degradada em grau reduzido. Um grau mínimo de hidrólise de aproximadamente 9,0 % foi determinado para a celulose (padrão) ingerida. Em alguns dos parâmetros nutricionais avaliados em ensaios com ratos, os componentes

solúveis e os insolúveis da fibra tiveram efeitos diferenciados. A ingesta dos ratos alimentados com dieta contendo a Fração VI ou VII, com altas hidratabilidade e viscosidade, foi entre 15,6 a 29,5 % menor ($p<0,05$) do que a dos ratos em dietas contendo celulose, utilizada como referência. O peso seco das fezes, tanto em valor absoluto (g de resíduo fecal) como em taxa de excreção da dieta (TexRF, em %), e o volume das mesmas, foram menores ($p<0,05$) também naqueles ratos. A TexRF foi 23,0-63,9 % menor ($p<0,05$) nos ratos alimentados com as frações altamente hidratáveis e viscosas. Os ratos em dieta contendo a Fração VI ou VII, com altas hidratabilidade e viscosidade, tiveram dificuldades para defecar. A Fração VII, fibra alimentar solúvel com altas hidratabilidade e viscosidade, resultou em menor ($p<0,05$) digestibilidade aparente para a proteína e menor ($p<0,05$) taxa de absorção intestinal para os minerais da dieta, comparada ao padrão de celulose. O acréscimo de celulose (padrão) de 3 % para 9 %, em substituição ao amido, nas dietas experimentais isoprotéicas e que tinham a caseína como fonte primária de proteína diminuiu significativamente ($p<0,05$), em 8,6 %, o grau de retenção protéica, tanto da caseína ingerida (NPUa) como da absorvida (VBaP), mas, não teve qualquer efeito característico no grau de digestibilidade aparente da caseína. Porém, quando se incorporou à dieta a fibra de celulose (padrão) de maior densidade (após tratamento térmico), ocorreu diminuição significativa ($p<0,05$) no grau de digestibilidade (2,0 %) e

no grau de retenção (3,8 %) da caseína ingerida. Os resultados do balanço de nitrogênio não foram consistentes o suficiente para estabelecer se os componentes solúveis ou os insolúveis da fibra alimentar do feijão "Carioca 80 SH" afetaram o grau de utilização, pelo organismo dos ratos, da caseína da dieta.

ABSTRACT

The present work had as a goal the study of the chemical composition and some nutritional properties of water soluble and insoluble components of the dietary fiber from beans *Phaseolus vulgaris*, cultivar "Carioca 80 SH". The soluble, insoluble and total dietary fiber yield (dry matter), by the enzymatic digestion *in vitro* (Schweizer and Würsch method), was 6.00 %, 11.05 % and 17.05 %, respectively. A trichloroacetic soluble polysaccharide fraction, with high hydration and viscosity capacity, was isolated from the "Carioca 80 SH" bean, and yielded 4.0 % (Fraction VI), dry matter, in which 2.5 % were soluble dietary fiber (Fraction VII). The soluble polysaccharides of the dietary fiber (Fraction VII) was degraded within the rat bowel, at least, to the extent of 65.0 %, apparently by bacterial degradation. The standard fiber (cellulose), however, showed small degradation at all in the digestive tract. For the standard cellulose intake a degradation of about 9 % was determined. The soluble and insoluble fibrous components affected differently some of the nutritional parameters determined in experiments with rats. The dietary intakes were 15.6-29.5 % less ($p<0.05$) in rats fed with the highly hydrated and viscous soluble fiber than in the rats

fed cellulose (standard) at the same concentration. The fecal residue, measured in absolute value (dry weight of fecal residue) and excretion ratio, and the fecal bulk, also were less ($p<0.05$) in rats fed the fiber source with high hydration and viscosity capacity than in rats fed the cellulose (standard). The ratios of excretion were 23.0-63.9 % less ($p<0,05$) in rats fed the highly hydrated and viscous fiber. The rats fed the Fraction VI or the Fraction VII, highly hydrated and viscous, of "Carioca 80 SH" bean had difficulties to eliminate feces. The Fraction VII, soluble dietary fiber with high hydration and viscosity capacity, as compared to the cellulose (standard fiber), resulted in less ($p<0.05$) apparent protein digestibility and mineral absorption ratio. Increasing cellulose (standard) in the diets from 3 % up to 9 %, in place of the starch and having casein as the primary source of protein, resulted in a significant decrease ($p<0.05$) of 8.6 % in either the ingested protein retention or the absorbed protein ratio. However, such increase did not cause any characteristic effect on the apparent protein digestibility. The change of low density cellulose into a higher density cellulose (after thermal treatment) decreased significantly ($p<0.05$) the digestibility and the retention of ingested protein by 2.0 % and 3.8 %, respectively. The results of the nitrogen balance were not consistent enough to ascertain if the soluble and insoluble components of the dietary fiber of the "Carioca 80 SH" bean affected the utilization of the casein by the rat.

INTRODUÇÃO

O feijão é um alimento básico e característico da dieta de quase toda família brasileira, e, especialmente para a maioria da população de baixa renda é uma das principais fontes alimentares protéico-calórica e de alguns minerais como o ferro e o cálcio. Os grãos de feijão *Phaseolus vulgaris* "Carioca 80 SH" apresentam conteúdo considerável em proteínas e carboidratos, ambos perfazendo conjuntamente cerca de 94,0 %, em base seca, do total dos grãos. O conteúdo em lipídios estimado em aproximadamente 1,5 % é considerado como muito baixo, e o conteúdo em minerais como adequado para alimento humano, especificamente como fonte de ferro e de cálcio.

Na maioria das investigações científicas do feijão tem sido dispensada maior atenção às proteínas, com o objetivo de se obter melhor conhecimento sobre sua composição química e propriedades físicas, tóxicas e nutricionais.

A fibra alimentar desta leguminosa, por suas propriedades nutricionais e fisiológicas, passou a receber maior atenção nas pesquisas, principalmente, a partir das últimas duas décadas. O efeito benéfico da fibra alimentar em animais de laboratório e em humanos na prevenção e

atenuação de algumas doenças gastro-intestinais e de outras doenças crônicas e/ou degenerativas, tem sido demonstrado, desde então. As propriedades nutricionais da fibra também têm sido objeto de investigação. Contudo, a elucidação de uma possível interferência dos componentes fibrosos do feijão nos demais constituintes da dieta, se faz necessária.

Os oligossacarídeos, que representam 3,1-3,5 % dos grãos de feijão, não são digeridos pelas enzimas do suco gastro-intestinal dos animais não-ruminantes, mas, sofrem fermentação microbiana intestinal com produção de gases.

Polissacarídeos constituintes da fibra alimentar, hidrossolúveis e insolúveis, têm sido isolados dos grãos de alguns cereais e de algumas leguminosas, incluindo o feijão. Embora algumas de suas propriedades físicas e químicas tenham sido caracterizadas, as nutricionais e fisiológicas ainda não foram convenientemente estudadas.

Este trabalho teve como proposta, estudar a composição química e algumas das propriedades nutricionais dos componentes das frações, hidrossolúvel e insolúvel, da fibra alimentar, isoladas de grãos de feijão, *Phaseolus vulgaris*, "Carioca 80 SH". Como propriedades nutricionais da fibra foram avaliados os seus efeitos no balanço metabólico aparente do nitrogênio, no balanço enterogástrico dos minerais e da matéria orgânica não-nitrogenada, na ingesta e na excreção fecal, em ratos. Foi avaliada também a ocorrência de degradação da fibra alimentar, no trato digestivo dos animais.

REVISÃO DA LITERATURA

1. Caracterização química do feijão *Phaseolus vulgaris*

Moraes e Angelucci (1971) determinaram a composição química centesimal, em base úmida, para doze cultivares de feijão, *Phaseolus vulgaris*, comumente encontrados no Brasil. A variação no conteúdo de proteína foi de 21,50 a 28,30 %, no de cinzas de 3,20 a 4,04 %, no de lipídios de 0,35 a 1,99 %, no de açúcares solúveis de 5,20 a 8,67 %, no de amido de 34,00 a 44,70 %, no de fibra bruta de 3,52 a 5,09 % e no de pentosanas de 5,68 a 12,70 %. No cultivar "Carioca" foi quantificado 22,60 % de proteína, 3,52 % de cinzas, 1,44 % de lipídios, 5,34 % de açúcares solúveis, 44,70 % de amido, 3,52 % de fibra bruta e 7,21 % de pentosanas.

Sgarbieri e colab. (1979) também determinaram a composição centesimal, em base seca, de quatro cultivares de feijão, *Ph. vulgaris*, consumidos pela população brasileira. Estes autores concluiram que as diferenças na composição bruta, entre os cultivares, por serem mínimas não sugeriam qualquer diferença nutricional significativa entre os cultivares. Contudo, ao avaliarem a qualidade das proteínas, através de parâmetros biológicos, verificaram que

os quatro cultivares diferiram nutricionalmente, sendo o "Rosinha G2" e o "Carioca", os com mais baixo valor nutricional.

Com base nos dados da composição química centesimal conclui-se que os diversos cultivares de feijão, comumente comercializados no Brasil, são boas fontes, quantitativas, de proteína, de carboidratos e de minerais, contudo, apresentam baixo conteúdo de lipídios.

O feijão tem sido recomendado como fonte alimentar de ferro, para indivíduos anêmicos, lactantes e crianças em desenvolvimento. A avaliação da biodisponibilidade do ferro em feijões, *Ph. vulgaris*, foi realizada por Sgarbieri e colab. (1979) e, mais recentemente, por Cabral (1990).

O amido, principal carboidrato do ponto de vista quantitativo (Patil et alii, 1975; Eastwood, 1973) do feijão *Ph. vulgaris*, tem sido pouco estudado quanto às suas propriedades de digestibilidade e valor calórico na forma de calorias metabolizáveis. O amido de feijões parece ser menos digerível que o de cereais, e ainda, parece interferir diminuindo a eficiência da utilização biológica da proteína da dieta (Susheelamma & Rao, 1979; Fincher & Stone, 1974; Devi & Kurup, 1972; Cole, 1967).

A fibra do feijão, determinada como fibra bruta e pentosanas, representa uma fração considerável. Métodos mais recentes, quando usados para quantificar, em peso seco, a fibra alimentar em feijões, *Ph. vulgaris*, detectaram no cultivar "White" 19,8 %, no "Kidney" 21,5 %, no "Runner"

26,4 %, no "French" 30,4 % e no "Red" 15,6 % (Cummings & Englyst, 1987; Olson et alii, 1987; Becker et alii, 1986; Southgate, 1978).

2. Fibra alimentar

2.1. Conceituação, componentes e determinação da fibra alimentar

O termo "fibra alimentar" (dietary fiber) vem sendo, ultimamente, aplicado na literatura específica, para se referir à fibra de um alimento. Não muito raramente, os termos "fibra dietária", "fibra da dieta" e "fibra dietética" também têm sido utilizados, embora o último seja considerado, por alguns autores, como impróprio (Cavalcanti, 1989). No presente trabalho a tradução "fibra alimentar" foi aplicada com igual significado do termo "dietary fiber" para se referir à fibra do alimento.

A fibra de um alimento tem sido, tradicionalmente, considerada como a matéria estrutural de vegetais (Eastwood, 1973; Van Soest & McQueen, 1973) recuperada pelo procedimento analítico da AOAC (1984) como fibra bruta, ou seja, o resíduo resultante da extração sequencial do alimento com éter, ácido e álcali diluído. Segundo Van Soest (1978a) o método da AOAC não recupera toda a matéria estrutural da planta, sendo portanto, ineficiente para determinar o total dos componentes estruturais.

Outros métodos analíticos utilizando somente reagentes químicos ou a combinação de procedimentos químicos com algumas enzimas proteolíticas e amilolíticas têm sido propostos, e embora não sejam eficientes para determinar o conteúdo total da fibra alimentar, mostraram-se mais acurados para determinar os componentes estruturais fibrosos dos vegetais. Dentre estes, o método com detergente neutro, proposto por Van Soest e McQueen (1973), e também, pela AOAC (1984), tem sido um dos mais aplicados.

Os componentes insolúveis fibrosos de natureza carboidrática, como a celulose e algumas hemiceluloses, bem como a lignina, um constituinte fenólico da fibra alimentar, têm sido, segundo Schneeman (1986), Van Soest (1978a) e Van Soest e McQueen (1973), parcialmente quantificados pelos procedimentos analíticos convencionais publicados pela Association of Official Analytical Chemists (AOAC) até 1984. Ainda, os componentes solúveis (Olson et alii, 1987) da fibra alimentar, como algumas hemiceluloses, as substâncias pécticas, as gomas, as mucilagens, os polissacarídeos das algas e os oligossacarídeos indigeríveis, não foram ou foram muito pouco quantificados por esses procedimentos analíticos.

Assim, os dados obtidos pelos procedimentos oficiais da AOAC até 1984 não representam com fidelidade a fibra estrutural dos vegetais, e menos ainda a fibra alimentar, ingerida com o alimento. A despeito disso, algumas publicações científicas utilizam o termo "fibra" erroneamente,

pois, referem-se à celulose ou ao conjunto, celulose, hemicelulose e lignina, como se fossem os únicos componentes fibrosos do alimento.

Durante muito tempo, o termo "fibra alimentar" foi aplicado indiscriminadamente para se referir à fibra dos alimentos. Alguns usaram este termo para indicar o conteúdo de celulose ou a combinação de celulose, hemicelulose e lignina; outros, para indicar, unicamente, o material da parede celular vegetal ou o resíduo vegetal resistente à hidrólise pelas enzimas digestivas dos mamíferos ou os carboidratos indigeríveis pelas enzimas do suco digestivo dos animais; e, ainda outros, para se referir aos polissacarídeos e lignina de vegetais, resistentes à digestão pelas enzimas do suco gastro-intestinal humano (Bingham, 1987; Olson et alii, 1987; Schneeman, 1986; Theander & Westerlund, 1986; Southgate, 1978; Tobin & Carpenter, 1978; Trowell, 1978; Van Soest, 1978b; Eastwood, 1973; Van Soest & McQueen, 1973).

Todas estas definições para fibra alimentar não incluiram os oligossacarídeos rafinose, estaquiose e verbascose existentes, principalmente, em algumas leguminosas, e que, são igualmente indigeríveis pelas enzimas dos sucos gastro-intestinal do homem. Em feijões, esses oligossacarídeos são responsáveis, pelo menos parcialmente, pela sua flatulência aos humanos. A rafinose, a estaquiose e a verbascose são os principais oligossacarídeos do feijão, *Ph. vulgaris*, e têm seus

conteúdos estimados (Sathe et alii, 1984), em base seca, em 0,30-0,63 %, 2,30-3,26 % e 0,13-0,15 %, respectivamente.

Também, nas definições citadas não foram incluídos como fibra alimentar, com exceção da lignina, os componentes de natureza não-carboidrática e indigeríveis pelas enzimas gastro-intestinais.

Ultimamente, a fibra alimentar tem sido definida como todo resíduo alimentar resistente à digestão pelas enzimas gastro-intestinais ou à hidrólise pelas enzimas de origem microbianas e/ou vegetais, ou ainda, à combinação destes três procedimentos hidrolíticos. Diversos métodos enzimáticos *in vitro*, utilizando estes conceitos, também têm sido propostos por vários pesquisadores para quantificar o total da fibra alimentar, incluindo os componentes fibrosos solúveis de natureza carboidrática dos alimentos, como em Olson e colab. (1987), Becker e colab. (1986), Theander e Westerlund (1986), Prosky e colab. (1985/84), Schweizer e Würsch (1979), Southgate (1978), Furda (1977) e Hellendoorn e colab. (1975).

Apesar de não se ter alcançado, ainda, uma determinação acurada para o conteúdo total de fibras alimentícias, pois algumas subestimam, enquanto outras superestimam, o método de Prosky e colab. (1985) tem sido recomendado, por ter mostrado reprodutibilidade aceitável. Entretanto, sua eficácia para quantificar a fibra alimentar do feijão e de frutas não foi comprovada. Esse método não utiliza as enzimas gastro-intestinais, mas, as de origem microbiana,

como a termamyl, uma alfa-amilase estável ao calor; a amiloglicosidase; e a protease. O Quadro 1 mostra o conteúdo médio de fibra alimentar para alguns alimentos, determinado por esse método, e a reprodutibilidade.

O conteúdo de fibra alimentar e de suas frações, solúvel e insolúvel, em duas variedades de feijão *Ph. vulgaris*, e em outros alimentos é mostrado no Quadro 2, e foi obtido do trabalho de Becker e colab. (1986). Este conteúdo de fibra foi determinado através do método de Berlin (Olson et alii, 1987), que utiliza a enzima amiloglicosidase para hidrólise do amido e a pancreatina, complementada com mais tripsina, para hidrolisar os demais componentes alimentícios.

Apesar da tentativa de se uniformizar as diferentes definições e os diferentes métodos, aplicados à fibra alimentar, as divergências ainda persistem.

Com base na solubilidade em água, a fibra alimentar tem sido fracionada em componentes solúveis e insolúveis, mas indigeríveis pelas enzimas gastro-intestinais (Cavalcanti, 1989; Olson et alii, 1987; Schneeman, 1986; Trowell, 1978). A seguir será apresentada breve descrição de cada componente da fibra alimentar:

a) Celulose e algumas hemiceluloses, são polissacarídeos estruturais e insolúveis, associados à parede celular vegetal. A celulose, polissacarídeo linear constituído de glicoses, unidas em ligações glicosídicas beta-1,4, é o principal componente estrutural da parede celular dos

QUADRO 1. Conteúdo de fibra alimentar de alguns alimentos e reprodutibilidade do método de Prosky.

Alimento	Fibra alimentar (%, b.s.)	Reprodutibilidade (cv, %)
Isolado de soja	1,42	66,25
Farinha graduada de trigo	2,78	9,80
Farinha integral de trigo	12,57	5,92
Farelo de trigo	42,65	2,66
Arroz	1,04	53,71
Pão de milho	86,86	1,56
Pão de centeio	6,58	5,29
Aveia	11,03	5,30
Batata	7,25	7,49

Fonte: Prosky e colab. (1985); cv = coeficiente de variação.

QUADRO 2. Conteúdo de fibra alimentar solúvel, insolúvel e total de alguns alimentos, determinado pelo método de Berlin.

Alimento	Insolúvel (%, b.s.)	Solúvel (%, b.s.)	Total (%, b.s.)
Pão de trigo	2,90	2,70	5,60
Feijão branco	9,60	10,20	19,80
Feijão "Kidney"	9,10	12,40	21,50
Batata	3,90	7,50	11,40
Tomate	12,80	0,80	13,60
Brócoli	17,40	13,20	30,60
Cenoura	10,40	4,40	14,18
Maçã	7,20	5,60	12,80
Peras	14,30	3,70	18,00
Laranja	3,90	6,50	10,40

Fonte: Becker e colab. (1986).

vegetais. As hemiceluloses, que constituem um grupo heterogêneo de polissacarídeos ramificados, são formadas por diferentes unidades de monossacarídeos, tanto na cadeia principal como nas ramificações, unidas por diferentes ligações glicosídicas. Elas são extraíveis, em grande parte, com ácidos e álcalis diluídos, e sua solubilidade está associada com o alto grau de ramificação da cadeia.

b) Polissacarídeos estruturais e solúveis, associados com a parede celular vegetal, que incluem outras hemiceluloses e as substâncias pécticas. A pectina é um polímero, também ramificado, que tem como constituinte da cadeia principal o ácido galacturônico, e, nas ramificações monossacarídeos, como raminose, arabinose, xilose e frutose. Considerada como altamente solúvel, a pectina é um ligante intercelular, além de ser um dos constituintes da parede celular vegetal.

c) Polímeros estruturais não-polissacarídeos, aonde o predominante é a lignina. A lignina é um polímero altamente complexo, de estrutura tridimensional e natureza polifenólica (Hartley, 1978). é insolúvel em água e resistente à digestão enterogástrica.

d) Polissacarídeos não-estruturais e solúveis, de ocorrência natural ou incorporados aos alimentos como aditivos, incluindo as gomas, as mucilagens e os polissacarídeos de reserva, assim como os polissacarídeos quimicamente modificados, os sintéticos e as quitinas fúngicas. As gomas podem ser obtidas de uma grande

variedade de fontes (Van Soest, 1978a), algumas a partir de microrganismos enquanto outras, como as metilceluloses, são quimicamente preparadas. As galactanas (Lewis, 1978), que ocorrem em feijões, são produtos de reserva para o metabolismo vegetal, e resistentes à ação das enzimas digestivas dos animais monogástricos.

e) Oligossacarídeos solúveis e indigeríveis.

f) Alguns resíduos indigeríveis, solúveis ou insolúveis, de proteína, amido, lipídio e minerais são igualmente incluídos como fibra alimentar.

A composição da fibra alimentar varia com a espécie e o grau de maturação do vegetal (Southgate, 1978). O conteúdo em celulose e lignina, por exemplo, geralmente aumenta com a maturação da planta (Schneeman, 1986). A composição centesimal, média, da fibra alimentar de diferentes fontes alimentares é mostrada no Quadro 3. Os polissacarídeos não-celulósicos estão em maior proporção que a celulose e a lignina em todas as diferentes fontes. As leguminosas e as frutas apresentam os níveis mais altos de celulose, e, as frutas possuem, comparativamente, os teores mais altos de lignina.

2.2 Isolamento e caracterização de frações e componentes fibrosos do feijão

Frações e componentes da fibra alimentar do feijão têm sido isolados, e algumas de suas propriedades físicas,

QUADRO 3. Composição centesimal (%) média da fibra alimentar de cereais, leguminosas e frutas.

Fonte de fibra	Polissacarídeos não-celulósicos	Celulose	Lignina
Cereais	75,7 (71,0-82,0)	17,4 (12,0-22,0)	6,7 (Tr-15,0)
Leguminosas	65,6 (52,0-76,0)	31,5 (23,0-42,0)	3,0 (Tr-13,0)
Frutas	62,9 (46,0-78,0)	19,7 (9,0-33,0)	17,4 (1,0-38,0)

Fonte: Schneeman (1986); Tr = traços.

químicas, nutricionais e fisiológicas caracterizadas. As xiloglicanas, polissacarídeos do grupo das hemiceluloses e usualmente chamadas de amilóides, devido a sua reação de cor específica com iodo, foram identificadas como os principais constituintes da parede celular em alguns grãos comestíveis de leguminosas, como no feijão "Kidney" (*Ph. vulgaris*) e na soja (*Glycine max*) (Ohtani & Misaki, 1980). As xiloglicanas apresentaram estrutura molecular ramificada, tendo como cadeia principal, unidades de glicose unidas por ligações beta-1,4, e cadeias laterais curtas constituídas de unidades de D-xilose e algumas D-galactose.

Polissacarídeos hemicelulósicos já tinham sido isolados da parede celular de feijões "Red Kidney" (*Ph. vulgaris*), e foram caracterizados como xiloglicanas por Wilder e Albersheim (1973). Esses polímeros apresentaram em sua estrutura molecular unidades repetidas de um heptassacarídeo constituído de quatro resíduos de glicose unidos por ligações beta-1,4 e três resíduos de xilose unidos à posição 6 dos resíduos de glicose.

As xiloglicanas exercem na parede celular vegetal a importante função de ligante, pois ligam-se à celulose através de pontes de hidrogênio e covalentemente à substâncias pécticas (Wilder & Albersheim, 1973).

Polissacarídeo fibroso insolúvel em álcali (solução aquosa de NaOH a 5 % e de KOH a 24 %) foi isolado da parede celular do cotilédone de "Tora-Bean" (*Ph. vulgaris*) e identificado como hemicelulose, o qual continha em sua única

estrutura molecular resíduos de galactoxiloglicano e arabinoglicano, ligados covalentemente (Ohtani & Misaki, 1980). A cadeia principal era formada de unidades de D-glicopiranose unidas covalentemente através das ligações beta-1,4. Grãos descascados de "Tora-Bean" forneceram quantidades bastante reduzidas daquele polissacarídeo, cerca de 0,009 % em peso, do grão integral.

Polissacarídeo insolúvel em solução aquosa de NaOH a 5 %, mas solúvel na de KOH a 24 %, foi também isolado dos cotilédones de "Tora-Bean" (*Ph. vulgaris*) em quantidades percentuais ainda menores (0,001 %), mas sua estrutura molecular não foi identificada.

A presença de polissacarídeos pentosanos, galactanos e hemiceluloses em grãos de feijão "Navy" (*Ph. vulgaris*), já havia sido demonstrada bem antes por Peterson e Churchill (1921), através de procedimentos de extração com diversos solventes.

Polissacarídeos hidrossolúveis mucilaginosos foram também extraídos do endosperma de várias leguminosas usando-se água quente como solvente e identificados como galactomananos, em pesquisa de interesse industrial realizada por Anderson (1949). Das 163 espécies pesquisadas, cerca de 3/4 continham mucilagens, e dentre aquelas não contendo ou contendo apenas traços de mucilagem estavam algumas espécies de *Phaseolus*, contudo, no feijão, *Ph. vulgaris*, a mucilagem não foi pesquisada. As diferentes espécies de leguminosas forneceram quantidades variáveis de

14 % a 38 %, em peso do endosperma, de mucilagem, mas, tiveram basicamente as mesmas propriedades, e portanto, o seu interesse industrial dependeu apenas do rendimento em mucilagem do tipo galactomanana. Convém ainda salientar, que a mucilagem extraída de fontes vegetais tem grande aplicação na indústria de papel, tecido e alimentos.

Susheelamma e Rao (1978), utilisando solução aquosa extratora contendo ácido tricloroacético (TCA) a 10 % e precipitação com acetona, isolaram da farinha integral do feijão "Black Gram" (*Ph. mungo*) uma fração polissacarídica altamente viscosa, isenta de amido e não-dialisável, a qual rendeu 4,5 % em peso. Aquela fração polissacarídica, embora não tenha reagido com biureto, continha nitrogênio quantificado pelo método de Kjeldahl em 0,6 a 1,0 %. Análises cromatográficas em papel mostraram ser o polissacarídeo constituído de arabinose, galactose, ácido galacturônico e raminose, na proporção de 30 : 20 : 3 : 5, respectivamente, daí ser o polissacarídeo denominado de arabinogalactano. Seu peso molecular, determinado no procedimento de filtração em gel, foi estimado em 144.000. A fração protéica contaminante não pareceu estar firmemente ligada ao polissacarídeo arabinogalactano, como o demonstrado nos testes de ultracentrifugação, contudo, foi suficientemente forte para ser extraída conjuntamente com o polissacarídeo.

