

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE AGRONOMIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

MAIZA VIEIRA LEÃO DE CASTRO

**RENDIMENTO INDUSTRIAL E VALOR NUTRICIONAL DE
GRÃOS DE MILHO QPM E DE GRÃOS E GÉRMEN DE
MILHO COMUM**

Goiânia
2008

MAIZA VIEIRA LEÃO DE CASTRO

**RENDIMENTO INDUSTRIAL E VALOR NUTRICIONAL DE
GRÃOS DE MILHO QPM E DE GRÃOS E GÉRMEN DE
MILHO COMUM**

Dissertação apresentada à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Goiás, como exigência para a obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientadora: Prof^a Dr^a Maria Margareth V. Naves

Co-orientador: Prof. Dr. Jaison Pereira de Oliveira

Goiânia

2008

Aos meus amados pais, Eurípedes Barsanulfo Leão e Ana Vieira Leão, pelo incentivo e exemplo de vida, aos meus familiares pela motivação e carinho.

Dedico, com enorme gratidão, àquele que confiou no meu potencial e que me ajudou a viabilizar a realização do meu mestrado, sem o qual este ensaio não existiria. Ao meu esposo Cristiano Silveira de Castro, o meu eterno reconhecimento.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é fruto daquilo que de mais importante eu aprendi: ser otimista e ter vontade de vencer.

Para a elaboração desse trabalho, foram essenciais a participação e o empenho da Professora e Orientadora Dr^a Maria Margareth Veloso Naves. Desde o primeiro contato, as aulas de Metodologia da Investigação Científica e o direcionamento à pesquisa bibliográfica, foram de fundamental importância para expandir os meus horizontes no assunto. Não só pelo encaminhamento, mas também pelo estímulo da orientação. A relação orientadora/aluna foi decisiva no rumo de toda a análise proposta, seja pela dedicação ou mesmo pela compreensão. Nesse ponto, retribuo a confiança que me foi dada com uma profunda gratidão.

Ao Professor e pesquisador da EMBRAPA, Dr. Jaison Pereira de Oliveira, pessoa que contribuiu de forma decisiva na tomada de decisão em relação à escolha do material do estudo e das análises estatística a serem utilizadas.

Não posso deixar de registrar meus agradecimentos à professora Dr^a Maria Sebastiana Silva, que muito me ajudou com suas aulas de análises físico-químicas.

A todos professores do programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos pelos ensinamentos, convívio e amizade.

À colega de mestrado Aline Luiz de Mendonça (minha personal statistic), pela amizade, carinho e incansável ajuda nas análises químicas e paciência em me auxiliar nas análises estatísticas.

À graduanda em Nutrição Luciana de Oliveira Froes, pelas horas incontáveis nos laboratórios e colaboração na fase mais especial que foi a do experimento da avaliação biológica.

Ao graduando em Nutrição Jean Carlos Rodrigues Lima, amigo inesquecível, pela ajuda no ensaio biológico.

A todas as minhas amigas do mestrado, Ana Carolina, Diracy, Fabíola, Grazielle, Lydíia, Márcia e ao Diego, que contribuíram com sua amizade e auxílio nos estudos.

Aos empresários Luciano Araújo Carneiro e Leandro Araújo Carneiro, diretores da Indústria Milhão Alimentos, que contribuíram de forma fundamental para viabilizar o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos colaboradores da Indústria Milhão Alimentos, Glauber, Paulo Henrique, Jorge, Robertão e Sr. João, pela ajuda e paciência no processamento industrial.

Ao Engenheiro Agrônomo Weber Neves Moreira Júnior, da empresa Sementes ALFA, pela doação de material utilizado na pesquisa.

À Fundação de Apoio à Pesquisa (FUNAPE) - Universidade Federal de Goiás-GO, e ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq), pelo apoio financeiro.

Por fim, se não fosse à minha família, pais, irmãos, cunhados e sobrinhos, bem como meu esposo, eu não teria ânimo suficiente para concluir mais essa etapa da vida. Ao meu pai e à minha mãe, fico grata pelo amor e por sempre me indicarem o caminho certo. Sem dúvida, as pessoas que mais influenciaram no meu caráter e comportamento. Quanto ao meu esposo, um verdadeiro companheiro, a compreensão da importância do meu trabalho foi fundamental, entendendo a minha ausência em vários momentos.