Cerca de oito diferentes frações identificadas como polissacarídeos arabinogalactanos foram extraídas da farinha do feijão "Black Gram" (*Ph. mungo*) por Susheelamma e Rao

(1978), com água e solução diluída de hidróxido de sódio e, posterior precipitação com álcool. Todas foram diferenciadas com base na proporção entre a arabinose e a galactose, e também, apresentaram quantidades variadas em glicose. O conteúdo protéico não foi identificado.

A propriedade do polissacarídeo arabinogalactano, presente no feijão *Ph. mungo*, em estabilizar a textura de um alimento fermentado típico da índia, à base da mistura deste feijão com um cereal, que usualmente é o arroz, foi determinada por Susheelamma e Rao (1979,1974). A obtenção de um produto com textura macia, esponjosa e estável foi atribuída ao complexo formado proteína-polissacarídeo. O polissacarídeo arabinogalactano de alto peso molecular igual a 144.000 daltons mostrou ser hidratante e altamente viscoso, e formou gel bastante frágil com água (Susheelamma & Rao, 1978). O polissacarídeo conferiu estabilidade terminal à espuma, formada pela proteína, evitando a ruptura pelo calor.

Um polissacarídeo de natureza fibrosa contendo cerca de 92,5 % de arabinose e galactose, e altamente viscoso, foi isolado da farinha integral do feijão "Great Northern" (*Ph. vulgaris*), também através de solução extratora aquosa contendo ácido tricloroacético (Sathe & Salunkhe, 1981). O rendimento, em peso de farinha, da fração polissacarídea depois de liofilizada foi igual a 2,5 %. A fração isolada, de cor branca, do polissacarídeo arabinogalactano continha 6,98 %

de proteína. Os constituintes arabinose e galactose foram encontrados, no polissacarídeo, na proporção de 2,0 : 1,7.

A viscosidade em suspensão aquosa do polissacarídeo arabinogalactano isolado de *Ph. mungo* (Susheelamma & Rao, 1978) e de *Ph. vulgaris* (Sathe & Salunkhe, 1981) foi dependente da concentração, temperatura e pH. O polissacarídeo extraído do feijão *Ph. vulgaris* apresentou, na mesma concentração, viscosidade mais alta do que o amido solúvel e a goma gati, sendo respectivamente 9,8 e 5,8 vezes maior na concentração máxima testada de 1 %, p/v (Sathe & Salunkhe, 1981).

Altas temperaturas reduziram a viscosidade das dispersões aquosas do polissacarídeo, tanto o extraído do *Ph. mungo* por Susheelamma e Rao (1978) como o extraído do *Ph. vulgaris* por Sathe e Salunkhe (1981), em concentrações de 0,1-1,0 % (p/v). E, dispersões aquosas iguais a 0,5 % (p/v) do polissacarídeo registraram a maior viscosidade em pH cerca de 6, diminuindo levemente entre 6-8, mas tiveram a viscosidade reduzida drasticamente na faixa de pH ácido e alcalino (Sathe & Salunkhe, 1981).

Polissacarídeos hidrossolúveis, não-amiláceos, conjugados com proteínas não-dialisáveis e não-precipitáveis com ácido tricloroacético, foram obtidos de grãos de feijão *Ph. vulgaris*, "Navy" e "Pinto", nas respectivas quantidades de 0,18 % e 0,54 % do peso seco da farinha (Naivikul & D'Appolonia, 1979). O conteúdo em proteína foi de 24,3 % e 13 %, respectivamente para os feijões "Navy" e "Pinto". Os

polissacarídeos não-amiláceos hidrossolúveis, de ambos os feijões, eram constituídos principalmente de arabinose, contendo quantidades menores de xilose, glicose e galactose.

Polissacarídeos não-amiláceos e insolúveis em água, conjugados com menor quantidade de proteína, e resistentes à hidrólise pela enzima papaína, foram também obtidos de grãos de feijão "Navy" e "Pinto", em maiores quantidades, respectivamente, 1,12 % e 0,65 % do peso seco da farinha (Naivikul & D'Appolonia, 1979). O conteúdo em proteína foi, comparado ao da fração hidrossolúvel, muito menor, e igual a 3,1 % e 4,2 %, respectivamente para os feijões "Navy" e "Pinto". Mais de 80 % da proteína extraída conjuntamente com os polissacarídeos resistiram à hidrólise com a enzima papaína. Os polissacarídeos insolúveis tiveram composição em monossacarídeos semelhante aos hidrossolúveis, para ambos os feijões.

2.3. Propriedades físicas, químicas e fisiológicas da fibra

A fibra ganhou importância como constituinte necessário de uma dieta normal na década de 1970 (Payne, 1987), em consequência dos primeiros estudos epidemiológicos que mostravam a prevalência de doenças crônicas intestinais nos países desenvolvidos do ocidente, como constipação, diverticulites e câncer do intestino grosso, as quais foram relacionadas à insuficiência de fibra na dieta (Schneeman, 1986). A prevenção e atenuação de doenças cardiovasculares,

diabetes e obesidade (Schneeman, 1986), bem como determinadas respostas fisiológicas (Schneeman, 1987) foram, posteriormente, associadas à ingesta de fibra alimentar. Apesar da complexidade do assunto, evidências acumulativas têm mostrado a importância da fibra para o funcionamento normal da digestão e da absorção gastro-intestinal, e por conseguinte, como agente alimentar relacionado com a diminuição da incidência de doenças gastro-intestinais e outras.

Hidratabilidade e gelificação

Componentes polissacarídicos da fibra alimentar, por apresentarem grupos polares, possuem alta hidratabilidade. As substâncias pécticas, as mucilagens, as gomas, os polissacarídeos de reserva metabólica, e em grau limitado algumas hemiceluloses, são os componentes solúveis altamente viscosos e fermentáveis de maior capacidade de reter água (CRA) da fibra. A alta hidratabilidade e a propriedade de formarem gel resulta em maior viscosidade do conteúdo do intestino delgado e no retardo da absorção dos nutrientes. Presumivelmente, a velocidade de absorção dos nutrientes para a corrente sanguínea é diminuída devido à sua participação na matriz do gel e ao aumento na viscosidade do conteúdo intestinal (Roehrig, 1988; Schneeman, 1986).

A celulose e as hemiceluloses insolúveis ligam-se à água em grau limitado e, por não formarem gel, contribuem para um bolo alimentar de baixa viscosidade. Estes

componentes da fibra alimentar pouco fermentáveis e os não-fermentáveis, como a lignina, são os que mais contribuem para o aumento em volume e peso das fezes (Schneeman, 1986).

Segundo Roehrig (1988) e Bingham (1987) há uma correlação inversa entre o volume e o peso fecal com a CRA da fibra. Fibras solúveis possuem maior CRA e são, também, muito mais extensivamente degradadas pela flora microbiana natural do intestino grosso, quando comparadas às fibras insolúveis.

McConnell e colab. (1974) avaliaram a CRA de algumas frutas e outros vegetais, e verificaram existir correlação desta propriedade com o conteúdo em fibra detergente ácido (r=0,76), mas não com o conteúdo em lignina (r=0,17).

Adsorção e troca catiônica

Segundo Schneeman (1986), a baixa absorção e biodisponibilidade dos minerais associada com dietas altas em fibra é atribuída à capacidade que alguns componentes fibrosos têm de se ligar a minerais e eletrólitos, aumentando assim a excreção fecal. A lignina, e em menor extensão, as pectinas, as mucilagens, e as gomas são capazes de sequestrar substâncias orgânicas e metais, como ferro, cálcio, e zinco. Celulose e hemiceluloses não são adsorventes efetivos. A propriedade da fibra de adsorver minerais é afetada pelo processamento do alimento, tamanho da partícula fibrosa, fermentação bacteriana, pH e osmolalidade do meio

intraluminal, e, é maior para substâncias mais hidrofóbicas, como ácidos graxos livres, colesterol e ácidos biliares.

Esta propriedade de adsorção tem sido sugerida por Schneeman (1986), como de grande importância para o metabolismo dos lipídios. A adsorção dos ácidos biliares tem como conseqüência aumento na sua excreção fecal, desbalanceando a circulação entero-hepática normal destas substâncias. A não-reabsorção dos ácidos biliares provoca diminuição na sua concentração sérica, levando o fígado a iniciar, imediatamente, a síntese de novos ácidos biliares, utilizando como substrato o colesterol sérico. Isto está relacionado com a hiperlipidemia e a alta incidência de aterosclerose de ocorrência em indivíduos com baixa ingesta de fibra alimentar e/ou com elevado consumo de gorduras saturadas.

O efeito da fibra em diminuir a biodisponibilidade de cátions divalentes, como cálcio, zinco e íon ferroso, também tem sido estudado. Para Schneeman (1986) o número de grupos carboxílicos livres nas unidades dos ácidos urônicos, de alguns polissacarídeos componentes da fibra alimentar, parece estar relacionado, a nível intestinal, com as propriedades de troca catiônica. A celulose e a lignina não apresentam esta propriedade, mas, a pectina se constitui em ligante fraco, por ter seus ácidos urônicos quase que totalmente comprometidos. Embora a pectina seja quase inteiramente fermentada no intestino grosso, liberando ali os minerais quelados, a absorção dos mesmos é reduzida, e

têm grande parte excretada nas fezes. A hemicelulose, no entanto, por apresentar elevado poder quelante e por constituir até 40,0 % da fração não-celulósica da fibra de frutas e outros vegetais, é o principal componente da fibra, com implicações nutricionais principalmente em indivíduos vegetarianos.

Embora os efeitos fisiológicos das fibras ainda não foram totalmente esclarecidos, a propriedade de alguns de seus componentes em ligar compostos tóxicos, também tem sido proposta para explicar o mecanismo protetor das mesmas contra a incidência de câncer gastro-intestinal (Schneeman, 1986).

Fermentabilidade intestinal

Os carboidratos da fibra alimentar, de baixo ou de alto peso molecular, não são enzimaticamente digeridos até o intestino delgado dos mamíferos, contudo, são degradados (Vercellotti et alii, 1978; Rackis et alii, 1970) por microrganismos fermentativos, de ocorrência natural, no íleo e no cólon. Dentre os polissacarídeos da fibra, somente aqueles solúveis como as pectinas, as mucilagens, as gomas e algumas hemiceluloses parecem ser bastante degradadas (Schneeman, 1986; Van Soest, 1978a).

Uma baixa digestibilidade para a celulose foi detectada por Southgate (1973), em ensaios biológicos realizados com humanos. Ainda, uma grande variação

individual foi encontrada para esta digestibilidade, atribuída pelo autor, a diferenças na flora microbiana intestinal e ao tempo de trânsito intestinal do bolo alimentar. Indivíduos com maior tempo de trânsito tiveram maior digestibilidade aparente para a celulose.

A hemicelulose, ao contrário, foi extensivamente degradada pela flora microbiana intestinal (Southgate, 1973), o que chegou a atingir até 80,0 % (Eastwood, 1978). Tal propriedade foi atribuída às hemiceluloses solúveis, e que formam gel em água.

Segundo Eastwood (1978) e Van Soest (1978a), as pectinas e as gomas embora resistentes à hidrólise pelas enzimas gastro-intestinais são completamente metabolizadas por microrganismos no intestino humano, e portanto, de recuperação fecal muito baixa.

A lignina é excretada praticamente sem sofrer qualquer alteração (Schneeman, 1986; Eastwood, 1978). A celulose e as hemiceluloses livres de lignina tornam-se fermentáveis (Van Soest, 1978a).

Os fatores que interferiram na digestibilidade da fibra alimentar, em ensaios com animais não-ruminantes, foram, segundo Cummings (1978), a estrutura química dos componentes da fibra, a flora microbiana do cólon, o tempo de trânsito intestinal, a característica do bolo alimentar que entra no cólon e o grau de lignificação.

Gases, como hidrogênio, dióxido de carbono e metano, e ácidos orgânicos de baixo peso molecular, como os ácidos

butírico, propiônico e acético, são produzidos na fermentação intestinal, e por baixarem o pH do cólon podem afetar o metabolismo microbiano (Cummings & Englyst, 1987; Schneeman, 1986; Tobin & Carpenter, 1978). Os gases formados são expelidos como flatus ou, após absorção, pelos pulmões. Gases e ácidos orgânicos voláteis, não absorvidos pela corrente sanguínea, podem contribuir para aumentar o bolo fecal e para diminuir o tempo de trânsito intestinal.

A maior parte dos ácidos orgânicos voláteis produzidos são absorvidos e utilizados no metabolismo aeróbio do organismo humano, como fonte de energia suplementar. A absorção de ácidos orgânicos de cadeia curta no cólon, estimula a absorção de sódio e de água (Cummings & Englyst, 1987). Eles também podem ser os responsáveis por algumas das respostas fisiológicas atribuídas às fibras (Schneeman, 1986).

Os feijões são conhecidos por produzir desconforto e flatus no intestino humano, quando consumidos em grandes quantidades. Alguns pesquisadores, como Tobin e Carpenter (1978), têm demonstrado ocorrer aumento na produção de gases intestinais, basicamente hidrogênio e dióxido de carbono, e em alguns indivíduos o metano, após o consumo de feijões cozidos. O mesmo fenômeno também foi observado em ratos (Vagner et alii, 1977) e em cachorros (Rackis et alii, 1970).

Uma fração contendo os oligossacarídeos rafinose, estaquiose e verbascose, além de peptídios de baixo peso

molecular, isolada de feijões, inclusive o *Ph. vulgaris*, apresentou considerável atividade produtora de flatus (Tobin & Carpenter, 1978; Murphy et alii, 1972). A fermentação desses oligossacarídeos ocorre na porção terminal do íleo, aonde são abundantes os microrganismos produtores da enzima alfa-D-galactopiranosidase. Tem sido sugerido, que a produção insuficiente dessa enzima pelos mamíferos faz com que a rafinose, a estaquiose e a verbascose, ingeridas, alcançem o íleo, sem sofrer qualquer hidrólise.

Não há evidências de que o cozimento afete a flatulência produzida pelo feijão. Igualmente, não há evidências de que alguma das variedades comercializadas esteja isenta da atividade de flatulência (Tobin & Carpenter, 1978).

A eliminação do "flatus", produzido por feijões, tem sido testada também pela seleção genética. Os resultados foram animadores, e uma redução de 50 % foi alcançada (Tobin & Carpenter, 1978).

Tratamentos enzimáticos e extração alcoólica também foram testados em leguminosas, como a soja, mas o produto resultante apresentou atividade de flatulência (Calloway et alli, 1971).

Atividade motora gastro-intestinal

Embora se tenha estabelecido que os componentes solúveis da fibra retardam o esvaziamento gástrico, enquanto que os insolúveis o aceleram (Cavalcanti, 1989), o mecanismo

fisiológico de ação, para os diferentes componentes fibrosos na atividade motora gastro-intestinal, ainda permanece um tanto obscuro. Não obstante, Connell (1978) atribuiu a diferença obtida na resposta motora às características físicas e químicas dos componentes fibrosos. O aceleramento no trânsito intestinal foi relacionado, por esse autor, aos componentes da fibra alimentar que, devido à sua propriedade de hidratação, aumentam o volume do bolo alimentar (Connell, 1978).

Embora a influência da estrutura molecular e de outras propriedades físicas dos componentes fibrosos, em aumentar o volume do bolo alimentar e fecal, ter sido pouco considerada, Lewis (1978) demonstrou existir relação entre a granulometria das partículas fibrosas e o volume do resíduo seco fecal. Fibras com alta granulometria resultaram em fezes secas com maior volume que as fibras de baixa granulometria, sendo que, este autor considerou a fibra de maior granulometria como, possivelmente, a de maior influência no trânsito do bolo alimentar. Resultados semelhantes foram obtidos em outro experimento (Roehrig, 1988), em que o farelo de trigo de alta granulometria mostrou ser menos digerível, ter maior hidratabilidade e migrar mais rapidamente através do trato gastro-intestinal, quando comparado ao farelo de trigo de baixa granulometria. A influência da viscosidade do componente fibroso do alimento e da dieta, no trânsito do bolo alimentar e fecal

também tem sido pouco considerada nos trabalhos e publicações científicas.

Os componentes solúveis da fibra alimentar, como a pectina, a goma, a mucilagem, os polissacarídeos de reserva e algumas hemiceluloses dada a sua alta afinidade pela água e formarem gel, contribuem para o aumento de volume do bolo alimentar até o intestino delgado, porém, provavelmente devido a sua alta viscosidade retardam o esvaziamento gástrico, aumentando o tempo de trânsito intestinal. No intestino grosso estes polissacarídeos solúveis, ao contrário dos insolúveis, por sofrerem hidrólise fermentativa intensa e perderem a água de hidratação, contribuem para diminuir o volume e o peso das fezes (Becker et alii, 1986).

Connell (1978) também relacionou a diminuição no tempo de trânsito gastro-intestinal com as propriedades de algumas fibras alimentares em aumentar o volume dos bolos, alimentar e fecal.

Cummings (1986), citado por Wisker e Feldheim (1992), estudou o efeito de diferentes fontes de fibra no peso fecal, testando-as em dietas para humanos. Dentre as várias fontes de fibra, o farelo de trigo foi a mais eficaz pois aumentou este peso em 5,7 g/g de fibra ingerida. As frutas e as hortaliças aumentaram-no em 4,9 g/g de fibra ingerida, a aveia em 3,9 g, as gomas e mucilagens em 3,5 g, o milho em 3,4 g, a celulose em 3,0 g, a soja em 2,8 g e a pectina em 1,3 g.

2.4. Efeito da fibra na prevenção de doenças gastro-intestinais, cardiovasculares e das mamas

A constipação intestinal, doença típica do homem contemporâneo, é caracterizada pela dificuldade em eliminar o bolo fecal que, as vezes, é acompanhada de dor, e também, pela diminuição na frequência das evacuações. A doença diverticular do cólon é também outra patologia de grande incidência nos indivíduos da sociedade contemporânea.

Dieta rica em fibra vem sendo, frequentemente, recomendada nas últimas décadas, tanto para a prevenção como para o tratamento da constipação intestinal. Eastwood (1978) recomendou o uso de farelo de trigo, maçã, laranja e cenoura para o tratamento de pacientes constipados, bem como para os portadores de diverticulite.

Estudos epidemiológicos sobre a incidência de câncer no intestino grosso têm mostrado que, com exceção do Japão, esta doença é mais incidente nas regiões desenvolvidas, como os EUA e os países europeus, do que nas subdesenvolvidas, como os continentes africano e asiático (Gorbach & Goldin, 1992). A incidência de câncer de cólon foi diretamente correlacionada com o consumo alimentar de lipídio de origem animal, mas, teve correlação inversa com o consumo de fibra alimentar.

Têm-se postulado como fatores etiológicos do câncer no intestino grosso as substâncias pré- ou co-carcinogênicas, produzidas pela ação de uma flora bacteriana anormal, a

partir de dietas gordurosas ou esteróides biliares. Postula-se ainda, que a variação na incidência de câncer no cólon possa depender, parcialmente, das diferenças na composição da flora bacteriana intestinal devido a diferentes dietas. O efeito protetor da fibra tem sido atribuído às suas propriedades de aumentar o peso fecal, diminuir o tempo de trânsito intestinal, diluir a flora bacteriana, aumentar a excreção de ácidos biliares e reduzir a atividade metabólica na microflora bacteriana. Várias enzimas bacterianas como beta-glicuronidase, nitrorredutase, azorredutase e 7-alfa-dihidroxilase, tiveram suas atividades reduzidas pelo consumo de fibra (Schweizer & Edwards, 1992; Gorbach & Goldin, 1992) .

Estudo epidemiológico, envolvendo as sociedades, americana e do leste europeu versus a japonesa, relacionou o maior consumo alimentar de lipídios aos óbitos devidos ao câncer mamário. Japoneses consomem dieta baixa em lipídios, enquanto que os americanos e os do leste europeu fazem o contrário. O estrógeno é a possível ligação entre aqueles hábitos alimentares e a incidência de câncer mamário, já que, em outro estudo ficou demonstrado existir correlação direta entre a ingesta de lipídios e os níveis de estradiol, um derivado do estrógeno, no plasma. Em geral, níveis mais elevados de estrógeno no plasma e urina bem como períodos mais prolongados de exposição ao estrógeno parecem aumentar o risco de incidência de câncer mamário em mulheres (Gorbach & Goldin, 1992).

Fibra alimentar insolúvel também altera o metabolismo do estrógeno, reduzindo a circulação entero-hepática dos hormônios esteróides. A fibra, por ligar-se ao estrógeno no lúmem intestinal, e também, por reduzir a atividade de desconjugação bacteriana, aumenta as perdas fecais de estrógeno. Excreção maior de estrógeno fecal em mulheres foi associada à dieta mais alta em fibra alimentar. Ainda, a alta excreção fecal esteve correlacionada com níveis menores no plasma, fortalecendo a hipótese de que aqueles estrógenos excretados nas fezes não estavam disponíveis para a reabsorção (Gorbach & Goldin, 1992).

O efeito hipolipidêmico e hipocolesterolêmico dos componentes fibrosos e da fibra alimentar foi também avaliado, tanto em animais como no homem. A pectina, a goma guar e a lignina diminuiram o nível de colesterol no soro e no fígado de ratos ensaiados com colesterol, enquanto que o agar aumentou o colesterol hepático, e o farelo de trigo não teve qualquer efeito no nível de lipídios séricos, tanto em ratos como em macacos. O farelo de arroz teve efeito semelhante ao farelo de trigo no nível sérico de lipídio, enquanto o farelo de soja baixou este nível. No homem, a pectina e a goma guar também diminuiram o nível de colesterol sérico enquanto a celulose e o farelo de trigo não tiveram qualquer efeito (Normand et alii, 1987; Reiser, 1987; Kritchevsky, 1978).

Segundo Kritchevsky (1987), foram Wells e Ershoff (1961/1962) e Ershoff e Wells (1962) os primeiros a

demonstrarem o efeito benéfico da fibra, nos níveis de colesterol sérico e no fígado, em ratos supridos com colesterol na dieta. Eles também mostraram que nem todos os componentes da fibra alimentar foram hipocolesterolêmicos para alguns animais. A celulose, por exemplo, aumentou o nível de colesterol no fígado e no tecido. Em galinhas, coelhos e macacos, a celulose apresentou efeito benéfico na aterosclerose.

Estudos com ratos, macacos e posteriormente com pessoas confirmaram a eficiência dos feijões, incluindo o *Ph. vulgaris*, em abaixar o nível de colesterol no soro sanguíneo (Tobin & Carpenter, 1978; Devi & Kurup, 1972). Tal benefício foi atribuído à fração polissacarídea solúvel.

O efeito hipocolesterolêmico do feijão, devido a relação existente entre o nível de colesterol no soro sanguíneo e o risco de ocorrência das doenças cardíacas relacionadas com as coronárias, é de grande importância para humanos e, particularmente, para os brasileiros, por ser esta leguminosa um alimento básico.

Para Miettinen (1987) a fibra solúvel (viscosa) não altera a absorção de colesterol. Em contraste, a insolúvel e também o produto fibroso do farelo de trigo reduziram claramente a absorção de colesterol, o que foi atribuído ao trânsito mais rápido do bolo alimentar no intestino delgado, contudo a eliminação fecal de colesterol como esteróis neutros não foi aumentada.

Indianos Tarahumara, que consomem dieta tipo vegetariana, com alto teor em fibra, apresentam baixa absorção de colesterol (27 %), e também, não está associada a uma excreção fecal excessivamente alta em esteróis neutros (Miettinen, 1987). A fibra insolúvel e o produto fibroso do farelo de trigo não afetaram, consistentemente, os níveis séricos de colesterol. Em contraste, a fibra solúvel em natureza, como a encontrada nos feijões, bem como sua forma isolada, reduziram significativamente o nível sérico de colesterol total.

Em humanos, a fibra insolúvel e o farelo de trigo não foram hipocolesterolêmicos, enquanto que, as fibras solúveis como a goma guar e a pectina foram (Kritchevsky, 1987).

Segundo Kritchevsky (1987), a fibra pode aumentar a excreção de colesterol e ácido biliar. *In vitro*, a fibra mostrou habilidade para se ligar ao ácido biliar, sendo a intensidade da ligação função tanto do tipo de fibra como do tipo de ácido ou sal biliar. Além do ácido biliar, a fibra mostrou habilidade para se ligar com outros lipídios. A propriedade de adsorver ácidos e sais biliares já tinha sido confirmada (Schneeman, 1986) para alguns componentes fibrosos e para a fibra alimentar como um todo.

Os sais biliares conjugados, como encontrados no intestino delgado, são adsorvidos fracamente, mas, após desconjugação pelas bactérias já na porção terminal do íleo e no cólon (Tobin & Carpenter, 1978) se ligam avidamente aos componentes da fibra alimentar e são excretados nas fezes

(Kritchevsky, 1978). Para Miettinen (1987), o íleo terminal é o principal local de absorção do ácido biliar, mas também pode ocorrer alguma no cólon.

Segundo Miettinen (1987), as fibras insolúveis geralmente não afetam a excreção fecal de ácido biliar, enquanto que as solúveis (viscosas), principalmente a pectina e a goma guar, aumentam consistentemente esta excreção fecal em aproximadamente 70 %.

Para Schweizer e Edwards (1992), a pectina pode diminuir o 'pool' de ácidos biliares no ciclo entero-hepático e interferir no metabolismo do colesterol. Segundo estes autores, o indivíduo normal perde nas fezes cerca de 5 % dos ácidos biliares excretados com a bile, enquanto 95 % é reabsorvido pelo íleo terminal e retorna ao fígado para novamente ser liberado na bile. A percentagem de perdas normais nas fezes é reposta através da síntese, no fígado, a partir do colesterol. Os componentes da fibra alimentar ao adsorverem os sais biliares aumentam as suas percentagens de eliminação pelas fezes, forçando uma maior síntese de ácidos biliares pelo fígado, e portanto, uma maior utilização do colesterol presente no soro sanguíneo.

A despeito de algumas pesquisas demonstrarem que a fibra alimentar solúvel diminui o nível sérico de colesterol em humanos, para Mendeloff (1987) esse nível não persiste e um novo equilíbrio é estabelecido, sendo mais dependente da saturação e do teor de lipídios da ingesta que da fibra alimentar. Ainda, para Kritchevsky (1978) nem sempre uma

maior excreção de ácidos biliares ou esteróides neutros é acompanhada de redução no nível sérico de colesterol.

2.5 Propriedades nutricionais da fibra

Ao se considerar as implicações nutricionais da fibra alimentar deve-se levar em conta a sua hidrólise microbiana no intestino dos monogástricos, incluindo os humanos.