É com extrema satisfação que finalizo o meu reconhecimento a todos os que participaram dessa jornada acadêmica, que espero não ser a última. A dissertação “Rendimento industrial e valor nutricional de grãos de milho QPM e de grãos e gérmen de milho comum” é mais do que uma conquista: é um passo adiante que dou em direção ao destino que me é reservado.

“Deus nos concede, a cada dia, uma página nova no livro do tempo. Aquilo que colocarmos nela corre por nossa conta” (Chico Xavier).

Obrigada, Senhor pela oportunidade!

RESUMO

A dureza do endosperma do milho é atributo essencial para produtores e indústrias que utilizam este cereal como matéria-prima. Porém, os milhos de alta qualidade protéica (QPM) apresentam alterações na textura do grão, dificultando seu uso comercial. Este trabalho investigou o rendimento industrial, na degerminação do grão e no fracionamento do endosperma, e o valor nutricional, de uma variedade de milho QPM em relação a genótipos de milho comum comercializados em Goiás. Foi estudada uma variedade de milho QPM e três híbridos comerciais de milho comum, cultivados em Goiás. O milho QPM e os híbridos de milho comum foram processados utilizando método de degerminação a seco, e o rendimento resultante foi dado pela relação entre o peso das frações obtidas e o peso inicial do milho inteiro. Foi determinada a composição química e o perfil de aminoácidos do milho QPM, milho comum e do gérmen de milho comum, e realizado um experimento com ratos Wistar, recém-desmamados. Foram elaborados quatro dietas com 7 % de proteína e uma aprotéica. Estimou-se a utilização protéica mediante os índices: NPR (Net Protein Ratio), FCA (Fator de Conversão Alimentar), Digestibilidade Verdadeira, e PDCAAS (Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Score). Em comparação ao milho comum, o milho QPM apresentou menor rendimento de endosperma, maior rendimento de gérmen e de frações finas ($< 0,5$ mm), e mesmo rendimento de canjica no fracionamento do endosperma. O milho QPM apresentou teores similares de proteínas, lipídios e cinzas, e maiores teores de fibra alimentar, de lisina, e de zinco e ferro (gérmen) em relação aos híbridos de milho comum. Os valores de NPR para as dietas com milho QPM e gérmen de milho comum foram semelhantes entre si, inferiores ao padrão, e superiores ao milho comum. A dieta QPM apresentou FCA maior que a dieta de caseína, porém foi menor que o milho comum, e igual ao gérmen de milho comum. O milho QPM e o gérmen de milho comum apresentaram valor protéico (em relação à caseína) de 72 %, enquanto que o milho comum apresentou valor de 60 %. O milho QPM e a fração gérmen de milho comum são fontes de proteína de melhor qualidade quando comparados ao milho comum e apresentam rendimento satisfatório para serem usados na indústria de alimentos como matérias-primas que agregam valor nutricional aos produtos gerados.

PALAVRAS-CHAVE: milho, QPM, rendimento, composição química, minerais, proteína, valor nutricional.

ABSTRACT

INDUSTRIAL YIELD AND NUTRITIONAL VALUE OF A QPM CORN GRAIN AND THE GRAIN AND GERM OF COMMON MAIZE

Endosperm hardness is an essential attribute for producers and industries that using corn as a raw material. Kernel texture alterations, however, hamper the commercial use of Quality Protein Maize (QPM). In this experiment, industrial yield was compared in kernel degerming and endosperm splitting and the nutritional value of a QPM variety and common corn genotypes. One QPM variety and three commercial corn hybrids cultivated in Goiás were studied. The QPM and the common corn hybrids were processed using the dry degerming method and the resulting yield was expressed as the ratio of the weight of the fractions obtained to the initial weight of the whole corn. The chemical composition and the amino acid profile of QPM, common corn and common corn germ were determined and an experiment with recently weaned Wistar rats was carried out. Four 7 %-protein and one nonprotein diet were prepared. Protein utilization was estimated using the DCF (Dietary Conversion Factor), NPR (Net Protein Ratio), True Digestibility, and the PDCAAS (Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Score). In comparison with common corn, QPM presented lower endosperm yield, higher germ and fine fractions (< 0.5 mm) yield, and the same yield for hominy in endosperm splitting. QPM presented similar levels of proteins, lipids and ash, and higher levels of lysine, dietary fiber and iron in the germ in relation to common corn hybrids. NPR values for QPM diets and corn germ diets were similar, lower than the reference and above the NPR values of common corn. The DCF of the QPM diet was higher than that of the casein diet, but it was the same as that of common corn germ and lower than the value obtained for common corn. QPM and common corn germ presented a protein value (NPR) that was 72 % of the value for casein, while that of common corn was 60 % of the casein value. QPM and the germ fraction of common corn are good quality protein sources when compared to common corn protein, and they present a satisfactory yield for use in the food industry as raw materials which add nutritional value to the products generated.

KEYWORDS: maize, QPM, yield, chemical composition, minerals, protein, nutrition value.

LISTA DE ABREVIATURAS

CAS	Caseína padrão
EAE	Escore de aminoácidos essenciais
FCA	Fator de Conversão Alimentar
GMC	Gérmen de milho comum
MIC	Milho comum
NPR	<i>Net Protein Ratio</i>
PDCAAS	<i>Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Score</i>
QPM	<i>Quality Protein Maize</i>
RNPR	<i>Relative Net Protein Ratio</i>

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Composição nutricional do grão e das frações do milho	17
Tabela 2.	Parâmetros instrumentais utilizados para análise de minerais por espectrofotometria de absorção atômica.....	30
Tabela 3.	Composição das dietas usadas no experimento (g.100 g ⁻¹)	32
Tabela 4.	Características físicas do milho QPM e dos híbridos de milho comuns estudados.....	36
Tabela 5.	Rendimento de gérmen e do endosperma dos grãos dos milhos estudados.....	37
Tabela 6.	Rendimento de canjica, <i>grits</i> e sêmolas e fubás obtidos no fracionamento do endosperma dos milhos estudados.....	39
Tabela 7.	Composição centesimal aproximada (g. 100 g ⁻¹) do milho QPM e dos milhos comuns	40
Tabela 8.	Teor de minerais do milho QPM e dos milhos comuns.....	42
Tabela 9.	Composição em aminoácidos do milho QPM, do milho comum e do gérmen de milho comum, e respectivos valores de EAE em relação ao padrão de referência (mg. g ⁻¹ de proteína)	44
Tabela 10.	Peso corpóreo, consumos de dieta e de proteína, peso absoluto e relativo dos fígados de ratos Wistar mantidos durante 14 dias de experimento.....	46
Tabela 11.	Fator de conversão alimentar (FCA), NPR (Net Protein Ratio) e RNPR (Relative Net Protein Ratio) em ratos Wistar mantidos durante 14 dias de experimento	48
Tabela 12.	Digestibilidade verdadeira da proteína e valor de PDCAAS (Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Score) de dietas oferecidas a ratos durante sete dias de experimento	49

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	16
2.1	ESTRUTURA E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO GRÃO DE MILHO	16
2.2	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO GRÃO DE MILHO	18
2.3	INDUSTRIALIZAÇÃO DO MILHO E APLICAÇÕES TECNOLÓGICAS	19
2.4	CARACTERÍSTICAS NUTRICIONAIS DA PROTEÍNA DO MILHO	21
2.5	MILHOS DE MELHOR QUALIDADE PROTÉICA.....	22
3	OBJETIVOS	25
3.1	OBJETIVO GERAL	25
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	25
4	MATERIAL E MÉTODOS	26
4.1	SELEÇÃO DOS GENÓTIPOS DE MILHO COMUM E OBTENÇÃO DAS AMOSTRAS	26
4.2	PROCESSAMENTO DO MILHO E ANÁLISE DE RENDIMENTO.....	27
4.3	ANÁLISES QUÍMICAS	29
4.3.1	Determinações químicas nos milhos e nos produtos obtidos na degerminação e fracionamento do endosperma, nas dietas e nas fezes dos animais.....	29
4.3.2	Análise do perfil de aminoácidos das fontes protéicas utilizadas no ensaio biológico.....	29
4.3.3	Análise de minerais.....	30
4.4	AVALIAÇÃO DA QUALIDADE PROTÉICA DO MILHO QPM, DO MILHO COMUM E DA FRAÇÃO GÉRMEN DO MILHO COMUM.....	31
4.4.1	Preparo das amostras	31
4.4.2	Animais e dietas	31
4.4.3	Avaliação da qualidade protéica	32
4.5	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	33
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
5.1	RENDIMENTO INDUSTRIAL.....	35
5.1.1	Características físicas	35
5.1.2	Rendimento na degerminação do grão e no fracionamento do endosperma	36
5.1.3	Composição química dos milhos e das frações geradas no processamento.....	39
5.2	QUALIDADE PROTÉICA DO MILHO QPM, DO MILHO COMUM E DA FRAÇÃO GÉRMEN DO MILHO COMUM.....	43
5.2.1	Características químicas das fontes protéicas usadas nas dietas do ensaio biológico.....	43
5.2.2	Perfil e escore de aminoácidos essenciais	44
5.2.3	Valor protéico dos milhos QPM e comum e da fração germen de milho comum ..	45
6	CONCLUSÕES.....	51
	REFERÊNCIAS.....	52