A ocorrência de hidrólise da fibra alimentar, fornecida pelas diversas fontes de alimentos bem como pelas preparações isoladas da fibra, tem sido confirmada na literatura, e algumas das propriedades atribuídas à fibra alimentar podem resultar da ação dos produtos desta decomposição (Cummings, 1978). Variações no grau de hidrólise para os diferentes componentes da fibra também foram demonstradas, sendo os componentes solúveis os mais extensivamente degradados pela flora microbiana intestinal.

As fibras parecem afetar a excreção dos nutrientes alimentares como proteínas, lipídios, minerais e energia metabolizável, e portanto, modificam a composição fecal, alteram o peso, o volume e a consistência das fezes.

Em humanos, a ingesta aumentada de carboidratos indigeríveis (componentes fibrosos) foi relacionada, por Southgate (1973), com a diminuição na digestibilidade aparente de outros constituintes alimentares, como proteínas, lipídios e energia bruta.

Ainda, segundo o revisado por Southgate (1987), ingestas aumentadas em fibra alimentar estão, geralmente, associadas com maior excreção fecal de nitrogênio e lipídios, além do aumento esperado de carboidratos nas fezes, o que resulta em redução na digestibilidade aparente de energia, proteína e lipídios.

Ingesta aumentada em fibra alimentar, pela suplementação com produtos à base de farelo e trigo integral, elevou a excreção fecal em lipídios, nitrogênio, minerais e energia (Cummings, 1978).

O tempo médio de trânsito gastro-intestinal de 9,5 horas, determinado para crianças africanas com idade entre 9-12 anos e que ingeriam quantidades expressivas de fibra bruta (10 g/dia), foi muito pouco afetado quando as dietas foram suplementadas com fontes complementares de fibra bruta. Este suplemento foi fornecido pelo farelo de milho, farelo de trigo e pão integral, que contribuíram com cerca de 20 g cada um, e pela laranja que contribuiu com 4 g de fibra, e diminuiu o tempo de trânsito gastro-intestinal para cerca de 8,5 horas. Walker (1975) explicou este resultado afirmando que aquelas crianças estavam ingerindo quantidades expressivas em fibra bruta na dieta normal diária, e por conseguinte, o máximo de ação das fibras no tempo de trânsito gastro-intestinal já havia sido quase que totalmente atingido.

Walker (1975) determinou ainda que o suplemento diário de leite como fonte protéica, ou de manteiga como fonte de

lipídios, ou ainda, de açúcar como fonte calórica primária complementar, em dietas altas em fibra, para crianças africanas, não modificaram significativamente a concentração de nitrogênio e de lipídios nas fezes, assim como a diminuição do resíduo seco fecal não foi significativa. Porém, o suplemento com laranja resultou em menor tempo de trânsito gastro-intestinal e aumentou significativamente o peso seco fecal, além de diluir a concentração de nitrogênio e lipídios nas fezes.

Embora ainda permaneça obscuro o mecanismo de ação, não há dúvida de que a fibra altera a absorção intestinal de carboidratos biodisponíveis. Trowell (1973), relacionou a doença "diabetes" com a dieta deficiente em fibra. Posteriormente, outros pesquisadores (Reiser, 1987; Cummings, 1978) reportaram, tanto em pessoas diabéticas como nas saudáveis, a ocorrência de significante depleção na curva glicêmica, a qual foi acompanhada de redução, igualmente significativa, nos níveis séricos de insulina, como resposta à ingesta de dietas contendo pectina ou goma guar. Efeitos similares, porém menos intensos, nos níveis de glicose sanguínea foram produzidos pelo farelo de trigo, enquanto que a celulose apresentou efeitos contrários.

Alimentos com altos e baixos teores de fibra alimentar resultaram em diferença na resposta glicêmica, a qual foi atribuída a vários fatores como as propriedades físicas do alimento, e dentre elas, o tamanho da partícula, a viscosidade, o processamento; e os seus antinutrientes,

dentre os quais o ácido fítico, o ácido tânico, as lectinas, as saponinas e os inibidores de enzimas. Contudo, a diferença na resposta glicêmica foi atribuída, principalmente, às propriedades das fibras daqueles alimentos (Wahlqvist, 1987). A presença de componentes tóxicos em feijões *Phaseolus* foi determinada por vários pesquisadores, como Oliveira e colab. (1989), Valenzuela (1989), Oliveira (1986), Oliveira e Sgarbieri (1986), Durigan (1985), Sgarbieri e Whitaker (1982), Pusztai e Palmer (1977) e Marshall e Lauda (1975).

Em experimentos de longa duração têm-se observado: que o farelo de trigo afetou a resposta glicêmica em indivíduos, diabéticos e não-diabéticos; que as leguminosas e a goma guar reduziram o nível sanguíneo de glicose em diabéticos; e que a pectina, para alguns, nada afetou, enquanto que, para outros reduziu significativamente o máximo da curva glicêmica, bem como a resposta à insulina pelas pessoas diabéticas e não-diabéticas (Reiser, 1987; Wahlqvist, 1987).

Esses experimentos demonstraram que a goma guar e o farelo de trigo alteraram a morfologia das celulas intestinais, e que, as fibras viscosas (solúveis em água) reduziram a atividade das enzimas envolvidas na digestão gastro-intestinal. Assim, estes dois fatores contribuiram para reduzir a absorção de glicose. Ainda, a digestão incompleta do amido, atribuída a suas interações com proteínas, lipídios e polissacarídeos fibrosos e lignina, também foi sugerida como possível fator adicional de redução

da absorção de glicose (Wahlqvist, 1987). Segundo Dreher e colab. (1984), o amido de milho apresentou grau de digestibilidade, *in vitro*, entre 70-100 %.

Algumas hipóteses têm sido formuladas para explicar como a fibra afeta o metabolismo dos carboidratos, e assim, foi sugerido (Reiser, 1987; Wahlqvist, 1987) que sua ação poderia ocorrer a nível de intestino, afetando o trânsito, a digestão e a absorção, e/ou na gliconeogênese e/ou na regulação da glicose sanguínea (via hormonal e/ou através de substratos energéticos) e/ou na utilização da glicose pelo tecido. Propriedades físicas e estruturais dos alimentos, decorrentes da fibra alimentar, podem alterar o acesso intraluminal das enzimas dos sucos digestivos aos carboidratos. A ativação ou inibição das enzimas enterogástricas envolvidas na digestão do amido e dos açúcares solúveis pode também estar relacionada a fatores alimentares associados com as fibras. Diferenças na absorção intestinal podem ser consequência de alterações na motilidade do intestino delgado e/ou a mudanças morfológicas na mucosa intestinal. Ácidos graxos voláteis produzidos pela fermentação microbiana de polissacarídeos fibrosos, no intestino grosso, passam para a circulação entero-hepática e podem influenciar no metabolismo hepático dos carboidratos.

Algumas hipóteses, também, têm sido sugeridas (Reiser, 1987; Wahlqvist, 1987) para explicar a ação das fibras solúveis, como a pectina e a goma guar, em alterar a curva glicêmica em humanos, como segue: a) A velocidade na

absorção de glicose poderia ser alterada pela propriedade da fibra solúvel de formar gel em água, e assim, reduziria a velocidade de difusão da glicose no conteúdo do intestino delgado. A despeito deste retardamento, não há prejuízo para a absorção da glicose; b) A fibra pode afetar a liberação de hormônios gastro-intestinais e modificar a secreção pancreática e o processo digestivo; c) As mudanças no esvaziamento gástrico e no tempo de trânsito do bolo alimentar no intestino delgado também podem contribuir.

A influência da fibra alimentar no metabolismo de lipídios tem sido avaliada por diferentes pesquisadores, citados nos trabalhos de Kritchevsky (1987), Miettnen (1987), e Van Itallie (1978), através da medida do nível lipídico no soro e no tecido, da absorção e excreção lipídica, e, mais especificamente, medindo a incidência de aterosclerose experimental.

Segundo Van Itallie (1978), a obesidade é rara em populações que consomem dietas ricas em fibra, mas, é comum naquelas que consomem dietas com baixo teor em fibra. Alguns animais experimentais que consomem normalmente dieta com alto teor em fibra, tornam-se obesos quando colocados em dieta com conteúdo reduzido em fibra.

De acordo com Miettinen (1987), a fibra alimentar aumenta, claramente, a excreção fecal de triglicerídios pela inibição de enzimas pancreáticas, incluindo a lipase. No entanto, parece que tanto a fibra viscosa como a não-viscosa

não têm qualquer efeito consistente no nível sérico de triglicerídios.

A propriedade das fibras de se ligar a minerais catiônicos tem sido demonstrada na literatura e sua interferência na biodisponibilidade de minerais vem sendo objeto de investigação em animais de laboratório e em humanos.

Os minerais, geralmente, estão menos biodisponíveis nas fontes vegetais do que nas fontes animais (Sathe et alii, 1984). Fatores que afetam a utilização biológica dos minerais provenientes dos alimentos incluem, a digestibilidade do alimento que contém o mineral, as formas químicas do mineral, os níveis dietéticos de outros nutrientes, a presença de quelatos para os minerais, o tamanho da partícula do alimento e as condições de processamento do alimento. Muitas operações no processamento de alimentos podem alterar, direta ou indiretamente, o nível ou a forma química de minerais ou a associação de minerais com outros componentes do alimento. Componentes alimentares como o ácido fítico, o ácido oxálico, as proteínas, os polifenóis e os polissacarídeos complexos como o amido, fibra bruta e lignina, por interagirem com minerais, alteram a biodisponibilidade dos mesmos.

Como alimento vegetal, o feijão é considerado boa fonte de vários minerais, incluindo ferro, cálcio, fósforo, magnésio, potássio, zinco e cobre. Moraes e Angelucci (1971) determinaram o conteúdo em ferro, fosfato, cálcio e

magnésio para os diversos cultivares de feijão, *Ph. vulgaris*, sendo que no 'Carioca' estes minerais foram quantificados em 3,44 mg, 38,8 mg, 219,5 mg, e 1.183 mg por 100 g, respectivamente.

Sgarbieri e colab. (1979) determinaram o conteúdo em ferro e sua disponibilidade biológica em quatro cultivares de feijão, incluindo o 'Carioca'. O conteúdo em ferro encontrado por eles foi cerca de 2,5 vezes maior do que aquele determinado por Moraes e Angelucci (1971). A disponibilidade biológica do ferro no feijão foi determinada usando-se como referência a biodisponibilidade de 30 % deste elemento quando fornecido por sulfato ferroso ($FeSO_4$), e resultou em valores que variaram de 6 a 7 vezes menos. Os autores concluiram que a biodisponibilidade do ferro no feijão estava dentro da variação de absorção em ferro para alimentos vegetais.

Toma e Curtis (1986) revisando na literatura o efeito da fibra alimentar de diversas fontes e em quantidades variadas na biodisponibilidade mineral da dieta para humanos e animais, concluiram que os resultados experimentais eram inconsistentes para uma compreensão mais completa do assunto. Fontes de fibra alimentar não-purificadas, como o farelo de trigo, o trigo integral, a farinha de trigo comercial, o farelo de milho, a casca e os grãos de soja e a farinha de arroz, apresentaram resultados inconsistentes e até conflitantes com relação a absorção, excreção fecal e balanço de minerais como ferro, zinco e cálcio, em

experimentos de curta e longa duração com humanos e animais de laboratório. A despeito da inconsistência dos resultados, para esses autores, a ingesta com baixo conteúdo em fibra alimentar, 15-20 g/dia, pareceu não afetar a biodisponibilidade de ferro, zinco e cálcio, e foi sugerida como segura.

Experimentos com humanos usando zinco marcado mostrou que dietas com elevado teor de fibra de trigo diminuiram a absorção de zinco. O balanço mineral negativo em pessoas ingerindo dieta com elevado teor de fibra de trigo foi atribuído, em parte, à habilidade das fibras para complexar com o cálcio e com o zinco. A interferência do ácido fítico em diminuir a absorção de minerais como o cálcio, em dietas que continham produtos à base de farelo e de trigo integral como fonte de fibra, é abundantemente citada na literatura. O balanço de cálcio é negativo em experimentos de curta duração. Porém, em experimentos de longa duração, ou seja, com mais de quatro semanas, os resultados foram conflitantes, sendo que, em um deles o balanço retornou ao normal enquanto que no outro permaneceu negativo. O balanço de zinco foi igualmente negativo tanto no experimento de curta como no de longa duração (Roehrig, 1988; Cummings, 1978).

A celulose purificada não afetou a absorção de ferro em humanos e em animais (Toma & Curtis, 1986). Com relação ao zinco, a celulose não afetou sua concentração no tecido, mas diminuiu seu nível sérico. O cálcio nos tecidos não foi afetado pela celulose. Para Southgate (1987), a celulose

não afetou a absorção de cobre e zinco, mas aumentou a excreção de cálcio, fósforo e ferro, e, com relação ao magnésio, os resultados foram conflitantes.

Estudo com humanos comparando os efeitos da ingesta de celulose e fitato na absorção de zinco marcado permitiu concluir que o fitato, mas não a celulose, foi o responsável pela diminuição na retenção corporal de zinco (Roehrig, 1988).

Hemicelulose purificada resultou em balanço negativo para o zinco em humanos, em experimentos por 4, 7 e 14 dias (Toma & Curtis, 1986). A hemicelulose inibiu a absorção de magnésio (Southgate, 1987).

De acordo com Toma e Curtis (1986) a pectina purificada apresentou efeito conflitante no balanço metabólico do ferro em experimentos com humanos e com animais. O zinco teve seu nível sérico reduzido, mas sua concentração no tecido não foi afetada. A concentração de cálcio no tecido também não foi afetada pela pectina. Segundo Reiser (1987), a pectina não diminuiu a biodisponibilidade de minerais tais como cálcio, magnésio, zinco e cobre, contudo, a do ferro foi diminuída pela pectina em alguns, mas não em todos os estudos com humanos. Segundo Southgate (1987) a pectina não afetou o balanço de cálcio, zinco, cobre, e ferro, embora em ensaios *in vitro* a pectina e outros polissacarídeos acídicos têm mostrado habilidade para ligar nutrientes inorgânicos, em pH próprio do intestino delgado. A fibra detergente neutro (FDN) produziu balanço negativo para o zinco mas não

afetou a absorção de ferro em humanos (Toma & Curtis, 1986), e a lignina purificada se revelou potente inibidor da absorção do ferro.

Muito pouco se sabe com relação a biodisponibilidade de vitaminas em leguminosas cozidas e de sua interação com outros componentes desses alimentos. Apesar disso, tem sido sugerido que os polissacarídeos indigeríveis e a lignina, que compõem a fibra alimentar, podem reduzir a biodisponibilidade da vitamina B6 a nível de sua absorção intestinal (Sathe et alii, 1984). Tal redução na absorção intestinal desta vitamina tem sido justificada pela ocorrência de ligações iônicas e/ou adsorção e alteração da viscosidade do conteúdo intestinal.

Na tentativa de explicar o mecanismo da fibra alimentar em alterar a excreção fecal para vários nutrientes, e também, o peso e o volume das fezes, têm sido sugerido, que:

a) As fibras alterariam as funções digestivas e absortivas intestinais, modificando a ação dos sucos entéricos e a difusão dos nutrientes para a absorção.

In vitro, as atividades da tripsina e da quimotripsina foram inibidas pelas várias fibras de fontes vegetais (Cummings, 1978). Howard e Mahoney (1989), também em ensaios *in vitro*, observaram que a pectina, a goma guar e o farelo de trigo reduziram, embora pouco (≤ 15 %), a digestibilidade da caseína pelas enzimas tripsina e quimotripsina. A lignina

causou reduções acima de 30 % na digestibilidade por ambas as enzimas.

b) As fibras formariam complexos indigeríveis com os nutrientes, como as proteínas e os lipídios, que passariam intáctos ao longo de todo o trato gastro-intestinal.

Dentre os componentes da fibra alimentar, a pectina e a goma guar mostraram ser eficientes para aumentar a excreção fecal de lipídios, sendo que, a pectina em quantidades mais altas chegou a dobrar a excreção de lipídios nas fezes. Pelo menos parte dos ácidos graxos fecais foram encontrados como constituintes associados às fibras indigeríveis (Cummings, 1978).

c) A propriedade de gelificação de alguns componentes fibrosos, especificamente aqueles solúveis, levam a diminuição na velocidade de difusão dos produtos da digestão para a superfície da mucosa absortiva intestinal (Southgate, 1973).

d) As fibras resultariam em aumento da excreção endógena gástrica, e portanto, os nutrientes, como as proteínas e lipídios, poderiam ser excretados como componentes dos sucos gástricos (Cummings, 1978).

e) Os alimentos, quando ingeridos como fonte de fibra, levaram a dimininuição na digestibilidade dos nutrientes, que foi atribuída a diferenças nos constituintes das dietas (Southgate, 1973).

f) O maior peso e volume fecal tem sido atribuído a componentes fibrosos pouco hidrolisáveis ou fermentáveis

pela flora microbiana natural do intestino grosso (Southgate, 1987). O maior peso fecal tem sido reportado também como resultante do aumento da flora microbiana (Cummings, 1978), bem como, da ação de alguns componentes fibrosos em acelerar o trânsito do bolo alimentar (Walker, 1975; Southgate, 1973), no trato gastro-intestinal.

2.6. Recomendação alimentar em fibra

O padrão alimentar da civilização contemporânea, quer por dispor de tecnologias que industrializam alimentos de baixo conteúdo em fibras, como no caso do processamento de cereais para obtenção das farinhas, quer por hábitos culturais, tem sido carente em componentes da fibra alimentar, como celulose, hemicelulose e lignina.

Os dados da literatura citados anteriormente mostram que várias patologias têm sido de maior incidência em regiões, cujos padrões alimentares da população apresentam insuficiência em fibra.

As necessidades diárias de fibra alimentar para os humanos ainda não foram claramente estabelecidas. Alguns investigadores propuzeram metas de peso fecal desejável entre 120 e 150 g/dia e tempo de trânsito intestinal entre 40-48 horas (Vercellotti et alli, 1978), como indicadores de uma ingesta normal em fibra alimentar. Outros estabeleceram, primeiramente, que a ingesta de fibra alimentar considerada como adequada para uma pessoa seria de aproximadamente 20 g

por dia, mas, posteriormente, a quantidade diária de aproximadamente 30 g foi sugerida como a mais apropriada (Southgate, 1987).

Nas pesquisas realizadas até então para estabelecer a recomendação diária em fibra alimentar deveria ser levado em conta não somente a variação na resposta dos diversos indivíduos à fibra, mas também, que os diversos componentes da fibra alimentar apresentam efeitos nutricionais e fisiológicos diferenciados. Todavia, naquelas recomendações para ingesta diária foi considerada a fibra alimentar como um todo, e assim, não foram considerados como distintos os efeitos nutricionais e fisiológicos das fibras solúveis e insolúveis dos alimentos.

A maioria das evidências sobre o efeito da fibra alimentar na biodisponibilidade de outros nutrientes foram provenientes de ensaios com animais, incluindo o homem, tendo como fonte de fibra os diversos alimentos en natureza, e seus resultados foram portanto, frequentemente, de difícil interpretação, e algumas vezes, conflitantes. Ainda, muitos dos estudos precederam ao período em que se buscou uma maior compreensão a respeito dos constituintes da fibra alimentar e a concentração mais adequada para a fibra alimentar solúvel, insolúvel e total numa dieta normal.

A despeito da inconsistência dos resultados de algumas das pesquisas, parece evidente, pelos resultados de outras, que a absorção e o metabolismo de muitos, se não de todos,

nutrientes são afetados pela fibra alimentar. Alguns desses efeitos parecem ser nutricionalmente benéficos, enquanto outros não o são.

MATERIAL E MÉTODOS

1. Reagentes

Os reagentes usados nas determinações químicas foram todos de grau analítico e de diversas procedências, como da Merck, Sigma e Ecibra.

As enzimas utilizadas nas determinações bioquímicas tiveram as seguintes procedências: Sigma (pepsina, glicoamilase), Merck (pancreatina, alfa-amilase).

2. Fontes de fibra

Grãos integrais de feijão

Feijão (*Phaseolus vulgaris*) do cultivar "Carioca 80 SH", safra 1987, e procedente da Seção de Leguminosas do Instituto Agronômico de Campinas, foi a matéria-prima utilizada para obter as sete frações de fibra, avaliadas neste trabalho quanto a composição e às suas propriedades nutricionais.

Celulose de alta pureza

Celulose de elevado grau de pureza apresentando baixa ou alta densidade, foi utilizada como padrão de fibra alimentar em ensaios com animais de laboratório. O padrão de celulose de alta densidade foi obtido tratando hidrotermicamente (fervura por 1 hora) o padrão de celulose de baixa densidade.

3. Procedimentos para obtenção das frações de fibra

Os grãos integrais de feijão, após prévia lavagem e maceração com água destilada a 10 °C por 18 horas, em presença de cristais de timol adicionados para inibir a ocorrência de fermentação, foram triturados com água destilada em liquidificador durante 3 minutos para obter uma massa leitosa, a partir da qual foram extraídas as diversas frações de fibra, denominadas de I, II, III, IV, V, VI e VII, como o mostrado nas Figuras 1, 2 e 3.

Na obtenção das Frações de fibra I e II (Figura 1), a massa leitosa de grãos integrais de feijão foi submetida a uma lavagem exaustiva com água corrente em várias peneiras, 32 até 200 mesh, para se obter o resíduo, que permaneceu retido nas peneiras. Uma porção deste resíduo, depois de liofilizada e triturada em liquidificador, constituiu a Fração I. A outra porção foi submetida a tratamento térmico,

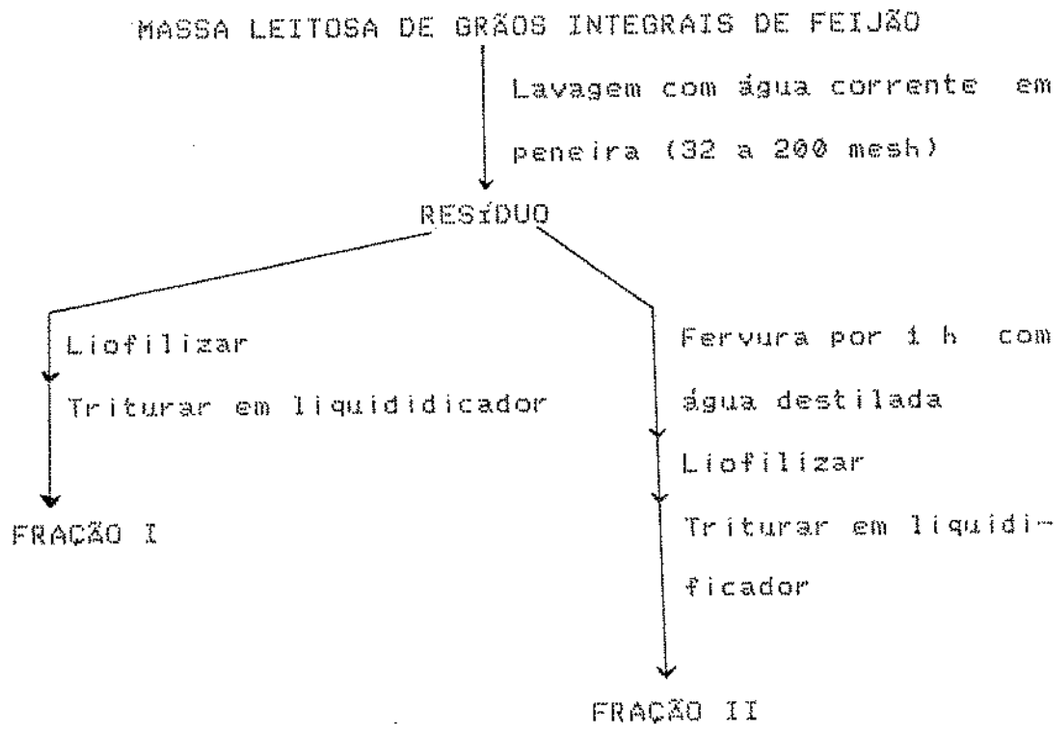

FIGURA 1. Procedimento para obtenção das frações fibrosas I e II.

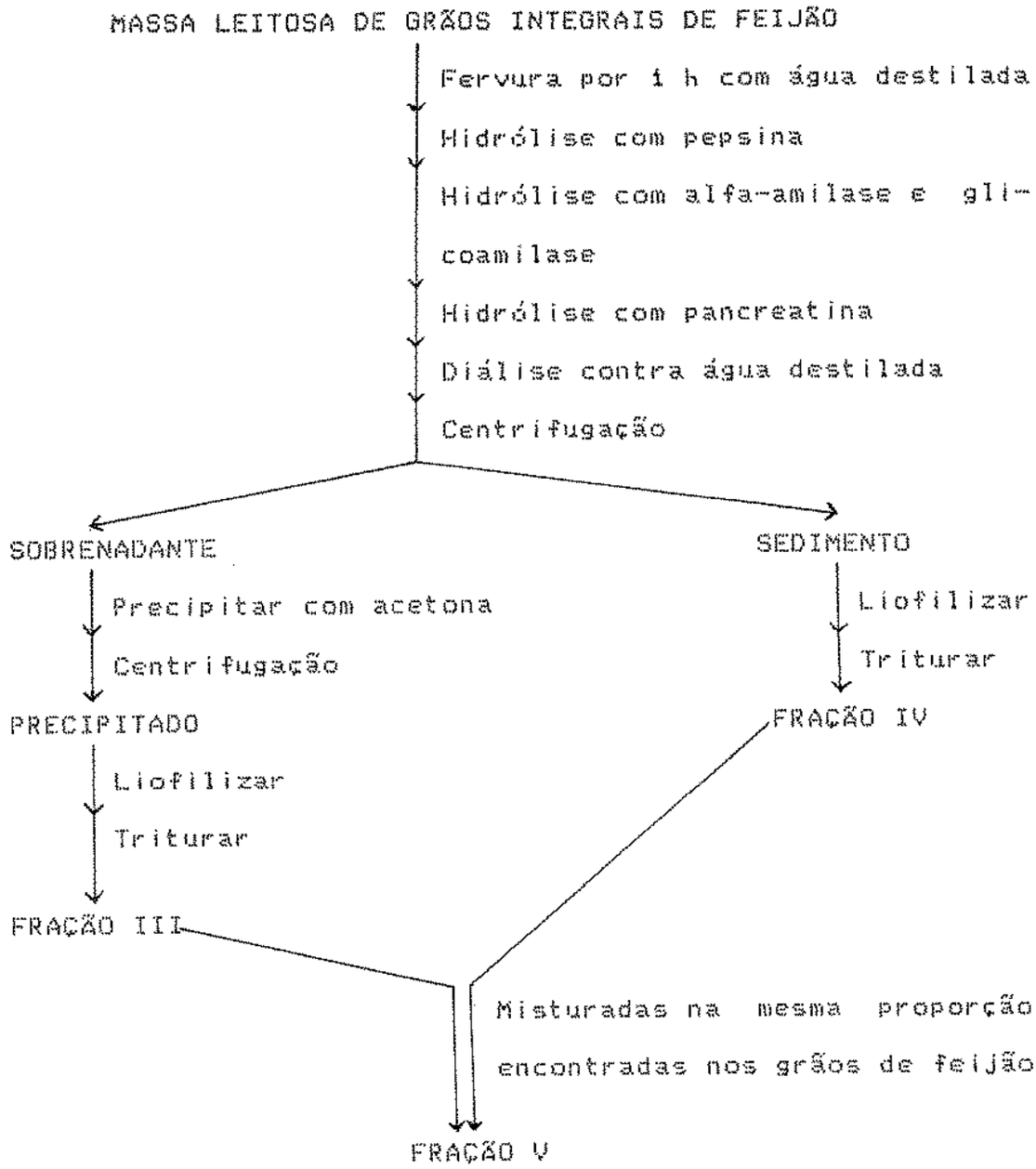

FIGURA 2. Procedimento para obtenção das frações fibrosas III, IV e V.