1 INTRODUÇÃO

O milho é um dos três cereais mais cultivados no mundo e contribui, em muitos países da África, América Latina e parte da Ásia, com aproximadamente 20 % da energia e 15 % da proteína, e em alguns casos, esse cereal constitui a única fonte diária de proteína da dieta destas populações (FRIEDMAN, 1996; NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1988). Além de sua importância na alimentação humana, ocupa posição relevante na economia global, sendo o Brasil classificado como o terceiro maior produtor, com produção total estimada em 58 milhões de toneladas para a safra 2007/08, superior 15 % à da safra 2006/07. Apesar do cereal constituir o segundo grão mais produzido no país, grande parte desta produção (80 % a 85 %) é destinada à alimentação animal (CONAB, 2008; PAES, 2006).

O grão de milho possui um considerável teor de proteína, em média 9 %, e o endosperma contribui com a maior proporção das proteínas do grão (75 %) (FAO, 1993; SGARBIERI, 1996; SHEWRY; HALFORD, 2002). A qualidade da proteína do milho depende da quantidade e do balanço de aminoácidos essenciais, sendo que as proteínas do embrião possuem um melhor balanço aminocídico e são consideradas mais nutritivas do que aquelas do endosperma. No gérmen predominam as glutelinas, e no endosperma, as prolaminas, denominadas de zeínas (DIAZ, 2003; FAO, 1993).

Em razão do endosperma compor a maior proporção do grão, o milho comum apresenta qualidade protéica inferior à do arroz e do trigo, pois as proteínas do endosperma são limitadas em lisina e triptofano (LOZANO-ALEJO et al., 2007; NAVES et al., 2004). Esta deficiência levou à realização, desde a década de 1960, de numerosos estudos objetivando o desenvolvimento de genótipos de milho contendo maiores teores destes aminoácidos. Entretanto, a utilização comercial e industrial desses genótipos tem sido limitada por características agronômicas indesejáveis, destacando-se a menor densidade de grãos, a maior susceptibilidade ao ataque de pragas e doenças, e a baixa produtividade (PIXLEY; BJARNASON, 2002; VASAL, 2001).

Foram empreendidos esforços, mediante melhoramento genético, na tentativa de solucionar esses problemas. Assim, por retrocruzamentos e seleção recorrente, desenvolveram-se genótipos com alta qualidade protéica e textura considerada favorável, denominados *Quality Protein Maize* (QPM). Embora algumas variedades de milho QPM já estejam sendo usadas comercialmente, há ainda muitas características nesses genótipos que

precisam ser melhoradas, como, por exemplo, a instabilidade fenotípica do grão (DIAZ, 2003; VASAL, 2001).

Geralmente, as manipulações genéticas objetivando alterações na síntese das proteínas de reserva do grão de milho modificam a estrutura física do endosperma (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1988). A dureza do endosperma do milho é fundamental para produtores e indústrias que utilizam este cereal como matéria-prima, pois é uma característica que está relacionada à densidade, à suscetibilidade ao ataque de pragas e doenças, e à quebra do grão durante os processos de industrialização e armazenamento (DUARTE et al., 2005; OLIVEIRA et al., 2007). Dessa forma, a obtenção de milho de alto valor nutricional e com endosperma mais resistente constitui um dos focos de pesquisa na área, visando obter milhos QPM mais atrativos para as indústrias de alimentos.

A dureza do grão interfere diretamente no rendimento e no valor agregado de produtos derivados do milho. Para as indústrias nacionais, que processam milho por meio da moagem a seco, os produtos de maior valor agregado são aqueles gerados após o processo de retirada do gérmen, antes da moagem, como a canjica e o canjicão. No procedimento de separação por granulometria, após a moagem, os produtos mais finos, como o fubá, contêm menor valor comercial, sendo utilizados muitas vezes em aplicações não-alimentícias.

As indústrias moageiras absorvem 8 % da demanda nacional do milho produzido e se dividem em dois grandes grupos: o de moagem úmida, que produzem produtos de milho com alto valor agregado, como por exemplo, o amido, a glucose, a dextrose, dentre outros produtos, e o grupo de moagem a seco, que geram produtos de baixa rentabilidade, destinado ao consumo humano direto e como ingredientes para processamento em outras indústrias, como os *grits*, a canjica, o fubá e o gérmen. Deste dois grupos, o de moagem a seco é o que consome maior percentual de milho e que também gera maior número de produtos (EMBRAPA, 2007; PAES, 2006).

A composição química e o rendimento do endosperma do milho QPM constituem informações importantes para as indústrias de moagem, que poderão gerar, com milho QPM, produtos com maior valor agregado e de melhor qualidade nutricional.

O declínio do interesse comercial no plantio do milho QPM, restringindo seu cultivo em pequenas áreas de agricultura familiar, justifica a realização de pesquisas sobre o valor nutricional de outras frações derivadas do milho durante o processamento, especialmente do gérmen de milho comum que, em geral, é considerado um produto menos valorizado pelas indústrias moageiras (BOYER; HANNAH, 2001). Por possuir em sua composição teores elevados de lipídios, proteínas e fibras, esta fração é largamente usada como ingrediente na

elaboração de ração animal (BRITO et al., 2005a). Assim, o uso deste derivado para fins de alimentação humana é uma alternativa para agregar valor a esta matéria-prima, como ingrediente-fonte de proteína, fibra alimentar e minerais (GIAMI; ACHINEWHU; IBAAKEE, 2005).

Sendo assim, este trabalho teve por finalidade investigar o rendimento industrial, na degerminação do grão e no fracionamento do endosperma, e o valor nutricional de uma variedade de milho QPM desenvolvida pela Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Goiás (EA/UFG), comparando-a com genótipos de milho comum e com a fração gérmen com pericarpo de milho comum.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 ESTRUTURA E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO GRÃO DE MILHO

O milho possui os dois sexos na mesma planta, separados em inflorescências diferentes. As flores masculinas localizam-se na panícula terminal conhecida como “flecha” ou “pendão”, e as femininas, em espigas axilares. O grão de milho formado é composto por quatro estruturas físicas principais: pericarpo (casca), endosperma, gérmen (embrião) e ponta, as quais diferem em composição química e também na organização no grão. Esse fruto com semente única, em que o pericarpo não se abre na secagem para a liberação da semente, é característico de cereais e é denominado de cariopse (WATSON; RAMSTED, 1999).

O pericarpo é a camada fina, quase invisível e fortemente aderida à camada de aleurona, que confere propriedades semi-impermeáveis aos grãos e compreende as camadas celulares externas que envolvem o endosperma e o embrião. O pericarpo constitui uma fração que representa de 5 % a 6 % do peso seco do grão. A porção mais externa do endosperma, em contato com o pericarpo, denomina-se camada de aleurona, que circunda todo o endosperma amiláceo, exceto a área adjacente ao embrião, e contém um grande número de corpos protéicos pequenos, oleossomos e antocianinas (LOPES; LARKINS, 1993).

O endosperma representa cerca de 83 % do peso do grão. Por apresentarem a maior parte do grão maduro, os componentes do endosperma são essenciais na definição das qualidades físicas e químicas do grão (BOYER; HANNAH, 2001). É constituído de substância de reserva, basicamente o amido, na forma de grânulos, que representa aproximadamente 86 % do seu peso e é composto de dois polímeros (amilose e amilopectina), e contém aproximadamente 10 % de proteína (Tabela 1). As proteínas do endosperma são de reserva e não possuem atividades enzimáticas, sendo fontes de aminoácidos e energia para o embrião e para a plântula. Além das substâncias de reserva, acumula lipídeos e compostos orgânicos e inorgânicos em pequenas quantidades (GIBBON; LARKINS, 2005; LOPES; LARKINS, 1993).