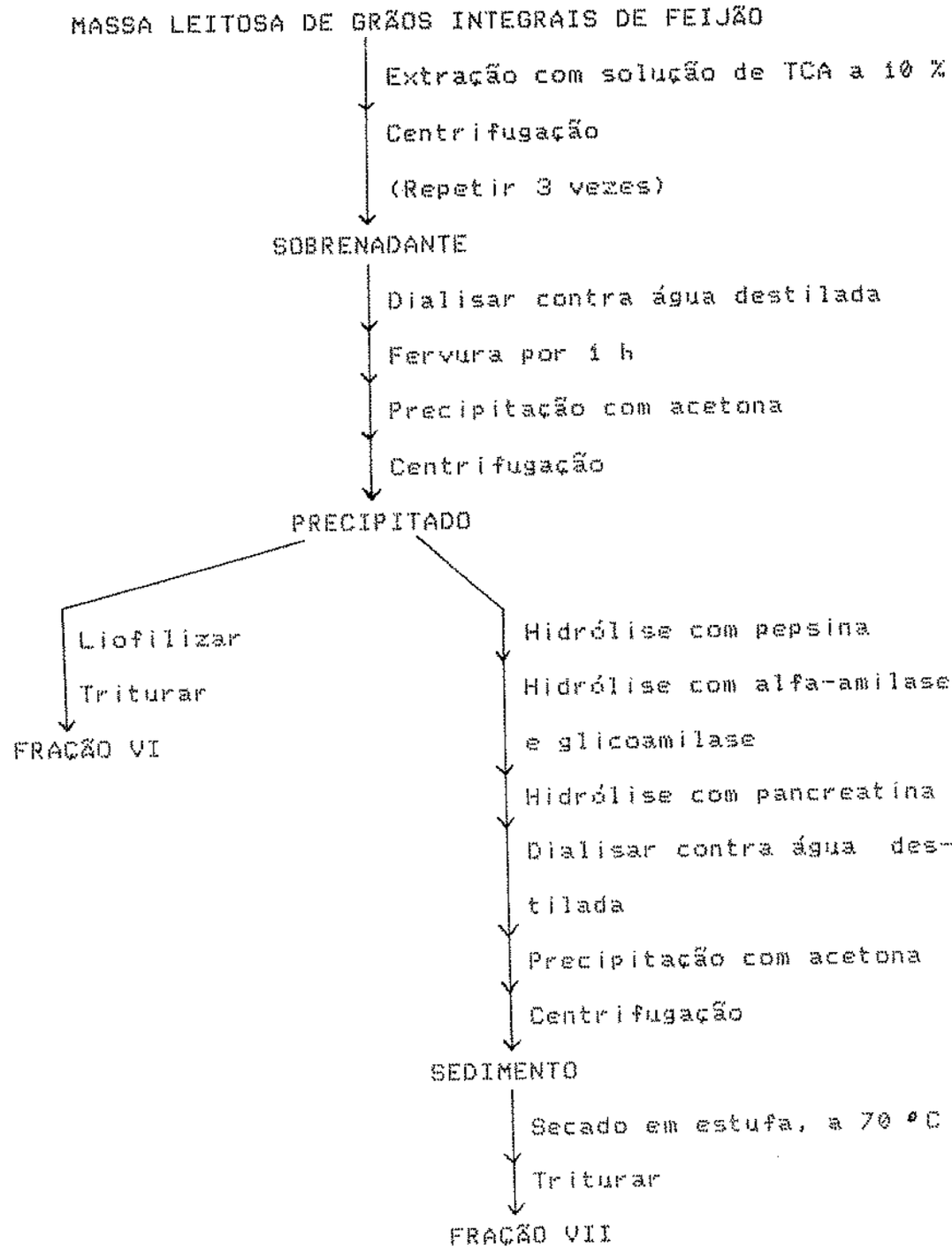

FIGURA 3. Procedimento para obtenção das frações fibrosas VI e VII.

fervura por 1 hora, em água destilada, liofilizada e triturada em liquidificador, para constituir a Fração II.

As Frações fibrosas designadas III, IV e V foram, igualmente obtidas a partir da massa leitosa dos grãos de feijão, através do procedimento de digestão enzimática *in vitro*, segundo Schweizer e Würsch (1979), com algumas modificações, seguido de diálise contra água destilada e centrifugação, como mostra a Figura 2. No citado procedimento, o qual recomenda a utilização das enzimas digestivas pepsina e pancreatina, além da glicoamilase de origem microbiana, foi acrescentado a alfa-amilase, para aumentar a eficiência no processo de hidrólise do amido. Alguns cristais de timol foram utilizados, para inibir a ocorrência de fermentação durante os procedimentos de digestão enzimática e diálise.

O procedimento de hidrólise com a pepsina (1 % p/p dos sólidos) ocorreu na temperatura ambiente, em pH 1,5 e teve 5 dias de duração. A hidrólise com a alfa-amilase (1 % p/p) e com a glicoamilase (0,5 % p/p) também foi conduzida na temperatura ambiente durante 5 dias, porém, em pH entre 5-6. O procedimento de hidrólise com a pancreatina (0,5 % p/p) teve a duração de 5 dias e ocorreu na temperatura ambiente, mas, o pH do meio foi ajustado para aproximadamente 8.

O procedimento de diálise contra água destilada foi conduzido na temperatura de geladeira durante 7 dias, trocando a água a cada 12 horas, visando remover os

constituintes de baixo peso molecular resultantes ou não da hidrólise enzimática.

Para separar as duas frações, a solúvel (III) e a insolúvel (IV), usou-se centrifugação (4.936 x g) a 4 °C por 20 minutos. O sedimento, depois de liofilizado e triturado, resultou na Fração IV. O sobrenadante, após precipitação com acetona p.a., na proporção de 1:4 v/v, foi centrifugado a 16.319 x g por 20 minutos, na temperatura de 4 °C, liofilizado e triturado (Fração III). A Fração V foi obtida, misturando-se as Frações III (solúvel) e IV (insolúvel), em quantidades proporcinais às encontradas nos grãos de feijão integral.

As Frações de fibra solúvel tipo goma, designadas de VI e VII, também foram isoladas a partir da massa leitosa de grãos integrais de feijão, como mostra a Figura 3. Uma solução aquosa de ácido tricloroacético (TCA) na concentração de 10 % p/v foi utilizada, e deixada em extração na proporção de 1 parte de massa leitosa de feijão integral para 6 partes desta solução, por 6 horas. A centrifugação a 16.319 x g por 30 minutos na temperatura de 4 °C permitiu a obtenção de um sobrenadante. Os procedimentos de extração e centrifugação foram repetidos por 3 vezes. Os sobrenadantes assim obtidos foram misturados, e após diálise contra água destilada durante 7 dias sob refrigeração e troca de água a cada 12 horas, foram submetidos a tratamento térmico (fervura por 1 hora). Acetona p.a. adicionada a estes sobrenadantes tratados termicamente, na proporção de 1 parte

de acetona para 4 partes dos sobrenadantes, permitiu obter um precipitado, o qual, depois de separado por centrifugação (16.319 x g por 20 minutos) sob refrigeração (4 °C), foi liofilizado e triturado, em liquidificador, para resultar na Fração VI.

Na obtenção da Fração VII, o precipitado por acetona foi submetido a digestão enzimática, segundo procedimento de Schweizer e Würsch (1979) modificado, como o mostrado na Figura 3, o qual foi igualmente aplicado para obtenção das Frações III, IV e V.

4. Determinações analíticas

Umidade

A umidade foi determinada segundo método descrito por Lees (1969), C-27c, que consiste em quantificar a perda de umidade em estufa, sob temperatura de 105 °C, adequada para a amostra.

Minerais (Cinzas)

A determinação foi feita segundo o método descrito por Lees (1969), c5. As cinzas equivalem ao resíduo inorgânico (minerais) que permanece depois de se calcinar a matéria orgânica de uma amostra analítica. A determinação das cinzas

fornece uma indicação da riqueza global em elementos minerais de um alimento.

Lipídios (Extrato etéreo)

Determinou-se segundo o método descrito pela AACC (1983), 30-25, o qual utiliza o aparelho de Goldfish. O solvente utilizado foi o éter etílico.

Proteínas (%N x 6,25)

A determinação foi feita segundo o método semimicro-Kjeldahl descrito na AOAC (1984), utilizando-se como catalisador, na digestão da matéria orgânica uma mistura de 92,5 % de sulfato de potássio, 6,5 % de sulfato de cobre e 1,0 % de óxido de titânio (Williams, 1973). O método de Kjeldahl determina o nitrogênio de uma amostra alimentícia, e consiste na destruição da matéria orgânica pelo ácido sulfúrico concentrado (d≥1,84) em ebulição, na presença de catalisadores, com a redução do nitrogênio das substâncias nitrogenadas em sulfato de amônio, que é estável nas condições de trabalho. O sulfato de amônio, na presença de hidróxido de sódio em excesso e sob aquecimento, libera a amônia que é destilada e recolhida em ácido bórico. O nitrogênio é então determinado por titulação com ácido clorídrico, e o resultado, obtido em "% N", multiplicado por

um fator de conversão, que neste trabalho foi utilizado o 6,25, resulta na "% de proteína" na amostra analisada.

Celulose e lignina

O conteúdo em fibra detergente ácido e em lignina foi determinado, respectivamente, segundo os métodos 7.071 e 7.072 descritos na AOAC (1984), e por diferença foi determinado o conteúdo em celulose.

Na determinação da fibra detergente ácido, a amostra foi extraída a quente através de uma solução ácida diluída contendo quantidades adequadas de brometo de cetil-trimetil-amônio, resultando num resíduo constituído de celulose e lignina.

A lignina da amostra foi determinada no resíduo detergente ácido, submetendo-o à hidrólise ácida com uma solução concentrada de ácido sulfúrico para remover a componente celulose. O resíduo obtido na filtração foi secado a 100 °C, até peso constante.

Resíduo da hidrólise com glicoamilase

As frações fibrosas obtidas do feijão "Carioca 80 SH" e a celulose (padrão) foram tratadas, em condições adequadas, com a enzima glicoamilase para hidrólise do amido. O resíduo resultante dessa hidrólise foi recuperado

por precipitação com etanol e centrifugação, e a seguir, secado a 105 °C para remoção da água, e depois, pesado.

Este procedimento foi aplicado para a determinação indireta dos carboidratos hidrolisáveis pela enzima glicoamilase, dos quais o amido foi o principal.

Fibra alimentar

Na determinação analítica da fibra alimentar total foi levado em consideração a sua definição fisiológica. O método de Schweizer e Würsch (1979), por estar dentre os que mais se aproximam desta definição, foi o escolhido, e consiste na hidrólise *in vitro* do material alimentício pelas enzimas digestivas pepsina e pancreatina, além das enzimas amilolíticas não-digestivas, a glicoamilase e a alfa-amilase.

O material indigerível foi recuperado por precipitação com etanol p.a. na concentração de 80 % de etanol, e seguido de centrifugação a 16.319 x g, e contém os componentes fibrosos de natureza carboidrática solúveis e insolúveis, além de outros componentes igualmente indigeríveis naquelas condições.

5. Ensaios biológicos

Material e animais para os ensaios

Para os ensaios biológicos utilizou-se ingredientes comerciais de diversas procedências, como segue: (a) caseína comercial proveniente da Indústria e Comércio de Laticínios Tacrigy Ltda contendo 97,6 % de proteína, em base seca, (b) óleo refinado de soja, (c) amido de milho, tendo como fonte o produto maizena, (d) mistura vitamínica, que teve a composição apresentada no Quadro 4, e foi preparada pela Roche segundo recomendação da NBC (1977/78), (e) mistura de sais minerais (Quadro 5), preparada em nosso laboratório segundo Rogers e Harper (1965) utilizando-se reagentes p.a. provenientes da Merck e Sigma, e, (f) ração comercial Du Coelho, Anhanguera-Duratex S.A., com teor de proteína (%N x 6,25) igual a 17,0 %, valor fornecido pelo fabricante.

As gaiolas foram do tipo metabólica individuais, construídas em aço inóx, e foram mantidas em prateleiras.

Os animais utilizados nos ensaios biológicos foram ratos albinos, fêmeas da linhagem Wistar, fornecidas pelo biotério central da Unicamp, Campinas, SP.

Preparo das dietas teste e padrão

As dietas foram preparadas, basicamente, segundo Geervani e Theophilus (1981), para conter as concentrações

de caseína, óleo, mistura salina e mistura vitamínica mostradas no Quadro 6.

As diferentes frações fibrosas, isoladas dos grãos integrais do feijão "Carioca 80 SH", assim como a celulose (padrão), entraram nas dietas como fonte de fibra, em teores que variaram 3 % a 9 %. As dietas foram completadas a 100 % com amido de milho, sendo esta a principal fonte de carboidrato digerível. As formulações das dietas estão apresentadas nos Quadros 7, 8 e 9, respectivamente.

Procedimento de ensaio

Durante os ensaios biológicos os ratos foram mantidos, individualmente, nas gaiolas metabólicas, as quais, permitem a separação de fezes e urina, sob temperatura ambiente dentro da faixa de neutralidade térmica para o rato (22 ± 1 °C), umidade relativa entre 50-60 %, e com ciclos de luz artificial-escuro de 12 horas, alternados.

Os ratos recém-desmamados, de aproximadamente 21 dias, foram alimentados com ração comercial e água *ad libitum* por um período de aclimatação, que teve dois dias de duração.

A distribuição dos ratos nos grupos que receberam os diferentes tratamentos foi feita após pesagem e depois do período de aclimatação, através de sorteio ao acaso (blocos casualizados).

QUADRO 4. Mistura vitamínica utilizada na formulação das dietas ensaiadas.

Componentes	g/1.000 g
Vitamina A	3,60
Vitamina D	1,00
Alfa-tocoferol	10,00
Ácido ascórbico	45,00
Cloridrato de tiamina (vitamina B1)	1,00
Cloridrato de piridoxina (vitamina B6)	1,00
Biotina	0,02
Riboflavina (vitamina B2)	1,00
Vitamina B12	1,35
Pantotenato de cálcio	3,00
Ácido fólico	0,09
Inositol	5,00
Menadiona	2,25
Ácido p-aminobenzóico	5,00
Niacina	4,50
Cloreto de colina	150,00
Sacarose	q.s.p.

Fonte: NRC (1977/78).

QUADRO 5. Mistura salina utilizada na formulação das dietas ensaiadas.

Componentes	g/1000 g
Molibdato de amônio	0,030
Carbonato de cálcio	292,900
Fosfato de cálcio	4,300
Sulfato cúprico	5,160
Citrato férrico	6,200
Sulfato de magnésio	99,800
Sulfato de manganês	1,210
Iodeto de potássio	0,005
Fosfato de potássio	343,100
Cloreto de sódio	250,600
Selenito de sódio	0,020
Cloreto de zinco	0,200

Fonte: Rogers e Harper (1965).

QUADRO 6. Formulação básica utilizada para o preparo das dietas ensaiadas.

Componentes	g/100 g
Caseína	10,00
óleo	8,00
Mistura salina (a)	4,00
Mistura vitamínica (b)	2,00

(a) Formulação de Rogers e Harper (1965), mostrada no Quadro 5; (b) Formulação da NBC (1977/78), mostrada no Quadro 4.

QUADRO 7. Formulação (g/100 g) das dietas utilizadas no primeiro ensaio de balanço, em ratos.

Dietas	Fonte Fibrosa			Amido	Formulação
	I	II	CP		Básica
I (Exp)	3	-	-	73	24
II (Exp)	-	3	-	73	24
CP	-	-	3	73	24
I (Exp)	6	-	-	70	24
II (Exp)	-	6	-	70	24
CP	-	-	3	70	24
I (Exp)	9	-	-	67	24
II (Exp)	-	9	-	67	24
CP	-	-	9	67	24

I,II = fontes fibrosas isoladas em peneira, respectivamente sem e com tratamento térmico (Fig. 1); CP = padrão de celulose de baixa densidade; A maizena foi a fonte de amido; A formulação básica está apresentada no Quadro 6; As dietas I,II foram experimentais e a CP foi padrão.

QUADRO 8. Formulação (g/100 g) das dietas utilizadas no segundo ensaio de balanço, em ratos.

Dietas	Fonte Fibrosa			Amido	Formulação
	III	IV	V		Básica
III (Exp)	3	-	-	73	24
IV (Exp)	-	3	-	73	24
V (Exp)	-	-	3	73	24
III (Exp)	6	-	-	70	24
IV (Exp)	-	6	-	70	24
V (ExP)	-	-	6	70	24
III (Exp)	9	-	-	67	24
IV (Exp)	-	9	-	67	24
V (Exp)	-	-	9	67	24

III,IV,V = Frações fibrosas solúveis, insolúveis, e a mistura de ambas, obtidas da digestão enzimática (Fig. 2); A maizena foi a fonte de amido; A formulação básica está apresentada no Quadro 6; As dietas experimentais foram III, IV e V.

QUADRO 9. Formulação (g/100 g) das dietas utilizadas no terceiro ensaio de balanço, em ratos.

Dietas	Fonte Fibrosa			Amido	Formulação Básica
	VI	VII	CP		
VI (Exp)	3	-	-	73	24
VII (Exp)	-	3	-	73	24
CP	-	-	3	73	24
VI (Exp)	6	-	-	70	24
VII (Exp)	-	6	-	70	24
CP	-	-	6	70	24
VI (Exp)	9	-	-	67	24
VII (Exp)	-	9	-	67	24
CP	-	-	9	6	24

VI = Fração extraída com solução de TCA 10 % (Fig.3); VII= Fração VI tratada enzimaticamente (Fig. 3); CP = padrão de celulose de alta densidade; A maizena foi a fonte de amido; A formulação básica está apresentada no Quadro 6; As dietas VI,VII foram experimentais e a CP foi padrão.

Foram testados, em três ensaios de balanço, um total de vinte e sete tratamentos diferenciados, com variações no tipo e no teor da fonte fibrosa.

No primeiro, foram testadas três diferentes fontes de fibra, a saber, Frações I e II, e celulose padrão de baixa densidade (CP), em três níveis nas dietas, 3 %, 6 % e 9 %. Um total de 54 ratos foram utilizados neste ensaio, e constituiram nove grupos de 6 ratos.

No segundo, foram testadas, em nove grupos de 6 ratos, outras três fontes de fibra, Frações III, IV e V, em teores de 3 %, 6 % e 9 %, nas dietas.

E no terceiro ensaio, foram testadas mais outras três diferentes fontes de fibra, Frações VI e VII, e celulose padrão de alta densidade (CP), em teores nas dietas de 3 %, 6 % e 9 %, também em nove grupos de 6 ratos.

Os ensaios tiveram duração de oito dias, sendo os três primeiros dias de adaptação, às dietas teste e padrão, e, os cinco finais, destinados à coleta de urina e de fezes, além da averiguação do consumo de dieta. A urina, coletada em Erlenmeyer contendo 10 mL de solução de ácido sulfúrico a 20 %, foi diluída com água até o volume de 100 mL e mantida a 10 °C até o momento de dosagem do nitrogênio. As fezes foram secas sob temperatura ambiente, durante sete dias, trituradas em liquidificador e guardadas em frascos herméticos, armazenados em temperatura abaixo de 0 °C, até serem feitas as determinações analíticas de cinzas e nitrogênio. A ingesta alimentar foi medida cuidadosamente,

levando-se em consideração todo o alimento jogado fora dos comedouros pelos animais, e evitando-se ao máximo a mistura de alimentos com as fezes e/ou urina.

Parâmetros avaliados nos ensaios

Ingesta alimentar

A ingesta alimentar (IA) foi cuidadosamente medida e calculada em peso seco, levando-se em consideração todo o alimento jogado fora dos comedouros pelos ratos.

Ingesta de um componente na dieta e sua excreção nas fezes e na urina

Para o cálculo da ingesta de um componente da dieta foi feito, primeiramente, sua determinação em percentagem (b. s.) na dieta. O resultado obtido, multiplicado pela ingesta alimentar e dividido por 100, resultou na ingesta daquele componente. Dessa forma foram determinadas as ingestas de nitrogênio e minerais, sendo que, a ingesta em matéria orgânica não-nitrogenada foi calculada por diferença em peso.

O cálculo da excreção fecal em nitrogênio e em minerais foi feito determinando-se seus teores (b. s.) nas fezes. O resultado obtido multiplicado pelo resíduo fecal e dividido por 100 forneceu a quantidade de material excretado

nas fezes. A matéria orgânica não-nitrogenada foi calculada por diferença em peso.

A excreção urinária de nitrogênio foi determinada, quantificando-o na urina coletada durante os ensaios biológicos.

Taxa da ingesta alimentar excretada como resíduo fecal

O cálculo foi feito dividindo o peso seco do resíduo fecal pelo peso seco da ingesta alimentar, e o resultado foi expresso em percentagem.

$$TexRF\ (\%) = \frac{\text{Resíduo fecal}}{\text{Ingesta alimentar}} \times 100$$

Digestibilidade aparente da proteína e da matéria orgânica não-nitrogenada

A determinação da digestibilidade aparente dos componentes da dieta, foi feita com base na quantificação da ingesta do componente e de sua excreção nas fezes. Dessa forma, foi calculada a digestibilidade aparente da proteína (DaP) (Sgarbieri, 1987) e da matéria orgânica não-nitrogenada (DaMONN) da dieta, e, o resultado expresso em percentagem.

$$Da\ (\%) = \frac{\text{Componente ingerido} - \text{componente nas fezes}}{\text{Componente ingerido}} \times 100$$

Taxa de absorção em minerais

A determinação foi feita com base na quantificação de sua ingesta na dieta e excreção nas fezes, e o resultado expresso em percentagem.

$$TAM\ (\%) = \frac{\text{Mineral ingerido} - \text{mineral nas fezes}}{\text{Mineral ingerido}} \times 100$$

Valor biológico aparente da proteína

O valor biológico aparente da proteína (VBaP) foi definido como o quociente do nitrogênio retido no organismo do animal pelo nitrogênio absorvido (Sgarbieri, 1987), e o resultado obtido expresso em percentagem.

$$VBaP\ (\%) = \frac{\text{Nitrogênio retido}}{\text{Nitrogênio absorvido}} \times 100$$

O nitrogênio absorvido (NA) e o nitrogênio retido (NR) foram calculados como segue:

NA = Nitrogênio ingerido - nitrogênio fecal

NR = Nitrogênio ingerido - (nitrogênio fecal + nitrogênio urinário)

Utilização biológica líquida aparente da proteína

A utilização biológica líquida aparente da proteína (NPUa) foi definida como o quociente do nitrogênio retido no organismo pelo nitrogênio ingerido, e o resultado expresso em percentagem. Ao contrário do VBaP, no cálculo do NPUa é levado em consideração a digestibilidade da proteína (Sgarbieri, 1987).

$$NPUa\ (\%) = \frac{\text{Nitrogênio retido}}{\text{Nitrogênio ingerido}} \times 100$$

6. Análise estatística

As médias e os desvios padrão dos valores experimentais, calculadas para cada grupo de animais ensaiados, foram comparadas através da análise de variância, com posterior aplicação do teste de Scott-Knott para agrupamento das médias. Para tanto foi aplicado um programa estatístico informatizado produzido na Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ensaios de balanço com ratos foram aplicados para avaliar o perfil nutricional, em dietas experimentais, de diversas frações solúveis e insolúveis componentes da fibra alimentar do feijão (*Phaseolus vulgaris*) "Carioca 80 SH", e também, da fibra padrão, celulose, para comparação.

1. Caracterização química e rendimento das frações fibrosas, e caracterização química da fibra padrão

As frações fibrosas testes, obtidas dos grãos de feijão "Carioca 80 SH", e a fibra padrão, celulose, foram parcialmente caracterizadas, e os resultados são mostrados nos Quadros 10 e 11.

O resultado da composição centesimal bem como da concentração percentual em polissacarídeos e em resíduo da digestão enzimática *in vitro* determinado, analiticamente, para a Fração II foi considerado também para a Fração I, pois, no procedimento de obtenção, a Fração I tratada termicamente resultou na Fração II.

Na Fração II, o componente celulose foi quantificado em 32,93 %, os polissacarídeos hidrolisáveis pela enzima

BIBLIOTECA CENTRAL

QUADRO 10. Composição química (%, b.s.) das frações fibrosas extraídas de grãos integrais do feijão "Carioca 80 SH" e da fibra padrão.

Componentes	Frações Fibrosas						Fibra Padrão (celulose)
	II	III	IV	V	VI	VII	
Proteína (%N x 6,25)	11,12	36,44	23,31	27,94	8,06	5,50	0,31
Minerais (cinzas)	2,31	18,49	8,15	11,79	5,88	10,55	0,24
Lipídios (extrato etéreo)	0,87	0,11	0,15	0,10	0,29	0,26	0,00
Lignina	7,29	2,05	9,95	7,17	0,73	0,73	0,04
Carboidratos (diferença)	78,41	42,91	58,44	53,00	85,04	82,96	99,41

II. Fração fibrosa isolada em peneira (Fig. 1); III,IV. Fração solúvel e insolúvel obtidas da digestão enzimática (Fig. 2); V. Combinação de III + IV nas proporções encontradas no feijão integral (Fig. 2); VI. Fração extraída com solução de TCA 10 % (Fig. 3); VII. Fração VI tratada enzimaticamente (Fig. 3).