No endosperma, estão presentes também os carotenóides, substâncias lipídicas que conferem a cor aos grãos de milho. Zeaxantina, luteína, β -criptoxantina, α -caroteno e β -caroteno são os principais carotenóides presentes nos grãos de milho. O conteúdo de β -caroteno é geneticamente variável de acordo com os cruzamentos realizados no desenvolvimento das variedades e é gradualmente destruído pela oxidação, junto com outros carotenóides durante armazenamento prolongado (OLIVEIRA; RODRIGUEZ-AMAYA,

2007; WATSON; RAMSTED, 1999). Segundo Oliveira e Rodriguez-Amaya (2007), o milho é uma das únicas fontes que concentra, em quantidades significativas, os carotenóides luteína e zeaxantina, que estão relacionados à proteção contra a catarata e a degeneração macular associada à idade.

Tabela 1. Composição nutricional do grão e das frações do milho (matéria seca)

Grãos e frações do milho	Composição (%)				
	amido	proteína	lipídios	açúcares	cinzas
Grão inteiro	71,5	10,3	4,8	2,0	1,4
Endosperma	86,4	9,4	0,8	0,6	0,3
Embrião	8,2	18,8	34,5	10,8	10,1
Pericarpo	7,3	3,7	1,0	0,3	0,8
Ponta	5,3	9,1	3,8	1,6	1,6

Fonte: Tosello (1987).

O gérmen é composto pelo embrião e pelo escutelo, é parcialmente envolvido pelo endosperma e ocupa aproximadamente 11 % do grão. O gérmen armazena nutrientes e hormônios que são sintetizados na fase inicial da germinação. As proteínas contidas no gérmen contribuem para o valor nutricional do grão inteiro e são constituídas de albuminas (maior fração no gérmen), globulinas e gluteínas. No embrião, os lipídeos se constituem em considerável fonte de energia e vitamina E. Embora o milho não seja considerado uma semente oleaginosa, seu conteúdo de lipídios no grão é próximo de 5 % do peso seco. A larga escala de produção do milho possibilita um considerável volume de lipídeos. O óleo do milho, quase que exclusivamente, está nas células do escutelo, que é uma porção do embrião. A composição do óleo presente no gérmen contém cerca de 83 % do total de lipídios do grão e é considerado como óleo de alta qualidade, que é determinada pela quantidade de ácidos graxos linoléico e linolênico, além de outros como oléico, palmítico e esteárico. A ponta representa 1 % do grão e é a parte de ligação entre o grão e a espiga (BOYER; HANNAH, 2001; WATSON; RAMSTED, 1999).

O milho, como outros cereais, contém baixos teores de cálcio, fósforo, potássio e magnésio, e contém quantidades consideráveis de enxofre, ferro, zinco e cobre. O gérmen de milho, por sua vez, é rico em minerais, contendo 78 % do total de minerais presente em todo o

grão, pois são essenciais para o desenvolvimento da plântula. Em relação às vitaminas, o milho contém vitamina E, Tiamina (B1), Riboflavina, ácido pantotênico, niacina, e em pequenas concentrações, biotina e ácido fólico (WATSON; RAMSTED, 1999).

2.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO GRÃO DE MILHO

A grande demanda por grãos de milho de melhor qualidade favorece o surgimento de inúmeras variedades com características específicas da planta, tais como porte, ciclo e aptidão, as quais têm influência marcante no valor nutritivo dos grãos. A escolha dos híbridos de milho para a produção de grãos tem por objetivo a obtenção de um produto economicamente viável e de alta qualidade, ou seja, variedades mais produtivas e adaptadas às condições locais, e tolerantes às doenças e pragas (DADO, 1999; WATSON; RAMSTED, 1999). No que se refere às características dos grãos, o endosperma formado é constituído, basicamente, de proteínas e grânulos de amidos. As proteínas formam corpos protéicos que compõem uma matriz que envolve os grânulos de amido dentro das células no endosperma. Com base na distribuição dos grânulos de amido e da matriz de proteína, o endosperma é classificado em dois tipos: farináceo e vítreo. No primeiro, os grânulos de amido são arredondados e estão dispersos, não havendo matriz protéica circundando essas estruturas, o que resulta em espaços vagos, que antes eram ocupados pela água durante o processo de secagem do grão. Por outro lado, no endosperma vítreo, a matriz protéica é densa, com corpos protéicos estruturados, que circundam os grânulos de amido de formato poligonal, não permitindo espaços entre estas estruturas. A denominação vítreo ou farináceo refere-se ao aspecto do endosperma no grão quando exposto à luz. O grão farináceo é constituído por endosperma poroso, mole e de baixa densidade, contendo espaços vagos que permitem a passagem da luz e conferem opacidade ao material. De forma oposta, a ausência de espaços entre os grânulos de amido e a matriz protéica promove a reflexão da luz, resultando em aspecto vítreo (cristalino) ao endosperma (GIBBON; LARKINS, 2005; OLIVEIRA et al., 2007; PAES, 2006; VASAL, 1999). Indiretamente, esses fenótipos estão associados a outras características agrônômicas que são muito importantes, como, por exemplo, a dureza, que se refere à resistência da semente a deformações externas e a quebras mecânicas durante a colheita e o armazenamento (MESTRES et al., 1991; WATSON, 1999).