QUADRO 11. Resíduo da digestão enzimática *in vitro* e polissacarídeos (%, b.s.) determinados nas fontes fibrosas extraídas de grãos integrais do feijão "Carioca 80 SH" e na fibra padrão.

Especificação	Frações fibrosas						Fibra Padrão (celulose)
	II	III	IV	V	VI	VII	
Resíduo da digestão enzimática (RDE)	67,27	84,93	87,34	86,49	55,31	89,92	100,00
Polissacarídeos							
Celulose	32,93	3,24	45,44	30,59	2,45	2,50	99,37
Não-celulósicos							
Hidrolisáveis pela glicoamilase	29,42	8,48	6,76	7,36	39,40	7,12	0,00
Não-hidrolisáveis	16,06	31,19	6,24	15,05	43,19	73,34	0,03

II. Fração fibrosa isolada em peneira (Fig. 1); III e IV. Fração solúvel e insolúvel obtidas da digestão enzimática (Fig. 2); IV. Combinação de III + IV nas proporções encontradas no feijão integral (Fig. 2); VI. Fração extraída com solução de TCA 10 % (Fig. 3); VII. Fração VI tratada enzimaticamente (Fig. 3).

glicoamilase em 29,42 % (Quadro 11) e os polissacarídeos não-celulósicos não-hidrolisáveis também pela glicoamilase foram quantificados por diferença percentual em 16,06 %, enquanto que, a fibra padrão foi constituída quase que exclusivamente do componente celulose, estimado em 99,37 %.

A Fração II foi submetida a procedimentos de hidrólise, *in vitro*, utilizando-se as enzimas digestivas, e resultou em resíduo, o qual, após secagem em estufa a 105 °C foi estimado em 67,27 % (Quadro 11), em peso. Já, a fibra padrão resistiu integralmente àquela digestão enzimática.

As fontes fibrosas III e IV apresentaram concentrações baixas de componentes carboidratos indigeríveis. A concentração em proteína ainda permaneceu elevada em 36,44 % e 23,31 %, e a concentração em minerais, também, foi alta e estimada em 18,49 % e 8,15 % (Quadro 10), respectivamente. Da redução, em peso, igual a 15,07 % para a Fração III e 12,66 % para a Fração IV, de ocorrência na determinação analítica de digestão enzimática *in vitro*, 8,48 % e 6,76 % (Quadro 11) foram, respectivamente, de polissacarídeos hidrolisáveis pela enzima glicoamilase.

Os componentes carboidratos indigeríveis, a celulose e os polissacarídeos não-celulósicos, não-hidrolisáveis pela glicoamilase, foram quantificados em 3,24 % e 31,19 % (Quadro 11), respectivamente, na Fração III. A Fração IV, no entanto, apresentou teor em celulose quatorze vezes mais elevado, e igual a 45,44 %, e teor em polissacarídeos não-celulósicos, não-hidrolisáveis pela glicoamilase de 6,24 %,

valor percentual cerca de cinco vezes mais baixo que na Fração III.

Na caracterização química das fontes fibrosas VI e VII, o procedimento analítico de digestão enzimática, *in vitro*, mostrou que a Fração VI ainda continha cerca de 45 % de seu peso em constituintes digeríveis pelas enzimas dos sucos gastro-intestinais animal (Quadros 10 e 11), enquanto que na Fração VII estes contituintes foram em grau bem menor, cerca de 10 %.

Ambas as Frações VI e VII, apresentaram concentrações baixas e semelhantes para o componente celulose, estimadas respectivamente em 2,45 % e 2,50 %, mas, diferiram nas concentrações de polissacarídeos não-celulósicos, não-hidrolisáveis pela glicoamilase, estimadas em 43,19 % e 73,34 %, respectivamente.

O acréscimo do procedimento da digestão enzimática *in vitro* para a obtenção da Fração VII, a partir da Fração VI, baixou a concentração de proteína em 2,56 % e de carboidratos em 2,08 % e elevou a concentração de minerais em 4,67 %. As concentrações de proteína nas fontes fibrosas solúveis VI e VII foram, respectivamente, cerca de 4,5 e 6,6 vezes menor que a concentração na fonte fibrosa III, também solúvel. As concentrações em minerais foram também menores, cerca de 3,1 e 1,7 vezes, respectivamente, daquelas na fonte fibrosa III.

As Frações I e II, extraídas de grãos integrais do feijão "Carioca 80 SH" através da lavagem com água, em peneira (Figura 1), apresentaram rendimento, em peso seco,

de 15,69 %. O rendimento em peso seco das Frações III (solúvel) e IV (insolúvel), extraídas também de grãos integrais do feijão "Carioca 80 SH" e utilizando o procedimento da digestão enzimática *in vitro* (Figura 2), foi igual a 6,0 % e 11,05 %, respectivamente. As Frações VI e VII, ambas obtidas de grãos integrais do feijão "Carioca 80 SH", a primeira através de procedimento único de extração com solvente aquoso contendo ácido tricloroacético (TCA) e a segunda através da conjugação de dois procedimentos, o de extração com TCA e o de digestão enzimática, (Figura 3) renderam 4,02 % e 2,50 %, respectivamente.

Uma fração hidrossolúvel com alta viscosidade foi igualmente isolada, utilizando-se a solução aquosa extratora contendo TCA a 10 %, da farinha integral de feijão "Black Gram" (*Ph. mungo*) e rendeu 4,5 %, em peso (Susheelamma & Rao, 1978), e também da farinha integral de feijão "Great Northern" (*Ph. vulgaris*), e rendeu 2,5 %, em peso (Sathe & Salunkhe, 1981). Tais frações apresentaram conteúdos de 3,75 a 6,98 % para a proteína, foram constituídas de arabinose, galactose, ácido galacturônico e raminose, e suas viscosidades mostraram ser dependentes da concentração, temperatura e pH. A viscosidade da fração isolada do feijão "Great Northern" (*Ph. vulgaris*) foi 9,8 e 5,8 vezes mais alta do que o amido solúvel e a goma gati, respectivamente, na concentração máxima testada de 1 % (p/v).

Polissacarídeos hidrossolúveis, não-amiláceos, conjugados com proteínas não-dialisáveis e não-precipitáveis com

ácido tricloroacético, foram também obtidos de grãos de feijão 'Navy' e 'Pinto' (*Ph. vulgaris*) nas respectivas quantidades de 0,18 % e 0,54 % do peso seco da farinha, por Naivikul e D'Appolonia (1979). O conteúdo em proteína foi alto e igual a 24,3 % e 13 %, respectivamente para os feijões 'Navy' e 'Pinto'. Os polissacarídeos não-amiláceos e hidrossolúveis de ambos os feijões foram constituídos principalmente de arabinose, contendo quantidades menores de xilose, glicose e galactose.

Quantidades mínimas de 15,6 % até um máximo de 30,0 % foram determinadas, analiticamente, para a fibra alimentar de alguns feijões *Ph. vulgaris*, por vários pesquisadores, como Cummings e Englyst (1987), Olson e colab. (1987), Becker e colab. (1986) e Southgate (1978).

2. Ensaios biológicos

Todas as frações fibrosas obtidas de grãos integrais do feijão 'Carioca 80 SH', e denominadas de I, II, III, IV, V, VI e VII, bem como a fibra celulose utilizada como padão, foram avaliadas com relação ao perfil nutricional em dietas experimentais para ratos, em ensaios de balanço metabólico.

Um total de vinte e sete tratamentos foram testados em três ensaios biológicos, diferenciados quanto ao tipo e/ou conteúdo das fontes fibrosas, as quais entraram na formulação das dietas como fonte primária de fibra alimentar ou de seus componentes.

Em todos os experimentos foram coletadas as fezes e a urina, calculada a ingesta alimentar, e determinado o ganho em peso para cada rato. As proteínas e os minerais foram determinados analiticamente na ingesta e nas fezes, porém, a matéria orgânica não-nitrogenada foi calculada por diferença percentual. Na urina, somente o nitrogênio foi quantificado. Os Apêndices A, B e C mostram a composição das diferentes dietas experimentais.

Os resultados obtidos nos ensaios biológicos são mostrados nos Quadros de 12 a 26. Os valores do ganho de peso médio dos animais estão no Quadro 12. Os valores experimentais e calculados da ingesta alimentar (IA), ingesta da fração fibrosa (FFI), resíduo fecal (RF) e taxa de excreção em resíduo fecal (TexRF) estão apresentados nos Quadros 13, 14 e 15, respectivamente. Os valores percentuais de degradação mínima no trato digestivo dos ratos calculados para a fração fibrosa (FF) e seus componentes, carboidratos (Ch. total) e polissacarídeos não-celulósicos não-hidrolisáveis (PNCNH), estão nos Quadros 16 e 17. O balanço de nitrogênio nos ratos ensaiados, e também, os valores calculados para a digestibilidade aparente (DaP), para o valor biológico aparente (VBaP) e para a utilização líquida aparente (NPUa) da proteína da dieta estão mostrados nos Quadros 18, 19 e 20; o balanço enterogástrico dos minerais nos Quadros 21, 22 e 23; e o balanço enterogástrico da matéria orgânica não-nitrogenada nos Quadros 24, 25 e 26.

QUADRO 12. Valores médios (g/dia) do ganho em peso, para ratos em dietas diferenciadas no tipo e no conteúdo da fonte fibrosa.

Fonte fibrosa	Nível na dieta 3%	6%	9%
		Primeiro ensaio	
I	2,14 b (0,79)	1,90 b (1,06)	0,77 c (0,84)
II	4,34 a (0,33)	4,12 a (0,77)	3,89 a (1,02)
Padrão	3,83 a (1,36)	3,93 a (0,52)	4,53 a (0,19)
		Segundo ensaio	
III	2,80 a (0,76)	2,71 a (0,49)	1,08 b (1,06)
IV	2,93 a (0,62)	3,07 a (0,39)	2,98 a (0,56)
V	2,85 a (0,81)	2,44 a (0,58)	2,12 a (0,51)
		Terceiro ensaio	
VI	3,71 a (0,78)	3,40 a (0,73)	2,45 b (0,76)
VII	2,94 b (0,76)	2,84 b (0,22)	2,07 b (0,47)
Padrão	3,57 a (0,48)	3,92 a (0,77)	3,89 a (1,07)

Os valores representam a média de seis ratos, em gramas por dia; () contém o desvio padrão; Letras iguais em cada ensaio, não há diferença significativa ($p<0,05$) entre médias; I,II=Frações fibrosas isoladas em peneira (Fig.1); III,IV,V= Frações fibrosas solúvel,insolúvel,mistura de ambas, obtidas da digestão enzimática (Fig. 2); VI,VII = Frações fibrosas extraídas com solução de TCA 10 %, não tratada e tratada enzimaticamente (Fig. 3); Padrão = celulose de alta pureza.

QUADRO 13. Valores médios da ingesta alimentar (IA), da fonte fibrosa ingerida (FFI), do resíduo fecal (RF) e da taxa de excreção da ingesta como resíduo fecal (TexRF), para ratos do primeiro ensaio em dietas diferenciadas no tipo e no conteúdo da fonte fibrosa.

Fonte fibrosa		IA	FFI	RF	TexRF
Nível	Tipo	(g/dia)	(g/dia)	(g/dia)	(%)
3%	I	9,197 c (1,463)	0,277 (0,043)	0,405 d (0,090)	4,45 f (1,10)
	II	12,532 b (0,789)	0,377 (0,023)	0,498 d (0,122)	3,95 f (0,85)
	Padrão	12,540 b (2,334)	0,378 (0,069)	0,643 c (0,142)	5,12 e (0,34)
6%	I	8,033 c (0,786)	0,480 (0,047)	0,508 d (0,094)	6,30 d (0,72)
	II	11,402 b (1,690)	0,682 (0,101)	0,683 c (0,105)	6,00 d (0,28)
	Padrão	12,593 b (1,508)	0,757 (0,091)	0,920 b (0,147)	7,28 c (0,45)
9%	I	6,470 d (0,837)	0,582 (0,077)	0,578 c (0,072)	8,97 b (0,72)
	II	12,082 b (1,910)	1,090 (0,173)	0,908 b (0,180)	7,48 c (0,37)
	Padrão	14,383 a (0,970)	1,295 (0,090)	1,490 a (0,178)	10,34 a (0,71)

Os valores absolutos representam a média de seis ratos, em gramas por dia; ( ) contém o desvio padrão; Letras iguais na vertical não há diferença significativa ($p<0,05$) entre médias; I,II = Frações fibrosas isoladas em peneira (Fig.1); Padrão = celulose de baixa densidade.

QUADRO 14. Valores médios da ingesta alimentar (IA), da fonte fibrosa ingerida (FFI), do resíduo fecal (RF) e da taxa de excreção da ingesta como resíduo fecal (TexRF), para ratos do segundo ensaio em dietas diferenciadas no tipo e no conteúdo da fonte fibrosa.

Fonte fibrosa		IA	FFI	RF	TexRF
Nível	Tipo	(g/dia)	(g/dia)	(g/dia)	(%)
3%	III	9,507 a (0,501)	0,287 (0,014)	0,513 d (0,031)	5,41 e (0,32)
	IV	8,493 b (1,041)	0,253 (0,029)	0,470 d (0,101)	5,49 e (0,50)
	V	9,353 a (0,646)	0,280 (0,018)	0,517 d (0,076)	5,50 e (0,52)
6%	III	9,680 a (0,481)	0,580 (0,031)	0,713 c (0,065)	7,36 d (0,32)
	IV	10,283 a (0,536)	0,620 (0,032)	0,857 b (0,063)	8,32 c (0,20)
	V	9,070 a (0,807)	0,547 (0,049)	0,720 c (0,059)	7,94 c (0,07)
9%	III	7,297 c (0,795)	0,657 (0,073)	0,733 c (0,068)	10,07 b (0,27)
	IV	9,997 a (0,549)	0,900 (0,047)	1,187 a (0,100)	11,86 a (0,65)
	V	9,520 a (1,173)	0,857 (0,107)	1,090 a (0,206)	11,38 a (0,84)

Os valores absolutos representam a média de seis ratos, em gramas por dia; ( ) contém o desvio padrão; Letras iguais na vertical não há diferença significativa ($p<0,05$) entre médias; III, IV, V= Frações fibrosas solúvel, insolúvel, mistura de ambas, obtidas da digestão enzimática (Fig. 2).

QUADRO 15. Valores médios da ingesta alimentar (IA), da fonte fibrosa ingerida (FFI), do resíduo fecal (RF) e da taxa de excreção da ingesta como resíduo fecal (TexRF), para ratos do terceiro ensaio em dietas diferenciadas no tipo e no conteúdo da fonte fibrosa.

Fonte fibrosa		IA	FFI	RF	TexRF
Nível	Tipo	(g/dia)	(g/dia)	(g/dia)	(%)
3%	VI	8,708 b (1,439)	0,260 (0,043)	0,260 d (0,047)	3,00 f (0,43)
	VII	8,453 b (1,846)	0,253 (0,058)	0,337 d (0,099)	3,92 e (0,41)
	Padrão	8,917 b (0,683)	0,268 (0,021)	0,473 c (0,064)	5,30 c (0,49)
6%	VI	8,488 b (1,136)	0,510 (0,069)	0,370 d (0,100)	4,32 e (0,91)
	VII	7,960 b (1,139)	0,477 (0,068)	0,377 d (0,065)	4,72 d (0,23)
	Padrão	10,062 a (1,657)	0,603 (0,101)	0,848 b (0,168)	8,39 b (0,52)
9%	VI	7,073 b (1,509)	0,637 (0,137)	0,295 d (0,110)	4,11 e (0,75)
	VII	8,050 b (0,841)	0,723 (0,076)	0,467 d (0,059)	5,81 c (0,55)
	Padrão	10,033 a (1,624)	0,902 (0,148)	1,140 a (0,158)	11,39 a (0,36)

Os valores absolutos representam a média de seis ratos, em gramas por dia; ( ) contém o desvio padrão; Letras iguais na vertical não há diferença significativa ($p<0,05$) entre médias; VI,VII = Frações fibrosas extraídas com solução de TCA 10 %, não tratada e tratada enzimaticamente (Fig.3); Padrão= celulose de alta densidade.

QUADRO 16. Valores médios (%) para o mínimo de degradação da fonte fibrosa VI e seus componentes, fração de carboidratos e de polissacarídeos não-celulósicos não-hidrolisáveis *in vitro* pela glicoamilase, no trato digestivo dos ratos, em dietas diferenciadas no conteúdo da fonte fibrosa.

Conteúdo da fonte fibrosa VI na dieta	Fonte fibrosa global	Carboidratos da fonte fibrosa	PNCNH da fonte fibrosa
3%	nd	49,46 (7,28)	0,21 (15,69)
6%	28,04 (15,16)	58,12 (16,09)	19,54 (30,90)
9%	54,35 (8,28)	76,45 (5,26)	45,78 (12,08)

Os valores percentuais representam a média de seis ratos; ( ) contém o desvio padrão; A fração fibrosa VI foi extraída com solução de TCA 10 % (Fig.3); PNCNH= polissacarídeos não-celulósicos, não-hidrolisáveis da fração fibrosa VI; nd= não determinável.

QUADRO 17. Valores médios (%) para o mínimo de degradação da fonte fibrosa VII e seus componentes, fração de carboidratos e de polissacarídeos não-celulósicos não-hidrolisáveis *in vitro* pela glicoamilase, no trato digestivo dos ratos, em dietas diferenciadas no conteúdo da fonte fibrosa.

Conteúdo da fonte fibrosa VI na dieta	Fonte fibrosa global	Carboidratos da fonte fibrosa	PNCNH da fonte fibrosa
3%	nd	46,88 (4,12)	38,25 (4,94)
6%	21,15 (3,89)	63,35 (4,23)	58,54 (4,73)
9%	35,36 (6,18)	74,23 (3,67)	65,06 (4,98)

Os valores percentuais representam a média de seis ratos; () contém o desvio padrão; A fração fibrosa VII foi extraída com solução de TCA 10 % e tratada enzimaticamente (Fig. 3); PNCNH = polissacarídeos não-celulósicos, não-hidrolisáveis da fração fibrosa VII; nd = não determinável.

QUADRO 18. Valores médios experimentais e calculados do balanço de nitrogênio, para ratos do primeiro ensaio em dietas diferenciadas no tipo e no conteúdo da fonte fibrosa.

Fonte fibrosa		NI	NF	NU	NA	NR	DaP	VBaP	NPUa
Nível	Tipo	(mg/dia)	(mg/dia)	(mg/dia)	(mg/dia)	(mg/dia)	(%)	(%)	(%)
3%	I	151 (24)	21 (5)	nd	130 (21)	nd	85,98 b (2,71)	nd	nd
	II	205 (13)	29 (7)	25 (11)	176 (8)	151 (13)	86,14 b (2,74	85,66 b (6,32)	73,87 b (7,08)
	Padrão	201 (37)	22 (5)	23 (11)	185 (33)	155 (27)	88,75 a (1,45)	87,33 b (2,13)	77,63 a (5,31)
6%	I	137 (13)	27 (6)	nd	110 (8)	nd	80,01 d (2,97)	nd	nd
	II	211 (29)	36 (6)	16 (5)	174 (24)	159 (20)	82,69 c (1,37)	91,13 a (2,64)	75,37 a (3,16)
	Padrão	207 (25)	20 (4)	26 (13)	195 (22)	161 (20	90,62 a (1,39)	86,41 b (6,02)	78,33 a (5,96)
9%	I	111 (14)	39 (5)	nd	72 (10)	nd	65,03 e (3,25)	nd	nd
	II	208 (33)	45 (8)	12 (5)	163 (26)	151 (25)	78,51 d (1,50)	92,51 a (2,95)	72,61 b (1,47)
	Padrão	236 (16)	26 (3)	42 (12)	220 (14)	167 (18)	88,91 a (0,92)	79,76 c (5,84)	70,91 b (5,21)

Os valores absolutos representam a média de seis ratos, em miligramas por dia; ( ) contém o desvio padrão; Letras iguais na vertical não há diferença significativa ($p<0,05$) entre médias; I,II = Frações fibrosas isoladas em peneira (Fig. 1); Padrão = celulose de baixa densidade; NI,NF,NU,NA,NR = nitrogênio ingerido, fecal, urinário, absorvido, retido; DaP, VBaP, NPUa = digestibilidade, valor biológico, utilização líquida aparente da proteína; nd=não determinado.

QUADRO 19. Valores médios experimentais e calculados do balanço de nitrogênio, para ratos do segundo ensaio em dietas diferenciadas no tipo e no conteúdo da fonte fibrosa.

Fonte fibrosa		NI	NF	NU	NA	NR	DaP	VBaP	NPUa
Nível	Tipo	(mg/dia)	(mg/dia)	(mg/dia)	(mg/dia)	(mg/dia)	(%)	(%)	(%)
3%	III	178	27	15	151	136	84,82 a	89,93 a	76,32 a
		(9)	(3)	(9)	(8)	(15)	(1,38)	(6,40)	(6,25)
	IV	154	22	14	134	119	86,05 a	89,79 a	77,30 a
		(17)	(5)	(7)	(13)	(15)	(1,77)	(5,43)	(5,69)
	V	170	27	16	146	128	84,42 a	88,92 a	75,09 a
		(12)	(4)	(4)	(8)	(6)	(1,35)	(2,42)	(3,13)
6%	III	198	46	15	152	137	76,71 c	90,48 a	69,50 b
		(9)	(6)	(11)	(4)	(8)	(1,80)	(7,23)	(7,09)
	IV	190	37	16	161	137	80,57 b	89,52 a	72,16 b
		(10)	(3)	(5)	(8)	(10)	(1,19)	(3,48)	(3,84)
	V	182	38	12	141	133	79,35 b	91,92 a	72,98 b
		(17)	(4)	(2)	(13)	(12)	(0,44)	(1,46)	(0,76)
9%	III	159	49	12	113	98	69,30 e	89,31 a	61,88 c
		(17)	(5)	(4)	(13)	(9)	(0,63)	(2,46)	(1,41)
	IV	217	54	18	150	145	75,27 c	88,87 a	66,93 c
		(12)	(6)	(2)	(10)	(13)	(2,55)	(2,12)	(3,63)
	V	207	59	20	139	128	71,50 d	84,27 a	61,67 c
		(25)	(10)	(8)	(16)	(22)	(1,47)	(6,27)	(4,34)

Os valores absolutos representam a média de seis ratos, em miligramas por dia; ( ) contém o desvio padrão; Letras iguais na vertical não há diferença significativa ($p<0,05$) entre médias; III,IV,V=Frações solúvel, insolúvel, combinação de ambas, respectivamente, obtidas da digestão enzimática (Fig.2); NI,NF,NU,NA,NR = nitrogênio ingerido, fecal, urinário, absorvido, retido; DaP,VBaP,NPUa = digestibilidade, valor biológico, utilização líquida aparente da proteína.

QUADRO 20. Valores médios experimentais e calculados do balanço de nitrogênio, para ratos do terceiro ensaio em dietas diferenciadas no tipo e no conteúdo da fonte fibrosa.

Fonte fibrosa		NI	NF	NU	NA	NR	DaP	VBaP	NPUa
Nível	Tipo	(mg/dia)	(mg/dia)	(mg/dia)	(mg/dia)	(mg/dia)	(%)	(%)	(%)
3%	VI	146 (24)	13 (3)	7 (2)	133 (23)	127 (21)	91,07 c (1,80)	95,05 a (0,63)	86,56 a (1,63)
	VII	142 (31)	19 (5)	11 (7)	123 (26)	113 (18)	87,04 e (1,56)	92,06 a (4,08)	80,15 c (4,50)
	Padrão	145 (11)	10 (2)	8 (4)	135 (11)	128 (9)	93,10 b (1,32)	94,53 a (2,65)	88,01 a (2,48)
6%	VI	146 (20)	17 (4)	8 (3)	129 (16)	121 (14)	88,56 d (1,73)	93,65 a (1,95)	82,93 b (2,34)
	VII	135 (19)	19 (4)	12 (4)	115 (15)	103 (13)	85,77 f (1,27)	89,05 b (3,00)	76,40 d (3,46)
	Padrão	166 (27)	8 (3)	10 (3)	153 (26)	148 (26)	94,92 a (1,39)	93,59 a (2,20)	88,82 a (1,23)
9%	VI	124 (26)	13 (4)	7 (2)	111 (23)	104 (22)	89,27 d (1,72)	93,99 a (2,10)	83,90 b (2,25)
	VII	139 (14)	22 (1)	11 (1)	116 (13)	106 (14)	83,80 g (1,32)	90,66 b (1,93)	75,99 d (2,48)
	Padrão	165 (27)	14 (2)	11 (4)	150 (25)	139 (21)	91,24 c (0,71)	92,78 a (2,28)	84,65 b (2,06)

Os valores absolutos representam a média de seis ratos, em miligramas por dia; ( ) contém o desvio padrão; Letras iguais na vertical não há diferença significativa ($p<0,05$) entre médias; VI = Fração extraída com solução de TCA 10 % (Fig. 3); VII = Fração VI tratada enzimaticamente (Fig. 3); Padrão = celulose de alta densidade; NI,NF,NU,NA,NR = nitrogênio ingerido, fecal, urinário, absorvido, retido; DaP,VBaP,NPUa = digestibilidade, valor biológico, utilização líquida aparente da proteína.

QUADRO 21. Valores médios do balanço enterogástrico de minerais e da taxa de absorção, para ratos do primeiro ensaio em dietas diferenciadas no tipo e no conteúdo da fonte fibrosa.

Fonte fibrosa		MI	MF	MA	TAM
Nível	Tipo	(mg/dia)	(mg/dia)	(mg/dia)	(%)
3%	I	330 (53)	75 (17)	263 (48)	77,09 a (5,72)
	II	471 (29)	122 (27)	349 (22)	74,28 a (4,95)
	Padrão	443 (82)	117 (25)	326 (59)	73,65 a (1,75)
6%	I	295 (29)	75 (14)	219 (18)	74,51 a (2,87)
	II	435 (64)	130 (24)	344 (43)	70,14 b (2,00)
	Padrão	431 (51)	116 (19)	315 (35)	73,24 a (1,67)
9%	I	242 (31)	78 (10)	164 (24)	67,77 b (2,56)
	II	467 (74)	145 (30)	321 (47)	69,00 b (2,44)
	Padrão	508 (34)	149 (18)	359 (21)	70,71 b (2,00)

Os valores absolutos representam a média de seis ratos, em miligramas por dia; () contém o desvio padrão; Letras iguais na vertival não há diferença significativa ($p<0,05$) entre médias; I,II = Frações fibrosas isoladas em peneira (Fig.1); Padrão = celulose de baixa densidade; MI,MF,MA = mineral ingerido, fecal, absorvido; TAM= taxa de absorção de minerais.

QUADRO 22. Valores médios do balanço enterogástrico de minerais e da taxa de absorção, para ratos do segundo ensaio em dietas diferenciadas no tipo e no conteúdo da fonte fibrosa.

Fonte fibrosa		MI	MF	MA	TAM
Nível	Tipo	(mg/dia)	(mg/dia)	(mg/dia)	(%)
3%	III	451 (24)	180 (12)	271 (24)	59,99 b (2,93)
	IV	369 (45)	112 (25)	258 (20)	70,08 a (3,05)
	V	387 (27)	148 (25)	239 (21)	61,90 b (5,36)
6%	III	503 (25)	225 (26)	279 (4)	55,49 c (3,11)
	IV	452 (23)	175 (18)	277 (6)	61,34 b (1,93)
	V	379 (34)	163 (17)	216 (17)	56,94 c (0,62)
9%	III	407 (44)	213 (19)	194 (27)	47,56 d (1,93)
	IV	480 (26)	212 (21)	267 (22)	55,74 c (3,59)
	V	428 (53)	240 (41)	238 (23)	44,18 d (4,80)

Os valores absolutos representam a média de seis ratos, em miligramas por dia; () contém o desvio padrão; Letras iguais na vertical não há diferença significativa ($p<0,05$) entre médias; III,IV,V = Frações fibrosas solúvel, insolúvel, mistura de ambas, obtidas da digestão enzimática (Fig. 2); MI,MF,MA = mineral ingerido, fecal, absorvido; TAM = taxa de absorção de minerais.

QUADRO 23. Valores médios do balanço enterogástrico de minerais e da taxa de absorção, para ratos do terceiro ensaio em dietas diferenciadas no tipo e no conteúdo da fonte fibrosa.

Fonte fibrosa		MI	MF	MA	TAM
Nível	Tipo	(mg/dia)	(mg/dia)	(mg/dia)	(%)
3%	VI	362 (60)	68 (12)	294 (51)	81,19 a (2,16)
	VII	368 (81)	106 (44)	261 (36)	72,16 b (5,94)
	Padrão	357 (27)	72 (14)	285 (22)	79,95 a (3,30)
6%	VI	371 (50)	87 (26)	284 (30)	76,89 a (5,07)
	VII	368 (53)	113 (29)	255 (24)	69,75 b (3,33)
	Padrão	403 (66)	90 (31)	312 (41)	78,15 a (5,55)
9%	VI	320 (68)	59 (22)	239 (50)	81,73 a (3,24)
	VII	398 (42)	142 (21)	255 (26)	64,26 c (2,69)
	Padrão	404 (66)	106 (21)	299 (48)	73,90 b (2,68)

Os valores absolutos representam a média de seis ratos, em miligramas por dia; () contém o desvio padrão; Letras iguais na vertical não há diferença significativa ($p<0,05$) entre médias; VI,VII = Frações fibrosas extraídas com solução de TCA 10 %, não tratada e tratada enzimaticamente (Fig. 3); Padrão = celulose de alta densidade; MI,MF,MA= mineral ingerido, fecal, absorvido; TAM = taxa de absorção de minerais.

QUADRO 24. Valores médios do balanço enterogástrico da matéria orgânica não-nitrogenada e de sua digestibiliade, para ratos do primeiro ensaio em dietas diferenciadas no tipo e no conteúdo da fonte fibrosa.

Fonte fibrosa		MONNI	MONNF	MONNA	DaMONN
Nível	Tipo	(g/dia)	(g/dia)	(g/dia)	(%)
3%	I	7,920 (1,263)	0,198 (0,047)	7,722 (1,256)	97,46 b (0,75)
	II	10,777 (0,679)	0,197 (0,056)	10,580 (0,650)	98,18 a (0,47)
	Padrão	10,845 (2,019)	0,387 (0,087)	10,457 (1,936)	96,44 c (0,27)
6%	I	6,886 (0,675)	0,261 (0,044)	6,625 (0,641)	96,22 c (0,42)
	II	9,651 (1,448)	0,325 (0,052)	9,325 (1,402)	96,63 c (0,26)
	Padrão	10,871 (1,302)	0,683 (0,105)	10,189 (1,201)	93,74 e (0,32)
9%	I	5,532 (0,716)	0,258 (0,031)	5,274 (0,692)	95,32 d (0,37)
	II	10,316 (1,631)	0,484 (0,106)	9,832 (1,526)	95,34 d (0,29)
	Padrão	12,402 (0,836)	1,177 (0,145)	11,224 (0,713)	90,53 f (0,67)

Os valores absolutos representam a média de seis ratos, em gramas por dia; () contém o desvio padrão; Letras iguais na vertical não há diferença significativa ($p<0,05$) entre médias; I,II = Frações fibrosas isoladas em peneira (Fig. 1); Padrão = celulose de baixa densidade; MONNI, MONNF, MONNA = matéria orgânica não-nitrogenada ingerida, fecal, absorvida; DaMONN = digestibilidade aparente da matéria orgânica não-nitrogenada.

QUADRO 25. Valores médios do balanço enterogástrico da matéria orgânica não-nitrogenada e de sua digestibilidade, para ratos no segundo ensaio em dietas diferenciadas no tipo e no conteúdo da fonte fibrosa.

Fonte fibrosa		MONNI	MONNF	MONNA	DaMONN
Nível	Tipo	(g/dia)	(g/dia)	(g/dia)	(%)
3%	III	7,946 (0,419)	0,165 (0,031)	7,781 (0,422)	97,92 a (0,41)
	IV	7,162 (0,890)	0,223 (0,045)	6,939 (0,846)	96,91 c (0,25)
	V	7,902 (0,546)	0,202 (0,028)	7,700 (0,520)	97,45 b (0,21)
6%	III	7,937 (0,396)	0,199 (0,004)	7,738 (0,393)	97,48 b (0,09)
	IV	8,642 (0,448)	0,450 (0,030)	8,192 (0,418)	94,79 f (0,07)
	V	7,551 (0,670)	0,321 (0,019)	7,230 (0,651)	95,73 e (0,12)
9%	III	5,898 (0,642)	0,216 (0,018)	5,682 (0,625)	96,32 d (0,11)
	IV	8,161 (0,449)	0,639 (0,049)	7,522 (0,401)	92,17 h (0,21)
	V	7,796 (0,962)	0,479 (0,105)	7,316 (0,850)	93,91 g (0,59)

Os valores absolutos representam a média de seis ratos, em gramas por dia; () contém o desvio padrão; Letras iguais na vertical não há diferença significativa ($p<0,05$) entre médias; III,IV,V=Frações fibrosas solúvel, insolúvel, mistura de ambas, obtidas da digestão enzimática (Fig. 2); MONNI, MONNF, MONNA = matéria orgânica não-nitrogenada ingerida, fecal, absorvida; DaMONN=digestibilidade aparente da matéria orgânica não-nitrogenada.

QUADRO 26. Valores médios do balanço enterogástrico da matéria orgânica não-nitrogenada e de sua digestibilidade, para ratos no terceiro ensaio, em dietas diferenciadas no tipo e no conteúdo da fonte fibrosa.

Fonte fibrosa		MONNI	MONNF	MONNA	DaMONN
Nível	Tipo	(g/dia)	(g/dia)	(g/dia)	(%)
3%	VI	7,433 (1,229)	0,111 (0,019)	7,322 (1,218	98,49 a (0,23)
	VII	7,198 (1,572)	0,114 (0,022)	7,085 (1,552)	98,41 a (0,12)
	Padrão	7,653 (0,587)	0,339 (0,044)	7,313 (0,552)	95,57 c (0,36)
6%	VI	7,206 (0,963)	0,178 (0,074)	7,028 (0,940)	97,54 b (0,94)
	VII	6,751 (0,967)	0,143 (0,010)	6,608 (0,960)	97,85 b (0,25)
	Padrão	8,621 (1,419)	0,705 (0,126)	7,916 (1,296)	91,84 d (0,28)
9%	VI	5,978 (1,275)	0,153 (0,066)	5,826 (1,218)	97,51 b (0,57)
	VII	6,786 (0,710)	0,185 (0,031)	6,601 (0,693)	97,27 b (0,39)
	Padrão	8,600 (1,392)	0,945 (0,130)	7,655 (1,264)	89,99 e (0,34)

Os valores absolutos representam a média de seis ratos, em gramas por dia; () contém o desvio padrão; Letras iguais na vertical não há diferença significativa ($p<0,05$) entre médias; VI,VII = Frações fibrosas extraídas com solução de TCA 10 %, não tratada e tratada enzimaticamente (Fig.3); Padrão= celulose de alta densidade; MONNI,MONNF,MONNA= matéria orgânica não-nitrogenada ingerida, fecal, absorvida; DaMONN= digestibilidade aparente da matéria orgânica não-nitrogenada.

Ganho em peso dos animais

Os resultados do balanço metabólico aparente do nitrogênio, do balanço enterogástrico dos minerais e da matéria orgânica não-nitrogenada, da ingesta, da excreta fecal e a ocorrência de hidrólise das fontes fibrosas no trato digestivo dos animais, podem explicar, satisfatoriamente, o perfil do parâmetro ganho de peso médio dos animais, mostrado no Quadro 12. No primeiro ensaio, somente os ratos em dietas contendo a fonte fibrosa I, extraída do feijão 'Carioca 80 SH', ganharam menos ($p<0,05$) peso, quando foi elevada a concentração daquela fonte fibrosa na dieta de 3 % para 6 % e 9 %. O ganho em peso foi estatisticamente menor ($p<0,05$) nestes grupos comparados aos grupos em dietas contendo ou a fonte fibrosa II ou a fibra padrão, para igual concentração na dieta. Entre os seis grupos de ratos contendo ou a fonte fibrosa II ou a fibra padrão, não houve diferença estatística ($p<0,05$) no ganho em peso.

No segundo ensaio, dos nove grupos ensaiados somente o grupo em dieta contendo a máxima concentração da fonte fibrosa III teve um ganho em peso significativamente menor ($p<0,05$), sendo que, os demais apresentaram valores semelhantes para o ganho em peso.

No terceiro ensaio, as fontes fibrosas VI e VII resultaram em menor ou no máximo assemelhado ($p<0,05$) ganho em peso, em comparação com os grupos de animais em dietas

padrão, de igual nível de fibra celulose na dieta. Estas fontes fibrosas foram constituídas dos componentes polissacarídeos solúveis com altas hidratabilidade e viscosidade, extraídos dos grãos de feijão "Carioca 80 SH".

O ganho em peso médio dos animais dos grupos alimentados com a fonte fibrosa VI foi comparativamente maior ($p<0,05$) do que o ganho em peso dos grupos alimentados com a fonte fibrosa VII, somente nos níveis mais baixos iguais a 3 % e 6 % testados para aquelas fontes de fibra solúvel. A fonte fibrosa VI foi extraída de grãos integrais triturados através do procedimento único de homogeneização com solução aquosa contendo ácido tricloroacético, enquanto que, a fonte fibrosa VII representa a Fração VI depois de tratada enzimaticamente, *in vitro*.

Nos três grupos em dietas contendo os diferentes níveis da mesma fonte de fibra VI, ocorreu diminuição ($p<0,05$) no ganho em peso dos animais com o aumento do nível da fonte fibrosa, na dieta, de 3 % para o máximo testado de 9 %. Quando a fonte fibrosa foi a Fração VII ou a fibra padrão, não houve diferença significativa ($p<0,05$) entre os níveis.

Na revisão de literatura realizada para este trabalho de tese, nenhuma referência foi encontrada com relação ao efeito comparativo da fibra solúvel e insolúvel no ganho de peso, tanto de animais como de humanos.

Ingesta, excreta fecal e hidrólise intestinal dos componentes da fonte fibrosa

Com relação aos dados da ingesta alimentar (IA) dos ratos mostrados no Quadro 13, fica claro que, com a elevação do nível da fonte fibrosa I de um mínimo de 3 % para o máximo de até 9 %, na dieta, os animais passaram a ingerir cerca de 29,6 % menos ($p<0,05$) alimento, ao passo que, os grupos padrão tiveram aumentadas ($p<0,05$) em cerca de 14,6 % suas ingestas alimentares. A ingesta alimentar foi expressivamente menor ($p<0,05$) nos grupos alimentados com a fonte de fibra I, para todos os níveis testados. Dentre os grupos alimentados com a fonte de fibra II, somente aquele em dieta contendo a concentração mais alta de 9 % teve ingesta significativamente ($p<0,05$) menor (15,9 %) que o padrão.

O Quadro 13 mostra, ainda, que o resíduo fecal, tanto em peso seco (RF) como em taxa de excreção da dieta (TexRF), foi menor ($p<0,05$) nos grupos I e II comparados ao dos grupos padrão, em todos os níveis testados, na dieta, das fontes fibrosas. O RF e a TexRF aumentaram ($p<0,05$) com a elevação do conteúdo percentual na dieta, tanto para a fonte fibrosa padrão como para as fontes fibrosas I e II, ambas extraídas de grãos integrais de feijão.

As fontes fibrosas III (solúvel) e IV (insolúvel), quando incorporadas em dietas experimentais afetaram, diferentemente ($p<0,05$), a ingesta alimentar (Quadro 14). Enquanto entre os grupos alimentados com a fonte solúvel

III, a ingesta foi cerca de 23,2 % menor (p<0,05) no grupo em dieta de concentração mais alta igual a 9 % daquela fonte fibrosa, entre os grupos alimentados com a fonte insolúvel IV ocorreu o contrário, ou seja, no nível máximo de 9 % a ingesta foi 17,7 % maior (p<0,05). Porém, quando ambas as fontes fibrosas, a solúvel e a insolúvel, foram incorporadas conjuntamente (fonte fibrosa V) nas dietas, a ingesta dos ratos não foi significativamente (p<0,05) alterada.

O peso seco de resíduo fecal (RF) e a taxa de excreção em resíduo fecal (TexRF) foram menores (p<0,05) nos ratos alimentados com a Fração III (solúvel) comparados aos ratos alimentados com a Fração IV (insolúvel), somente nos níveis de 6 % e 9 % da fonte fibrosa na dieta. Com a elevação do nível da fonte III (solúvel) de 3 % para 9 %, a despeito da ingesta alimentar ter sido diminuida (p<0,05), ocorreu aumento diferenciado (p<0,05) no peso seco do resíduo fecal e na TexRF. Porém, com o acréscimo na dieta da fonte IV (insolúvel), ocorreu aumento (p<0,05) da ingesta, além do aumento bastante diferenciado (p<0,05) no peso seco do resíduo fecal e na TExRF. Quando ambas as fontes fibrosas, a III e a IV, foram acrescentadas conjuntamente (fonte fibrosa V) na dieta, os valores para a IA, RF e TexRF foram semelhantes (p<0,05) aos valores de um deles ou de ambos, testados individualmente.

Os efeitos diferenciados (p<0,05), na ingesta e na excreção fecal, dos componentes fibrosos solúveis de altas hidratabilidade e viscosidade (Fração VI e VII) extraídos do

feijão e da fibra insolúvel (padrão de celulose) estão mostrados claramente no Quadro 15, cujos resultados foram obtidos do terceiro ensaio. O acréscimo na dieta de 9 % de qualquer das fontes fibrosas solúveis, a VI ou a VII, comparado com o nível de 3 %, a despeito de ter resultado em aumento de consumo daquelas fontes fibrosas (FFI), não estimulou os ratos a ingerirem maiores ($p<0,05$) quantidades de alimento (IA), nem produziu diferença ($p<0,05$) no peso seco do resíduo fecal, mas, produziu leve aumento ($p<0,05$) da taxa de excreção em resíduo fecal. Porém, quando o acréscimo foi da fonte fibrosa insolúvel (padrão de celulose), além de permitir aos ratos aumentarem ($p<0,05$) o consumo daquela fonte fibrosa, também os estimulou a ingerir maiores ($p<0,05$) quantidades de alimento, e produziu aumento ($p<0,05$) bastante diferenciado no peso seco do resíduo fecal e na sua taxa de excreção.

A ingesta alimentar foi cerca de 15,6-20,8 % e 19,7-29,5 % menor ($p<0,05$) nos ratos em dietas contendo 6 % e 9 % das respectivas fontes fibrosas VI e VII, de altas hidratabilidade e viscosidade, extraídas do feijão, do que nos ratos em dietas contendo a celulose de grau p.a. como fonte padrão de fibra insolúvel. A taxa de excreção, em peso seco, da dieta como fezes também foi menor entre 23,0 a 63,9 %, nos ratos em dieta contendo aquelas frações com altas hidratabilidade e viscosidade, em concentrações de 3 %, 6 % e 9 %.

O aumento no peso seco das fezes ou resíduo fecal (RF) dos animais em valores absolutos, bem como, o aumento na taxa de excreção de resíduo fecal (TexRF) com o aumento do conteúdo da fonte fibrosa na dieta (Quadros 13, 14 e 15), também confirmam que qualquer das fontes fibrosas, tanto aquelas extraídas do feijão como a celulose (padrão), apresentou grau de hidrólise menor que o amido de milho. O acréscimo da fonte fibrosa na dieta experimental foi em substituição do componente amido, o qual entrou na formulação das dietas como fonte calórica primária.

O amido de milho submetido à digestão enzimática *in vitro* foi hidrolisado, segundo Dreher et alii (1984), entre *70-100* % de seu peso, enquanto que, qualquer uma das fontes fibrosas utilizadas apresentaram grau de hidrólise bem mais baixo. A fonte fibrosa II foi hidrolisada somente em até 32,73 %, a III em 15,07 %, a IV em 12,66 %, a V em 13,51 %, a VI em 44,69 % e a VII em 10,08 % (Quadro 11), e a fibra padrão resistiu à hidrólise enzimática *in vitro*.

Por outro lado, as menores taxas de excreção em peso seco de resíduo fecal (TexRF) para os grupos testes I e II (Quadro 13), e também para os grupos testes VI e VII (Quadro 15) em comparação com os grupos padrão, em todos os níveis avaliados das diferentes fontes fibrosas nas dietas, atestam a ocorrência de considerável grau de hidrólise para qualquer daquelas fontes fibrosas testadas, especificamente das Frações VI e VII, ao longo do trato digestivo dos animais, em contraste com a fonte padrão (celulose). A total

resistência da fibra padrão à digestão enzimática *in vitro* (Quadro 11) e seu reduzido grau de hidrólise determinável, entre 8,75 % e 9,50 % da ingesta, no trato gastro-intestinal dos ratos, bem como, o menor grau de digestibilidade comparativo calculado para a matéria orgânica não-nitrogenada (DaMONN) da dieta padrão (Quadros 24 e 26), concordam igualmente com as evidências de que a celulose é mais resistente à digestão que os componentes da fibra solúvel.

A despeito das fontes fibrosas I e II terem sido hidrolisadas parcialmente no trato digestivo dos ratos, um grau mínimo de hidrólise estimado em 17,05 % para a Fração II somente foi possível medir nos grupos de animais em dietas contendo o nível mais elevado de 9 % da fração fibrosa. Para a Fração I, um mínimo de hidrólise igual a 0,18 % foi possível medir somente no nível máximo testado de 9 % da fonte fibrosa na dieta.

Os mais altos valores para a DaMONN nos grupos de ratos ingerindo as Frações I e II (Quadro 24), comparados àqueles dos grupos padrão, podem também atestar a existência, nas Frações I e II, de constituintes carboidratos hidrolisáveis pelo trato digestivo dos animais, ou fermentáveis pela flora microbiana natural do intestino dos ratos. *In vitro*, dos 78,41 % de carboidratos constituintes da fonte fibrosa II, 29,42 % (Quadros 10 e 11) foram hidrolisados pela enzima amilolítica glicoamilase, e *in vivo* foi hidrolisado no mínimo, média de seis ratos, 33,61 %,

39,09 % e 43,78 %, respectivamente nos grupos em dietas contento 3 %, 6 % e 9 % da fonte fibrosa II. Os carboidratos da fonte fibrosa I foram hidrolisados no trato gastro-intestinal dos ratos no mínimo, média de seis ratos, em 7,47 %, 30,79 % e 43,17 %, respectivamente nos grupos em dietas contendo 3 %, 6 % e 9 % daquela fonte fibrosa.

A fonte fibrosa II apresentou maior grau de hidrólise para os carboidratos, determinado nos ensaios com ratos, do que a I somente nos níveis menores de 3 % e 6 % das dietas. No nível de 9 %, as fontes fibrosas I e II apresentaram valores semelhantes, para a hidrólise de suas respectivas frações de carboidratos.

A menor TexRF verificada para os grupos III em comparação com a dos grupos IV (Quadro 14) também atestam que a fibra alimentar solúvel III foi mais extensivamente hidrolisada no trato gastro-intestinal dos animais do que a insolúvel IV. Os mais altos valores para a DaMONN nas dietas III comparados aqueles das dietas IV (Quadro 25) podem atestar, igualmente, que a Fração III continha os componentes carboidratos mais hidrolisáveis pela flora microbiana natural do intestino dos ratos e/ou pelas enzimas digestivas. As dietas V apresentaram valores intermediários e concordantes para a DaMONN entre aqueles das dietas III e IV.

Na fonte fibrosa III foi quantificado 42,91 % de carboidratos, dos quais 39,67 % foram de polissacarídeos não-celulósicos e apenas 3,24 % de celulose (Quadros 10 e

11), enquanto que na fonte fibrosa IV 58,44 % foi quantificado como carboidratos, sendo 45,44 % de celulose contra somente 13,00 % de polissacarídeos não-celulósicos. Através de procedimento de hidrólise *in vitro*, utilizando-se a enzima amilolítica glicoamilase, foi removido quantidades muito pequenas iguais a 8,48 % e 6,76 % das respectivas fontes fibrosas III e IV. *In vivo* foi detectado a ocorrência de grau mínimo de hidrólise nos componentes carboidratos da Fração III, estimado, média de seis ratos, em 19,71 % e 22,97 %, nos grupos de animais em dietas contendo os níveis mais elevados da fonte fibrosa igual a 6 % e 9 %, respectivamente.

Os altos valores para a DaMONN das dietas tendo como fonte fibrosa a Fração VI ou a VII (Quadro 26), comparados aqueles das dietas padrão, também podem atestar que os carboidratos fornecidos por aquelas fontes fibrosas tenham sido extensivamente hidrolisados no trato gastro-intestinal dos ratos. A fração de carboidratos foi quantificada nas fontes fibrosas VI e VII em 85,04 % e 82,96 %, e os componentes carboidratos não-celulósicos em 82,59 % e 80,46 % (Quadros 10 e 11), respectivamente. *In vitro*, 39,40 % e 7,12 % (Quadro 11) respectivamente do total das fontes fibrosas VI e VII foram hidrolisados pela enzima amilolítica glicoamilase. No trato digestivo dos ratos, quantidades expressivas dos carboidratos ingeridos na fonte fibrosa VI foram hidrolisadas, no mínimo 76,45 % (Quadro 16), e com relação a fonte fibrosa VII foram hidrolisados no mínimo

74,23 % (Quadro 17), respectivamente nos grupos em dietas contendo 9 % daquelas fontes fibrosas. Ainda, *in vivo*, os constituintes polissacarídeos fibrosos solúveis ingeridos na Fração VI foram hidrolisados no mínimo em 45,78 %, no grupo em dieta contendo 9 % daquela fonte fibrosa (Quadro 16). A Fração VII, que continha uma maior concentração de polissacarídeos indigeríveis *in vitro* do que a Fração VI, apresentou maior grau de hidrólise intestinal (Quadros 16 e 17), determinável no ensaio com ratos em todos os três níveis testados de 3 %, 6 % e 9 % daquelas fontes fibrosas.

Embora não tenha sido claramente demonstrado seu grau de hidrólise, os polissacarídeos fibrosos solúveis são tidos na literatura como fermentáveis no intestino dos animais, enquanto que os insolúveis, como a celulose e algumas hemiceluloses, como pouco fermentáveis ou como não-fermentáveis. A fermentação tem ocorrência no íleo e principalmente no cólon do intestino grosso (Schneeman, 1986; Van Soest, 1978a; Vercellotti et alii, 1978; Southgate, 1973; Rackis et alii, 1970).

Alguns pesquisadores como Roehrig (1988) e Schneeman (1986) atribuiram a ocorrência de algum grau de fermentação intestinal para a celulose. Segundo Southgate (1973) a celulose foi parcialmente fermentada em ensaios com humanos. Para Van Soest (1978a) a celulose e a hemicelulose isentas de lignina tornam-se fermentáveis.

As pectinas e as gomas não são digeríveis, mas são completamente fermentadas, segundo Eastwood (1978) e Van

Soest (1978a), no intestino dos humanos, e portanto, são de recuperação fecal muito baixa. As galactanas, segundo Lewis (1978), de ocorrência nos feijões como produto de reserva metabólica, também resistem à hidrólise pelas enzimas digestivas dos animais monogástricos. Para Southgate (1973) as hemiceluloses solúveis são extensivamente degradadas, e para Eastwood (1978) as hemiceluloses solúveis foram hidrolisadas em até 80,0 %. A lignina, contudo, é excretada integralmente nas fezes, não sofrendo qualquer redução ao longo do trato digestivo dos animais monogástricos (Schneeman, 1986; Eastwood, 1978).

Segundo Becker et alii (1986), os polissacarídeos fibrosos solúveis, ao contrário dos insolúveis, por sofrerem hidrólise e fermentação extensiva no intestino grosso e perderem ali a água de hidratação, contribuem para diminuir o volume e o peso das fezes. Cummings (1986) citado no trabalho de Wisker e Feldheim (1992), estudou em humanos o efeito da ingesta de diferentes fontes de fibra no peso fecal, e verificou que o farelo de trigo, as frutas e as hortaliças foram as mais eficazes em aumentar o peso fecal. A pectina foi a menos eficaz, e as gomas, as mucilagens, a soja, e a celulose foram intermediárias. Connell (1978), relacionou o maior volume do bolo alimentar e fecal ao menor tempo de trânsito gastro-intestinal.

A diferença na ingesta alimentar (IA) verificada entre os grupos de ratos alimentados com dietas contendo as fontes fibrosas extraídas do feijão "Carioca 80 SH", denominadas

II, VI e VII, com a dos grupos padrão (Quadros 13 e 15), e entre os grupos de ratos III com os grupos IV (Quadro 14), pode ser atribuída, aparentemente, a vários fatores, como:

a) Atividade motora diferenciada. A alta quantidade de celulose, um componente fibroso insolúvel, na dieta dos grupos de ratos padrão e IV sugere uma maior movimentação do bolo alimentar ao longo do trato digestivo daqueles animais. O contrário, uma menor movimentação do bolo alimentar pode ter ocorrido no trato gastro-intestinal dos ratos em dietas contendo como fonte fibrosa, a Fração II, ou III, ou VI, ou VII. A fonte fibrosa padrão foi constituída quase que exclusivamente de celulose (99,37 %) (Quadro 11), enquanto que, na fonte II, a celulose foi estimada em 32,93 % contra 16,06 % de polissacarídeos fibrosos solúveis indigeríveis, *in vitro*, e nas fontes fibrosas VI e VII, foi quantificado tão somente 2,45 % e 2,50 % de celulose contra 43,19 % e 73,34 % de polissacarídeos fibrosos solúveis indigeríveis, *in vitro*, respectivamente. A fonte fibrosa IV foi constituída de um valor alto em celulose igual a 45,44 % e muito reduzido em polissacarídeos fibrosos solúveis indigeríveis, *in vitro*, estimados em 6,24 %, enquanto que a fonte fibrosa III, de um valor baixo em celulose igual a 3,24 % e alto em polissacarídeos fibrosos solúveis indigeríveis, *in vitro*, estimados em 31,19 %.

Embora ainda permaneça obscuro o mecanismo de ação na atividade motora gastro-intestinal, para Cavalcanti (1989)

os componentes solúveis da fibra retardam o esvaziamento gástrico enquanto que os insolúveis o aceleram.

b) Diferença na capacidade de absorção da água. Ao contrário da celulose (fibra padrão), a fonte fibrosa II que chegou a quadruplicar, *in vitro*, o seu peso, e especialmente as fontes fibrosas VI e VII as quais absorveram água em até dez vezes o seu peso, quando incorporadas em dietas experimentais poderiam provocar nos animais a sensação de saciedade alimentar, não estimulando-os a ingerir mais alimento. Aquelas fontes fibrosas contendo alta concentração de componentes solúveis da fibra alimentar, obtidas do feijão, poderiam, devido a sua grande capacidade de absorver água, aumentar em muito o volume intra-gástrico e intra-intestinal do bolo alimentar. No intestino grosso aquelas frações fibrosas do feijão seriam extensivamente hidrolisadas, como discutido anteriormente, e assim, tais efeitos seriam abrandados ou eliminados. As fezes dos animais alimentados com as fontes fibrosas VI e VII foram de peso (Quadro 15) e volume bem menores, comparadas aquelas dos grupos padrão.

c) Viscosidade diferenciada. Os polissacarídeos solúveis não-celulósicos, possivelmente hemiceluloses e/ou substâncias pécticas, poderiam, devido à maior viscosidade comparada a celulose, diminuir a movimentação do bolo alimentar ao longo do intestino, e assim, retardar o esvaziamento gástrico.

Connell (1978) relacionou o aceleramento no trânsito gastro-intestinal com aqueles componentes fibrosos, os quais devido a suas propriedades de hidratação aumentaram o volume do bolo alimentar. As substâncias pécticas, as hemiceluloses solúveis, as mucilagens, as gomas, e os polissacarídeos de reserva, são os componentes solúveis da fibra alimentar, segundo Roehrig (1988) e Schneeman (1986), com maior capacidade de reter água e de maior viscosidade do que os insolúveis.

d) Hidrólise gastro-intestinal da fibra alimentar. As frações contendo altas concentrações de polissacarídeos fibrosos solúveis, como a II, a III, a VI e a VII, todas obtidas de grãos de feijão "Carioca 80 SH", por terem sido hidrolisadas no trato digestivo dos ratos, poderiam resultar em substâncias que estariam relacionadas com outros mecanismos fisiológicos de controle do apetite.

As fibras solúveis são extensivamente degradadas pela flora microbiana intestinal, enquanto que as insolúveis o são muito pouco ou não são hidrolisáveis (Roehrig, 1988; Bingham, 1987; Schneeman, 1986; Eastwood,1978; Southgate, 1973).

A diferença ocorrida na ingesta alimentar entre os grupos I e os grupos II mostrada no Quadro 13, pode ser atribuída à permanência na fonte fibrosa I de componentes tóxicos característicos do feijão *Ph. vulgaris*, como as lectinas já conhecidas e citadas na literatura (Oliveira et alii, 1989; Valenzuela, 1989; Oliveira, 1986; Oliveira &

Sgarbieri, 1986; Durigan, 1985; Sgarbieri & Whitaker, 1882; Pusztai & Palmer, 1977; Marshall & Lauda, 1975), uma vez que a referida fonte fibrosa não passou por nenhum tratamento térmico. Os animais de todos os grupos em dietas contendo a fonte fibrosa I apresentaram-se bastante irritados, e arrastaram a comida em quantidades anormais para fora do comedouro.

Durante o ensaio biológico não foi observado qualquer desconforto aparente, com relação ao ato de defecar dos animais, nos grupos alimentados com as fontes fibrosas I, II, IV e V, e também, naqueles alimentados com baixos níveis de 3 % e 6 % da fonte fibrosa III, nem nos animais dos grupos padrão. Porém, os animais alimentados com 9 % da fonte fibrosa III e todos os animais alimentados com as fontes fibrosas VI e VII, com altas hidratabilidade e viscosidade, tiveram dificuldades para defecar.

Pelo exposto, foi demonstrado a ocorrência de um extensivo grau de hidrólise gastro-intestinal, no mínimo 65,0 % da ingesta, dos componentes fibrosos solúveis (Quadro 17), com altas hidratabilidade e viscosidade e constituintes da fibra alimentar do feijão "Carioca 80 SH", aparentemente, produzido pela flora microbiana fermentativa natural do intestino. Quanto a fibra padrão de celulose, embora tenha resistido totalmente à digestão enzimática *in vitro* (Quadro 11), a ocorrência de um pequeno grau de hidrólise no trato gastro-intestinal dos ratos não está totalmente descartada.

Também foi demonstrado, que a fibra insolúvel estimula o rato a ingerir maiores quantidades de alimento, enquanto que, os componentes solúveis, como aqueles com altas hidratabilidade e viscosidade constituintes da fibra alimentar do feijão "Carioca 80 SH", não têm o mesmo efeito (Quadro 15), e ao contrário, estimulam o rato a diminuir sua ingesta.

Ainda foi demonstrado, que ratos ensaiados com os componentes solúveis da fibra alimentar, como aqueles com altas hidratabilidade e viscosidade constituintes do feijão "Carioca 80 SH", por apresentarem extensivo grau de hidrólise gastro-intestinal desta fonte fibrosa eliminam fezes de menor peso seco e menor volume do que ratos alimentados com a fibra de celulose (insolúvel). Ainda, através da observação visual, verificou-se que os ratos que ingeriram a fibra solúvel com altas hidratabilidade e viscosidade, encontrada nos grãos de feijão "Carioca 80 SH", tiveram dificuldades para defecar. Tal desconforto no ato de defecar não ocorreu quando os ratos ingeriram na dieta a fibra alimentar insolúvel.

Balanço de nitrogênio, balanço enterogástrico dos minerais e da matéria orgânica não-nitrogenada

Para cada conteúdo da fonte fibrosa testado nas dietas de 3 %, 6 % e 9 %, os valores de DaP foram mais altos ($p<0,05$) nos grupos padrão comparados aos grupos I e II

(Quadro 18), sendo que, os grupos que receberam a fonte I apresentaram os menores valores para a DaP nos níveis de 6 % e 9 % da fonte fibrosa, não diferindo do grupo II no menor nível de 3 %.

O aumento no conteúdo percentual da fonte fibrosa padrão na dieta não afetou a DaP, que, naqueles grupos, se referiu unicamente à caseína. Já, nos grupos alimentados com dietas contendo como fonte de fibra teste a Fração I ou a Fração II, ocorreu diminuição ($p<0,05$) na DaP com a elevação da concentração nas dietas da respectiva fonte fibrosa.

Os grupos de animais em dietas contendo os níveis mais altos de 6 % e 9 % da fonte fibrosa II, ao contrário do observado para DaP, apresentaram um maior ($p<0,05$) grau de retenção da proteína absorvida medida pelo índice VBaP do que o grupo padrão (Quadro 18). Ainda com relação ao VBaP, observou-se uma diminuição ($p<0,05$) com a elevação da celulose (padrão) de 3 % para 9 %. Já, nos grupos de ratos alimentados com a fonte de fibra II, o VBaP foi maior ($p<0,05$) nos grupos em dietas contendo os maiores níveis de 6 % e 9 % daquela fonte fibrosa.

E, com relação ao índice NPUa, também calculado para avaliar a qualidade protéica da dieta, mais precisamente, para medir o grau de retenção da proteína ingerida, não houve diferença significativa ($p<0,05$) entre os grupos padrão e os grupos alimentados com dietas contendo a fonte fibrosa II, para os níveis mais altos de 6 % e 9 % das fontes fibrosas. Entre os grupos padrão, o NPUa foi mais

baixo ($p<0,05$) no maior nível de 9 % da fonte fibrosa na dieta. Entre os três grupos de animais alimentados com a fonte de fibra II, não ocorreu diferença significativa ($p<0,05$) entre o nível mais baixo (3 %) e o mais alto (9 %), mas, estes foram menores do que o nível de 6 %.

Os valores da digestibilidade aparente da proteína (DaP) das dietas contendo 3 % de qualquer das fontes fibrosas III, IV ou V não apresentaram diferença significativa ($p<0,05$), porém, nos níveis de 6 % e 9 %, a DaP foi menor ($p<0,05$) para a fonte fibrosa solúvel (III) (Quadro 19). A elevação do conteúdo percentual de qualquer das três diferentes fontes fibrosas, a III, a IV e a V, de 3 % para 6 % e 9 % resultou em efeito semelhante, qual seja, diminuiu ($p<0,05$) a DaP da dieta, sendo a redução total de 15,52 %, 10,78 % e 12,92 %, respectivamente.

Com relação ao VBaP, não houve diferença significativa ($p<0,05$) entre os grupos de ratos III, IV e V. O índice NPUa foi também calculado, e, tanto nos grupos III como nos grupos IV e nos grupos V, ocorreu diminuição semelhante ($p<0,05$) desse índice (Quadro 19) com a elevação nas dietas do conteúdo das respectivas fontes fibrosas, a saber, a solúvel III, a insolúvel IV, e a combinação de ambas na V. Contudo, não ocorreu diferença significativa ($p<0,05$) entre os grupos de animais alimentados com diferentes fontes de fibra, em uma mesma concentração.

Os grupos de ratos alimentados com qualquer das fontes de fibra solúveis VI e VII, apresentaram os valores mais

baixos (p<0,05) para a Da da proteína ingerida, comparados aos grupos padrão, em todos os níveis testados nas dietas (Quadro 20). Já, o VBa não diferiu significativamente (p<0,05) entre os grupos ensaiados nas dietas com 3 % de fonte fibrosa, mas, nos níveis de 6 % e 9 % somente a fração solúvel VI não diferiu (p<0,05) do padrão. Como ocorreu com a DaP, os valores para o NPUa foram também menores (p<0,05) nos grupos VII comparados com aqueles dos grupos VI. O grupo VI não diferiu (p<0,05) do grupo padrão no nível mais baixo (3 %) e no mais alto (9 %) testado, mas diferiram significativamente (p<0,05) no nível intermediário igual a 6 % da fonte fibrosa.

O balanço enterogástrico dos minerais, mostrou que não houve diferença significativa (p<0,05) para a taxa de absorção aparente de minerais (TAM) entre os grupos de animais em dietas contendo os níveis de 3 % e 9 % das diferentes fontes fibrosas I, II e a padrão (Quadro 21), porém, no nível de 6 % a TAM foi estatisticamente menor (p<0,05) para a Fração II. A TAM diminuiu (p<0,05) respectivamente em 9,32 %, 5,28 % e 2,94 %, com o acréscimo nas dietas de cada uma das três diferentes fontes fibrosas, passando do nível de 3 % para o nível de 9 % .

Nos grupos de animais III, IV e V, a TAM diminuiu (p<0,05) respectivamente em 12,43 %, 14,34 % e 17,72 % com o acréscimo de até 9 % das diferentes fontes fibrosas nas dietas (Quadro 22), sendo que, nos grupos IV as taxas de absorção foram mais altas (p<0,05) do que nos grupos III, e,

os grupos V não diferiram estatisticamente ($p<0,05$) dos grupos III.

Nos grupos VII, a TAM foi menor ($p<0,05$) comparada aos grupos VI e grupos padrão (Quadro 23), para o mesmo nível da fonte fibrosa testado na dieta. Entre os grupos alimentados com a fonte de fibra VI, somente o nível 9 % apresentou um valor mais alto ($p<0,05$) para a TAM, em comparação com os grupos padrão. A TAM diminuiu ($p<0,05$) em 7,90 % e 6,05 % com o acréscimo, respectivamente, da fonte fibrosa VII e padrão, nas dietas, do nível de 3 % para 9 %, enquanto que nos grupos alimentados com a fonte de fibra VI os valores para a TAM foram semelhantes.

O balanço enterogástrico da matéria orgânica não-nitrogenada, mostrou que os valores percentuais para a digestibilidade da matéria orgânica não-nitrogenada (DaMONN) foram, como já era esperado, maiores ($p<0,05$) nos grupos II e nos grupos I comparados àqueles dos grupos padrão (Quadro 24), sendo que a diferença aumentou com o acréscimo nas dietas das fontes fibrosas. Entre os grupos I e II de igual concentração de fonte fibrosa, os valores percentuais para a DaMONN foram semelhantes ($p<0,05$) nos níveis mais altos iguais a 6 % e 9 %, porém, no nível de 3 % a DaMONN foi maior ($p<0,05$) no grupo II. Ainda, os valores da DaMONN diminuiram ($p<0,05$) nos grupos de animais em dietas contendo quantidades crescentes da mesma fonte fibrosa, passando de 3 % para 6 % e 9 %, sendo a redução menos expressiva nos grupos em dietas contendo as fontes I e II

obtidas do feijão 'Carioca 80 SH'. Enquanto nos grupos I e II a redução no nível máximo de 9 % foi respectivamnte de 2,14 % e 2,84 %, nos grupos padrão o grau de redução para a DaMONN foi bem maior e igual a 5,91 %.

A DaMONN foi maior ($p<0,05$) nos grupos alimentados com as dietas contendo a fonte fibrosa solúvel III do que nos grupos em dietas contendo a fonte insolúvel IV (Quadro 25). Nos grupos V, os quais foram alimentados com dietas contendo ambas as fontes fibrosas, a III e a IV, na mesma proporção em que estão presentes no feijão integral, os valores calculados para a DaMONN foram intermediários.

Os grupos VI e VII não diferiram estatisticamente ($p<0,05$) com relação ao grau de digestibilidade aparente da matéria orgânica não-nitrogenada da dieta (Quadro 26), porém, estes diferiram significantemente ($p<0,05$) do grupo padrão, no mesmo nível da fonte fibrosa na dieta. Os valores da DaMONN diminuíram ($p<0,05$) muito com o acréscimo de 9 % nas dietas da fonte de fibra padrão. Enquanto que nos grupos testes VI e VII as reduções forem bem menos expressivas e estimadas respectivamente em 0,98 % e 1,14 %, nos grupos padrão a redução foi bem maior e igual a 5,58 %.

O menor grau de digestibilidade aparente verificado para a proteína (DaP) alimentar nos ratos dos grupos I e II comparado ao dos grupos padrão (Quadro 18), dos grupos III comparado ao dos grupos IV (Quadro 19), e dos grupos VI e VII comparado ao dos grupos padrão (Quadro 20), poderia ser atribuído, também, à presença de proteínas indigeríveis ou

muito pouco digeríveis nas frações fibrosas, e/ou, efeitos interativos dos componentes fibrosos solúveis, de natureza carboidrática da fibra alimentar do feijão 'Carioca 80 SH' com a proteína da dieta. Todas as frações fibrosas obtidas de feijão continham conteúdos ainda consideráveis de proteínas (Quadro 10), sendo que, a Fração III foi aquela que apresentou um conteúdo bastante alto em proteína estimado em 36,44 %.

O maior grau de digestibilidade aparente para a proteína e a maior taxa de absorção para os minerais das dietas contendo a Fração VI (Quadros 20 e 23), com altas hidratabilidade e viscosidade, do que para a proteína e os minerais das dietas contendo a Fração VII, também com altas hidratabilidade e viscosidade, podem ser explicados pelo grau de digestão que sofrem essas frações fibrosas até o intestino delgado dos ratos. *In vitro*, a Fração VI foi hidrolisada mais extensivamente que a Fração VII (Quadro 11), pelas enzimas do suco digestivo. Assim, a Fração VI, por sofrer maior grau de hidrólise aparente até o intestino delgado, resultou em: a) uma maior liberação da proteína e dos minerais, em interação com esses componentes fibrosos da dieta; e b) uma maior diminuição da viscosidade do bolo alimentar naquele local, facilitando a absorção de nutrientes para a parede intestinal. A ação de produtos formados durante os procedimentos, de digestão enzimática *in vitro* e/ou de secagem em estufa na temperatura de 70 °C, aplicados para obter a fonte fibrosa VII (Figura 3), pode,

também, explicar os menores valores obtidos para a taxa de absorção dos minerais e para a Da das proteínas, ingeridos na dieta.

Os valores mais altos para a DaP verificada nos grupos II em comparação com os grupos I (Quadro 18), podem ser atribuídos ao efeito do tratamento térmico da Fração I para obtenção da Fração II. Esse efeito poderia ser devido à inativação de inibidores e/ou desnaturação de componentes da fração fibrosa com o tratamento térmico. A taxa de absorção de minerais (Quadro 21), aparentemente, não mostrou ser dependente do tratamento térmico aplicado ao material fibroso. Os valores semelhantes para a DaMONN (Quadro 24) nos grupos I e II, a despeito da possível hidrólise diferenciada no intestino delgado, podem ser explicados pela degradação microbiana destes componentes, incluindo os de natureza fibrosa, no intestino grosso dos animais.

O acréscimo de celulose, fibra padrão, nas dietas do primeiro ensaio em substituição do amido não afetou o grau de digestibilidade da caseína (Quadro 18), fonte protéica única na dieta. No terceiro ensaio, contudo, a pequena redução no grau de digestibilidade (2 %) da caseína pode ser atribuída a modificações ocorridas na estrutura da celulose. O produto celulose de elevado grau de pureza utilizado na formulação das dietas foi umidecido, aquecido com água em ebulição por 1 hora e secado por liofilização. Tal procedimento reduziu em muito o volume das partículas do produto celulose.

Os resultados dos balanços de nitrogênio não foram consistentes para avaliar se os componentes solúveis e os insolúveis da fibra alimentar do feijão "Carioca 80 SH" tiveram algum efeito característico no grau de utilização da proteína ingerida pelo organismo do rato. A fibra de celulose (padrão) de baixa densidade, contudo, diminuiu em 8,6 % o grau de retenção da caseína ingerida (NPUa) e o grau de retenção da caseína absorvida (VBaP) pelos ratos (Quadro 18), mas, não teve qualquer efeito característico no grau de digestibilidade aparente (Da) da caseína. A fibra celulose de alta densidade, porém, diminuiu o grau de digestibilidade (Da) em 2 % e o de retenção da caseína ingerida (NPUa) em 3,8 % (Quadro 19), mas, teve efeito semelhante no grau de retenção da caseína absorvida (VBaP).

Os valores menores para a taxa de absorção dos minerais (TAM) nos grupos III em comparação com os grupos IV (Quadro 22), e nos grupos VII comparados aos grupos padrão (Quadro 23), podem ter sido resultantes da maior afinidade dos componentes fibrosos solúveis para os minerais da dieta, do que os insolúveis, e também,da ação de substâncias formadas durante o procedimnto de obtenção das respectivas Frações, a III e a VII, as quais formariam complexos com os minerais tornando-os não-absorvíveis no trato digestivo dos animais.

Segundo Southgate (1987), a pectina e outros polissacarídeos acídicos, em ensaios *in vitro*, ligaram-se à nutrientes inorgânicos, em pH próprio do intestino delgado.

Sem especificar a natureza das fibras, Southgate (1987, 1973) e Cummings (1978) atribuíram a ocorrência de diminuição na Da da proteína e na absorção de minerais, da dieta, à ingesta aumentada de fibra alimentar.

A maior viscosidade intra-intestino delgado ocasionada pelos componentes solúveis da fibra, bem como, a participação dos nutrientes na matriz do gel, formado por esta fibra, também podem explicar a obtenção dos valores mais baixos para a Da da proteína e para a taxa de absorção dos minerais (TAM), ingeridos pelos ratos dos Grupos III e VII. Alta viscosidade intestinal diminui a difusibilidade de todos os constituintes do bolo alimentar, e como consequência tem-se: (a) queda de atividade das enzimas digestivas; e (b) redução da velocidade de difusão dos nutrientes para absorção na parede intestinal.

Também, Roehrig (1988) e Schneeman (1986) se utilisaram destas propriedades da fibra solúvel para explicar seus efeitos em diminuir a absorção intestinal dos nutrientes. Para Southgate (1973), a gelificação dos componentes solúveis da fibra diminui a velocidade de difusão dos produtos da digestão para a superfície da mucosa absortiva intestinal. Ainda, para Cummings (1978) as fibras estimulam a excreção endógena digestiva, e assim, alguns nutrientes, como proteínas e lipídeos, poderiam ser excretados como componentes dos sucos digestivos.

CONCLUSÕES

Nas condições em que foram executados os tratamentos experimentais desta pesquisa, pôde-se concluir que:

1. Os grãos integrais de feijão (*Phaseolus vulgaris*) "Carioca 80 SH" renderam conteúdos de fibra alimentar solúvel, insolúvel e total estimados, em peso seco, em 6,00 %, 11,05 % e 17,05 %, respectivamente.

2. Uma fração polissacarídea, com altas hidratabilidade e viscosidade, foi extraída dos grãos integrais de feijão (*Phaseolus vulgaris*) "Carioca 80 SH" com solução a 10 % de ácido tricloroacético, na proporção de 4,02 %, em peso seco, dos quais, 2,50 % foram estimados como fibra alimentar solúvel indigerível, *in vitro*.

3. Os polissacarídeos, com altas hidratabilidade e viscosidade, extraíveis dos grãos de feijão "Carioca 80 SH" na Fração VII (fibra alimentar solúvel), foram pouco digeríveis (cerca de 10 %) *in vitro*, pelo sistema enzimático pepsina/pancreatina mais amiloglicosidase e alfa-amilase, porém, no trato gastro-intestinal dos ratos foram

extensivamente degradados, no mínimo em cerca de 65 %, aparentemente por fermentação microbiana. A celulose (fibra padrão), no entanto, foi hidrolisada em grau reduzido, cerca de 9 %, no trato gastro-intestinal dos ratos.

4. A fibra insolúvel estimulou o rato a ingerir maiores quantidades de alimento, enquanto que os componentes solúveis, como aqueles da fibra alimentar do feijão "Carioca 80 SH", não tiveram o mesmo efeito, e ao contrário, estimularam o rato a diminuir sua ingesta. A ingesta foi entre 15,6 a 29,5 % menor nos ratos em dietas contendo concentrações de 6 % e 9 % dos componentes fibrosos com altas hidratabilidade e viscosidade, extraíveis do feijão "Carioca 80 SH" nas Frações VI ou VII, do que nos ratos em dietas contendo a celulose, utilizada como referência.

5. Ratos em dieta contendo, como fonte primária de fibra, os componentes polissacarídeos com altas hidratabilidade e viscosidade, extraíveis do feijão "Carioca 80 SH" nas Frações VI ou VII, produziram fezes de menor peso seco e menor volume, comparadas às fezes dos ratos em dieta contendo a celulose (padrão). A taxa de excreção, em peso seco, da dieta como fezes também foi menor, entre 23,0 a 63,9 %, nos ratos em dieta contendo aquelas frações solúveis da fibra, em concentrações de 3 %, 6 % e 9 %.

6. O acréscimo da fibra celulose (padrão) nas concentrações de 3 %, 6 % e 9 %, em substituição do amido, nas dietas experimentais isoprotéicas e tendo a caseína como fonte de proteína, diminuiu em 8,6 % tanto o grau de retenção da caseína ingerida (NPUa) como o da caseína absorvida (VBaP) pelos ratos, mas, não teve qualquer efeito característico no grau de digestibilidade aparente (Dap) da caseína. Porém, quando foi incorporado na dieta o produto celulose grau p.a. e de maior densidade (após tratamento térmico), ocorreu diminuição no grau de digestibilidade (2,0 %) e no grau de retenção da caseína ingerida (3,8 %) pelos ratos, contudo, o efeito foi semelhante ao da celulose de baixa densidade no grau de retenção da caseína absorvida.

7. Ratos alimentados com dieta contendo a fração solúvel da fibra alimentar, extraída do feijão "Carioca 80 SH", apresentaram menor digestibilidade aparente para a proteína ingerida do que aqueles em dieta contendo a fração insolúvel ou a celulose, utilizada como referência.

8. Os componentes solúveis, com altas hidratabilidade e viscosidade, extraídos do feijão "Carioca 80 SH" na Fração VI, tiveram efeito semelhante ao da celulose grau p.a. na taxa de absorção dos minerais ingeridos na dieta pelos ratos, quando ambos foram adicionados às dietas em igual concentração de 3 % e 6 %, e, na concentração de 9 % a taxa de absorção foi 7,83 % maior para a Fração VI. Em contraste,

a Fração VII (fibra alimentar solúvel), também extraída do feijão "Carioca 80 SH" e apresentando altas hidratabilidade e viscosidade, resultou em menor taxa de absorção para os minerais, comparada a celulose grau p.a. e a Fração VI.

O acréscimo nas dietas experimentais da fibra alimentar, tanto a solúvel (Fração VII) como a insolúvel (Padrão de celulose), nas concentrações de até 9 %, em substituição do amido, diminuiu a taxa de absorção dos minerais no trato gastro-intestinal dos ratos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS (AACC). **Approved methods of the American Association of Cereal Chemists.** 8. ed., Minnesota, USA, 1983.

2. ANDERSON, E. Endosperm mucilages of legumes: occurrence and composition. **Indust. Engineer. Chem.**, 41: 2887-2890, 1949.

3. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). **Official methods of analysis.** 14. ed., Washington, 1984.

4. BECKER, H. G.; FELDHEIM, W.; KULIKOWSKI, W.; SEIBEL, W. Dietary fiber and bread: intake, enrichment, determination and influence on colonic function. **Cer. Foods World**, 31: 306-310, 1986.

5. BINGHAM, S. Definitions and intakes of dietary fiber. **Am. J. Clin. Nutr.**, Bethesda, 45: 1226-1231, 1987.

6. CABRAL, M. M. V. N. **Utilização biológica do ferro do feijão "Carioca 80 SH"** (*Phaseolus vulgaris*) **na reposição da hemoglobina de ratos anêmicos.** Campinas, 1990. Tese (Mestrado), Fac.Eng. Alim., Universidade Estadual de Campinas.

7. CALLOWAY, D. H.; HICKEY, C. A.; MURPHY, E. L. Reduction of intestinal gas-forming properties of legumes by traditional and experimental food processing methods. **J. Food Sci.**, Chicago, 36: 251-255, 1971.

8. CAVALCANTI, M.L.F. Fibras alimentares. **R.Nutr. Puccamp**, Campinas, 2: 88-97, 1989.

9. COLE, E. W. Isolation and chromatographic fractionation of hemicelluloses from wheat flour. **Cer. Chem.**, 44: 411-416, 1967.

10. CONNELL, A. M. The effects of dietary fiber on gastrointestinal motor function. **Am. J. Clin. Nutr.**, Bethesda, 31: S151-S156, 1978.

11. CUMMINGS, J. H. Nutritional implications of dietary fiber. **Am. J. Clin. Nutr.**, Bethesda, 31: S21-S29, 1978.

12. CUMMINGS, J. H. & ENGLYST, H. N. Fermentation in the human large intestine and the available substrates. **Am. J. Clin. Nutr.**, Bethesda, 45: 1243-1255, 1987.

13. DEVI, K. S. & KURUP, P. A. Hypolipidaemic activity of *Phaseolus mungo* (blackgram) in rats fed a high-fat high-cholesterol diet: isolation of a protein and polyssaccharide fraction. **Atherosclerosis**, 15: 223-230, 1972.

14. DREHER, M.L.; DREHER, C.J.; BERRY, J.W. Starch digestibility of foods: a nutritional perspective. **CRC Crit. Rev. Food Sci. and Nutr.**, 20: 47-71, 1984.

15. DURIGAN, J. F. **Estudo da toxidez, composição e valor nutritivo das proteínas de cultivares brasileiros de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.).** Campinas, 1985. Tese (Doutorado), Fac. Eng. Alim. Agric., Universidade Estadual de Campinas.

16. EASTWOOD, M.A. Fiber in the gastrointestinal tract. **Am. J. Clin. Nutr.**, Bethesda, 31: S30-S32, 1978.

17. EASTWOOD, M.A. Vegetable fibre: its physical properties **Proc. Nutr. Soc.**, Cambridge, 32: 137-143, 1973.

18. ERSHOFF, B.H. & WELLS, A.F. Effects of guar gum, locust bean, gum and carrageenan on liver cholesterol of cholesterol-fed rats. **Proc. Soc. Exp. Biol. Med.**, New York, **110**: 580-582, 1962.

19. FINCHER, G.B. & STONE, B.A. A water-soluble arabinogalactan-peptide from wheat endosperm. **Aust. J. Biol. Sci.**, 27: 117-132, 1974.

20. FURDA, I. Fractionation and examination of biopolymers from dietary fiber. **Cer. Food World**, 22: 252-254, 1977.

21. GORBACH, S.L. & GOLDIN, B.R. Nutrition and the gastrointestinal microflora. **Nutr. Reviews**, 50: 378-381, 1992.

22. GEERVANI, P. & THEOPHILUS, F. Influence oflegume starches on protein utilization and availability of lysine and methionine to albino rats. **J. Food Sci.**, Chicago, 46: 817-817, 1981.

23. HARTLEY, R. D. The lignin fraction of plant cell walls. **Am. J. Clin. Nutr.**, Bethesda, **31**: S90-S93, 1978.

24. HELLENDOORN, E. W.; NOORDHOFF, M. G.; SLAGMAN, J. Enzymatic determination of the indigestible residue (dietary fibre) content of human food. **J. Sci. Food Agric.**, London, **26**: 1461-1468, 1975.

25. HOWARD, P. & MAHONEY, R. R. Effect of dietary fibers on the enzymatic digestion of casein. **Food Chem.**, Barking, **34**: 141-146, 1989.

26. KRITCHEVSKY, D. Dietary fibre and lipid metabolism. **International J. Obesity**, **11**: 33-43, 1987.

27. KRITCHEVSKY, D. Fiber, lipids and atherosclerosis. **Am. J. Clin. Nutr.**, Bethesda, **31**: S65-S74, 1978.

28. LEES, R. **Manual de análise de alimentos.** [Laboratory handbook of methods of food analysis]. Zaragoza, Ed. Acribia, 1969.

29. LEWIS, B. A. Physical and biological properties of structural and other nondigestible carbohydrates. **Am. J. Clin. Nutr.**, Bethesda, **31**: S82-S85, 1978.

30. MARSHALL, J. J. & LAUDA, C. M. Purification and properties of phaseolamin, an inhibitor of alpha-amylase, from the kidney bean, *Phaseolus vulgaris*. **J. Biol. Chem.**, Bethesda, **250**: 8030-8037, 1975.

31. McCONNELL, A.A.; EASTWOOD, M.A.; MITCHELL, W. D. Physical Characteristics of vegetable foodstuffs that could influence bowel function. **J. Sci. Food. Agric.**, London, 25: 1457-1464, 1974.

32. MENDELOFF, A. I. Dietary fiber and gastrointestinal disease. **Am. J. Clin. Nutr.**, Bethesda, 45: 1267-1270, 1987.

33. MIETTINEN, T.A. Dietary fiber and lipids. **Am. J. Clin. Nutr.**, Bethesda, 45: 1237-1242, 1987.

34. MORAES, R.M. & ANGELUCCI, E. Chemical composition and amino acid contents of Brazilian beans (*Phaseolus vulgaris*). **J. Food Sci.**, Chicago, 36: 493-494, 1971.

35. MURPHY, E.L.; HORSLEY, H.; BURR, H.K. Fractionation of dry bean extracts which increase carbon dioxide egestion in human flatus. **J. Agric. Food Chem.**, Washington, 20: 813-817, 1972.

36. NAIVIKUL, O. & D'APPOLONIA, B.L. Carbohydrates oflegume flours compared with wheat flour. III. Nonstarchy polysaccharides. **Cer. Chem.**, 56: 45-49, 1979.

37. NORMAND, F. L.; ORY, R. L.; MOD, R. R. Binding of bile acids and trace minerals by soluble hemicelluloses of rice. **Food Technol.**, Chicago, 2: 86-90, 1987.

38. NUTRITIONAL BIOCHEMICALS CORPORATION (NBC). **INC Diet Catalog.** Cleveland, Ohio, 1977/1978.

39. OHTANI, k. & MISAKI, A. Structure of cell wall polysaccharide isolated from cotyledon of tora-bean (*Phaseolus vulgaris*). **Agric. Biol. Chem.**, 44: 2029-2038, 1980.

40. OLIVEIRA, A.C. Fatores endógenos e exógenos com influência na digestibilidade e valor biológico das pro-

teínas de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). Campinas, 1986. Tese (Doutorado), Fac. Eng. Alim. Agrí., Universidade Estadual de Campinas.

41. OLIVEIRA, A.C. & SGARBIERI, V.C. Effect of diets containing dry beans (Phaseolus vulgaris, L.) on the rat excretion of endogenous nitrogen. **J. Nutr.**, Bethesda, **116**: 2387-2392, 1986.

42. OLIVEIRA, A.C.; VIDAL, B.C.; SGARBIERI, V.C. Lesions of intestinal epithelium by ingestion of bean lectins in rats. **J. Nutr. Sci. Vitaminol.**, Tokyo, 35: 315-322, 1989.

43. OLSON, A.; GRAY, G. M.; CHIU, M. C. Chemistry and analysis of soluble dietary fiber. **Food Technol.**, Chicago, 2: 71-80, 1987.

44. PATIL, S. K.; TSEN, C. C.; LINEBACK, D.R. Water-soluble pentosans of wheat flour. I. Viscosity properties and molecular weights estimated by gel filtration. **Cer. Chem.**, 52: 45-56, 1975.

45. PAYNE, T.J. The role of raisins in high-fiber mueslis-tyle formulations. **Cer. Foods World**, 32: 545-547, 1987.

46. PETERSON, W.H. & CHURCHILL, H. The carbohydrate content of the navy bean. **J. Am. Chem. Soc.**, 43: 1180-1185, 1921.

47. PROSKY, L.; ASP, N. G.; FURDA, I.; DeVRIES, J. W.; SCHWEIZER, T. F.; HARLAND, B. F. Determination of total dietary fiber in food products: collaborative

study. **J. Assoc. Off. Anal. Chem.**, Washington, **68**: 677-679, 1985.

48. PROSKY, L.; ASP, N. G.; FURDA, I.; DEVRIES, J. W.; SCHWEIZER, T. F.; HARLAND, B. F. Determination of total dietary fiber in foods, food products, and total diets: interlaboratory study. **J. Assoc. Off. Anal. Chem.**, Washington, **67**: 1044-1052, 1984.

49. PUSZTAI, A. & PALMER, R. Nutritional evaluation of kidney beans (*Phaseolus vulgaris*): the toxic principle. **J. Sci. Food Agric.**, London, **28**: 620-623, 1977.

50. RACKIS, J.J.; HONIG, D.H.; SESSA, D.J.; STEGGERDA, F.R. Flavor and flatulence factors in soybean protein products. **J. Agric. Food Chem.**, Washington, **18**: 977-982, 1970.

51. REISER, S. Metabolic effects of dietary pectins related to human health. **Food Technol.**, Chicago, **2**: 91-99, 1987.

52. ROEHRIG, K. The physiological effects of dietary fiber. **Food Hydrocolloids**, **2**: 1-18, 1988.

53. ROGERS, Q. & HARPER, A.E. Amino acid and maximal growth in the rat. **J. Nutr.**, Bethesda, **87**: 2167-2173, 1965.

54. SATHE, S. K. & SALUNKHE, D. K. Isolation and partial characterization of an arabinogalactan from the great northern bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **J. Food Sci**, Chicago, **46**: 1276-1277, 1981.

55. SATHE, S.K.; DESHPANDE, S.S.; SALUNKHE, D.K. Dry beans of *Phaseolus*. Part 2. Chemical composition: carbohydrates,

fiber, minerals, vitamins and lipids. **CRC Crit. Rev. Food Sci. and Nutr.**, 21: 41-93, 1984.

56. SCHNEEMAN, B. O. Soluble vs insoluble fiber: different physiological responses. **Food Technol.**, Chicago, 2: 81-82, 1987.

57. SCHNEEMAN, B. O. Physical and chemical properties, methods of analysis and physiological effects. **Food Technol.**, Chicago, 2: 104-110, 1986.

58. SCHWEIZER, T.F. & EDWARDS, C.A. Nutritional Function in Health and Disease. **In: Dietary Fibre - A component of Food.** London, Ed. Springer-Verlag, 1992.

59. SCHWEIZER, T.F. & WÜRSCH, P. Analysis of dietary fibre **J. Sci. Food Agric.**, London, **30**: 613-619, 1979.

60. SGARBIERI, V. C. **Alimentação e nutrição: Fator de saúde e desenvolvimento.** Campinas, São Paulo, Ed. Unicamp, Almed, 1987.

61. SGARBIERI, V. C. & WHITAKER, J. R. Physical, chemical, and nutritional properties of common bean (*Phaseolus*) proteins. **Adv. in Food Research**, 28: 93-166, 1982.

62. SGARBIERI, V. C.; ANTUNES, P. L.; ALMEIDA, L. D. Nutritional evaluation of four varieties of dry beans (*Phaseolus vulgaris*, L.). **J. Food Sci.**, Chicago, 44: 1306-1308, 1979.

63. SOUTHGATE, D. A. T. Minerals, trace elements and potential hazards. **Am. J. Clin. Nutr.**, Bethesda, 45: 1256-1266, 1987.

64. SOUTHGATE, D. A. T. Dietary fiber: analysis and food sources. **Am. J. Clin. Nutr.**, Bethesda, **31**: S107-S110, 1978.

65. SOUTHGATE, D. A. T. Fibre and the other unavailable carbohydrates and their effects on the energy value of the diet. **Proc. Nutr. Soc.**, Cambridge, **32**: 131-136, 1973.

66. SUSHEELAMMA, N.S. & RAO, M.V.L. Functional role of the arabinogalactan of black gram (*Phaseolus mungo*) in the texture of leavened foods (steamed puddings). **J. Food Sci.**, Chicago, **44**: 1309-1312, 1979.

67. SUSHEELAMMA, N.S. & RAO, M.V.L. Isolation and characterization of arabinogalactan from black gram (*Phaseolus mungo*). **J. Agric. Food Chem.**, Washington, **26**: 1434-1437, 1978.

68. SUSHEELAMMA, N. S. & RAO, M. V. L. Surface-active principle in black gram (*Phaseolus mungo*) and its role in the texture of leavened foods containing the legume. **J. Sci. Food Agric.**, London, **25**: 665-673, 1974.

69. THEANDER, O. & WESTERLUND, E. A. Studies on dietary fiber. 3. Improved procedures for analysis of dietary fiber. **J. Agric. Food Chem.**, Washington, **34**: 330-336, 1986.

70. TOBIN, G. & CARPENTER, K. J. The nutritional value of the dry bean (*Phaseolus vulgaris*): A literature review. **Nutr. Abst. Rev. - Ser. A. Hum. and Exper.**, Farnham Royal, **48**: 919-936, 1978.

71. TOMA, R. B. & CURTIS, D. J. Dietary fiber: Effect on mineral bioavailability. **Food Technol.**, Chicago, 2: 111-116, 1986.

72. TROWELL, H. The development of the concept of dietary fiber in human nutrition. **Am. J. Clin. Nutr.**, Bethesda, **31**: S3-S11, 1978.

73. TROWELL, H. Dietary fibre, ischaemic heart disease and diabetes mellitus. **Proc. Nutr. Soc.**, Cambridge, 32: 151-157, 1973.

74. UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. Departamento de Zootecnia. **Coordenação do programa estatístico SAEG.** Viçosa, Minas Gerais.

75. VALENZUELA, M.R.C. **Fracionamento do feijão 'Carioca 80' e interferência das frações na utilização pelo rato da proteína da dieta.** Campinas, 1989. Tese (Mestrado) Fac. Eng. Alim., Universidade Estadual de Campinas.

76. VAN ITALLIE, T. B. Dietary fiber and obesity. **Am. J. Clin. Nutr.**, Bethesda, **31**: S43-S52, 1978.

77. VAN SOEST, P.J. Workshop I- Component analysis of fiber in food. Summary and recommendations. **Am. J. Clin. Nutr.**, Bethesda, **31**: S75-S76, 1978a.

78. VAN SOEST, P. J. Dietary fibers: their definition and nutritional properties. **Am. J. Clin. Nutr.**, Bethesda, 31: S12-S20, 1978b.

79. VAN SOEST, P. J. & McQUEEN, R. W. Proceedings of the nutrition society. Symposium on fibre in human nutri-

tion. The chemistry and estimation of fibre. **Proc. Nutr. Soc.** Cambridge, 32: 123-130, 1973.

80. VERCELLOTTI, J.R.; SALYERS, A.A.; WILKINS, T.D. Complex carbohydrate breakdown in the human colon. **Am. J. Clin. Nutr.**, Bethesda, 31: S86-S89, 1978.

81. WAGNER, J.R.; CARSON, J.F.; BECKER, R.; GUMBMANN, M.R.; DANHOF, I. E. Comparative flatulence activity of beans and bean fractions for man and the rat. **J. Nutr.**, Bethesda, **107**: 680-689, 1977.

82. WAHLQVIST, M. L. Dietary fiber and carbohydrate metabolism. **Am. J. Clin. Nutr.**, Bethesda, **45**: 1232-1236, 1987.

83. WALKER, A. R. P. Effect of high crude fiber intake on transit time and the absorption of nutrients in South African Negro school children. **Am. J. Clin. Nutr.**, Bethesda, 28: 1161-1169, 1975.

84. WELLS, A. F. & ERSHOFF, B. H. Beneficial effects of pectin in prevention of hipercholesterolemia and increase in liver cholesterol in cholesterol-fed rats **J. Nutr.**, Bethesda, 74: 87-92, 1961.

85. WELLS, A. F. & ERSHOFF, B. H. Comparative effects of pectin NF administration on the cholesterol fed rabbit, guinea pig, hamster and rat. **Proc. Soc. Exp. Biol. Med.**, New York, **111**: 147-149, 1962.

86. WILDER, B. M. & ALBERSHEIM, P. The structure of plant cell walls. IV. A structural comparison of the wall hemicellulose of cell suspension cultures of sycamore

(*Acer pseudoplatanus*) and of red kidney bean (*Phaseolus vulgaris*). **Plant. Physiol.**, **51**: 889-893, 1973.

87. WILLIAMS, P. C. The use of titanium dioxide as a catalyst for large-scale Kjeldahl determination of the total nitrogen content of cereal grains. **J. Sci. Food Agric**, London, **24**: 343-348, 1973.

88. WISKER, E. & FELDHEIM, W. Faecal bulking and energy value of dietary fibre. In: **Dietary Fibre-A component of Food.** London, Ed. Springer-Verlag, 1992.

APÊNDICE A

Composição (%, b.s.) das nove dietas avaliadas no primeiro ensaio e diferenciadas quanto ao tipo e conteúdo em fonte fibrosa.

Fonte fibrosa		Proteínas		Minerais		MONN	
Nível	Tipo	Total	FF	Total	FF	Total	FF
3%	I	10,31	0,31	4,15	0,07	85,54	2,62
	II	10,37	0,31	4,18	0,07	85,45	2,62
	Padão	10,06	0,00	4,02	0,01	85,92	2,99
6%	I	10,75	0,69	4,20	0,14	85,05	5,17
	II	10,75	0,69	4,24	0,14	85,01	5,17
	Padrão	10,00	0,00	4,12	0,01	85,88	5,99
9%	I	11,06	1,00	4,26	0,21	84,68	7,79
	II	11,00	1,00	4,19	0,21	84,81	7,79
	Padrão	10,06	0,00	3,98	0,02	85,96	8,98

MONN= matéria orgânica não-nitrogenada da ingesta; FF= fonte fibrosa (os dados para FF foram determinados por cálculo); I,II = Frações fibrosas isoladas em peneira (Fig.1); Padrão= celulose de elevado grau de pureza e de baixa densidade.

APÊNDICE B

Composição (%, b.s.) das nove dietas avaliadas no segundo ensaio e diferenciadas quanto ao tipo e conteúdo em fonte fibrosa.

Fonte fibrosa		Proteínas		Minerais		MONN	
Nível	Tipo	Total	FF	Total	FF	Total	FF
3%	III	11,69	1,09	4,74	0,55	83,57	1,36
	IV	11,44	0,70	4,35	0,24	84,21	2,06
	V	11,50	0,84	4,54	0,35	83,96	1,81
6%	III	12,81	2,19	5,20	1,11	81,99	2,70
	IV	12,06	1,40	4,59	0,49	83,35	4,14
	V	12,31	1,68	4,78	0,71	82,91	3,60
9%	III	13,81	3,28	5,58	1,66	80,61	4,06
	IV	12,75	2,10	4,80	0,73	82,45	6,17
	V	13,00	2,51	5,02	1,06	81,98	5,43

MONN= matéria orgânica não-nitrogenada da ingesta; FF= fonte fibrosa (os dados para FF foram determinados por cálculo); III,IV,V = Frações fibrosas solúvel, insolúvel, mistura de ambas, obtidas da digestão enzimática (Fig. 2).

APÊNDICE C

Composição (%, b.s.) das nove dietas avaliadas no terceiro ensaio e diferenciadas quanto ao tipo e conteúdo em fonte fibrosa.

Fonte fibrosa		Proteínas		Minerais		MONN	
Nível	Tipo	Total	FF	Total	FF	Total	FF
3%	VI	10,50	0,24	4,16	0,18	85,34	2,58
	VII	10,50	0,17	4,35	0,32	85,15	2,51
	Padrão	10,50	0,17	4,35	0,32	85,15	2,51
6%	VI	10,94	0,48	4,37	0,35	84,69	5,17
	VII	10,75	0,33	4,62	0,63	84,63	5,04
	Padrão	10,25	0,02	4,00	0,01	85,75	5,97
9%	VI	10,94	0,73	4,53	0,53	84,53	7,74
	VII	10,75	0,49	0,49	0,95	84,31	7,56
	Padrão	10,25	0,03	4,03	0,02	85,72	8,95

MONN= matéria orgânica não-nitrogenada da ingesta; FF= fonte fibrosa (os dados para FF foram determinados por cálculo); VI,VII = Frações fibrosas extraídas com solução de TCA 10 %, não tratada e tratada enzimaticamente (Fig. 3); Padrão = celulose de elevado grau de pureza e de alta densidade.

APÊNDICE D

ÍNDICE DE QUADROS

QUADRO 1. Conteúdo de fibra alimentar de alguns alimentos e reprodutibilidade do método de Prosky 10

QUADRO 2. Conteúdo de fibra alimentar solúvel, insolúvel e total de alguns alimentos, determinado pelo método de Berlin 11

QUADRO 3. Composição centesimal (%) média da fibra alimentar de cereais, leguminosas e frutas 14

QUADRO 4. Mistura vitamínica utilizada na formulação das dietas ensaiadas 64

QUADRO 5. Mistura salina utilizada na formulação das dietas ensaiadas 65

QUADRO 6. Formulação básica utilizada para o preparo das dietas ensaiadas 66

QUADRO 7. Formulação (g/100 g) das dietas utilizadas no primeiro ensaio de balanço, em ratos 67

QUADRO 8. Formulação (g/100 g) das dietas utilizadas no segundo ensaio de balanço, em ratos 68

QUADRO 9. Formulação (g/100 g) das dietas utilizadas no terceiro ensaio de balanço, em ratos 69

QUADRO 10. Composição química (%, b.s.) das frações fibrosas extraídas de grãos integrais do feijão "Carioca 80 SH" e da fibra padrão 76

QUADRO 11. Resíduo da digestão enzimática *in vitro* e polissacarídeos (%, b.s.) determinados nas fontes fibrosas extraídas de grãos integrais do feijão "Carioca 80 SH" e na fibra padrão 77

QUADRO 12. Valores médios (g/dia) do ganho em peso, para ratos em dietas diferenciadas no tipo e no conteúdo da fonte fibrosa..... 83

QUADRO 13. Valores médios da ingesta alimentar (IA), da fonte fibrosa ingerida (FFI), do resíduo fecal (RF) e da taxa de excreção da ingesta como resíduo fecal (TexRF), para ratos do primeiro ensaio em dietas diferenciadas no tipo e no conteúdo da fonte fibrosa 84

QUADRO 14. Valores médios da ingesta alimentar (IA), da fonte fibrosa ingerida (FFI), do resíduo fecal (RF) e da taxa de excreção da ingesta como resíduo fecal (TexRF), para ratos do segundo ensaio em dietas diferenciadas no tipo e no conteúdo da fonte fibrosa 85

QUADRO 15. Valores médios da ingesta alimentar (IA), da fonte fibrosa ingerida (FFI), do resíduo fecal (RF) e da

taxa de excreção da ingesta como resíduo fecal (TexRF), para ratos do terceiro ensaio em dietas diferenciadas no tipo e no conteúdo da fonte fibrosa 86

QUADRO 16. Valores médios (%) para o mínimo de degradação da fonte fibrosa VI e seus componentes, fração de carboidratos e de polissacarídeos não-celulósicos não-hidrolisáveis *in vitro* pela glicoamilase, no trato digestivo dos ratos, em dietas diferenciadas no conteúdo da fonte fibrosa 87

QUADRO 17. Valores médios (%) para o mínimo de degradação da fonte fibrosa VII e seus componentes, fração de carboidratos e de polissacarídeos não-celulósicos não-hidrolisáveis *in vitro* pela glicoamilase, no trato digestivo dos ratos, em dietas diferenciadas no conteúdo da fonte fibrosa 88

QUADRO 18. Valores médios experimentais e calculados do balanço de nitrogênio, para ratos do primeiro ensaio em dietas diferenciadas no tipo e no conteúdo da fonte fibrosa 89

QUADRO 19. Valores médios experimentais e calculados do balanço de nitrogênio, para ratos do segundo ensaio em dietas diferenciadas no tipo e no conteúdo da fonte fibrosa 90

QUADRO 20. Valores médios experimentais e calculados do balanço de nitrogênio, para ratos do terceiro ensaio em dietas diferenciadas no tipo e no conteúdo da fonte fibrosa 91

QUADRO 21. Valores médios do balanço enterogástrico de minerais e da taxa de absorção, para ratos do primeiro ensaio em dietas diferenciadas no tipo e no conteúdo da fonte fibrosa 92

QUADRO 22. Valores médios do balanço enterogástrico de minerais e da taxa de absorção, para ratos do segundo ensaio em dietas diferenciadas no tipo e no conteúdo da fonte fibrosa 93

QUADRO 23. Valores médios do balanço enterogástrico de minerais e da taxa de absorção, para ratos do terceiro ensaio em dietas diferenciadas no tipo e no conteúdo da fonte fibrosa 94

QUADRO 24. Valores médios do balanço enterogástrico da matéria orgânica não-nitrogenada e de sua digestibilidade, para ratos do primeiro ensaio em dietas diferenciadas no tipo e no conteúdo da fonte fibrosa 95

QUADRO 25. Valores médios do balanço enterogástrico da matéria orgânica não-nitrogenada e de sua digestibilidade, para ratos do segundo ensaio em dietas diferenciadas no tipo e no conteúdo da fonte fibrosa 96

QUADRO 26. Valores médios do balanço enterogástrico da matéria orgânica não-nitrogenada e de sua digestibilidade, para ratos do terceiro ensaio em dietas diferenciadas no tipo e no conteúdo da fonte fibrosa 97

APÊNDICE E

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Procedimento para obtenção das frações fibrosas I e II 53

FIGURA 2. Procedimento para obtenção das frações fibrosas III, IV e V 54

FIGURA 3. Procedimento para obtenção das frações fibrosas VI e VII 55