Os mutantes do milho com alto teor de lisina afetam adversamente várias características agrônômicas importantes, incluindo as características ligadas à textura do grão.

Estes mutantes de milho apresentam baixo teor de zeínas, endosperma macio e farináceo, conteúdo reduzido de matéria seca, gerando menor produção, menor peso e densidade dos grãos em relação ao grão de milho comum. Outras características observadas nesses mutantes são maior susceptibilidade ao ataque de pragas e doenças, contaminação por aflatoxinas, pericarpo mais fino e baixa intensidade na coloração amarela (AZEVEDO et al., 2003; PIXLEY; BJARNASON, 2002; VASAL, 1999).

Esses problemas foram parcialmente solucionados com o melhoramento genético, tendo sido desenvolvidos, por meio de retrocruzamentos e seleção recorrente, genótipos com alta qualidade protéica e textura considerada favorável, denominados *Quality Protein Maize* ou QPM. O milho comum contém cerca de sete vezes mais zeínas que o QPM. Ao contrário, as frações não-zeínas, nos genótipos Opaco-2, *floury-2* e QPM, são maiores que no milho comum, o que confere melhor qualidade protéica a esses genótipos. Embora já existam variedades de milho QPM sendo comercializadas, a utilização comercial destas variedades é ainda prejudicada face às instabilidades fenotípicas do grão (DIAZ, 2003; VASAL, 2001).

2.3 INDUSTRIALIZAÇÃO DO MILHO E APLICAÇÕES TECNOLÓGICAS

O milho não possui apenas aplicação alimentícia, ao contrário, o uso dos seus derivados estendem-se às indústrias química, farmacêutica, de papéis, têxtil, etanol, entre outras aplicações ainda mais nobres, como por exemplo: indústria de cosméticos e embalagens biodegradáveis. Entretanto, são dois processos que dão origem aos produtos utilizados nos diferentes ramos industriais, a moagem úmida e a moagem seca. O processamento do grão de milho por moagem úmida consiste na umidificação total dos grãos, onde o endosperma é obtido a partir do processo de degerminação e separado do gérmen e do pericarpo por maceração. Na moagem seca, o endosperma é separado do gérmen e do pericarpo por atrito mecânico em equipamentos construídos especificamente para esta finalidade. No Brasil, o processo mais usado na industrialização do milho é o do tipo “moagem seca”, enquanto nos países mais desenvolvidos, o processamento predominante é o de “moagem úmida”. Uma grande variedade de alimentos e produtos industriais são produzidos pela secagem e moagem do grão de milho, e o amido, presente em maior quantidade no grão, é o produto mais importante do seu fracionamento (GONÇALVES et al., 2003; WATSON; RAMSTED, 1999).

O milho possui várias finalidades, podendo ser destinado ao consumo humano, bem como ser usado como matéria-prima para indústrias diversas e sua principal utilização é para ração animal, chegando em torno de 80 % a 90 % da produção total do milho nos países desenvolvidos. O uso depende da região e das influências da população onde é consumido (GONÇALVES et al., 2003; WATSON; RAMSTED, 1999).

A transformação do milho em diversos derivados possibilita o uso desse cereal como excelente fonte de matéria-prima para as indústrias de alimentos. Do milho, quando processado a seco, obtêm-se o gérmen, os *grits* com diversas granulometrias, o fubá mimoso e o italiano, a sêmola, a canjica, o canjicão, o óleo extraído do gérmen, e as fibras. O grão degerminado e moído é denominado *grits* de milho, apresentando em sua composição em torno de 90 % de amido. Esta fração é importante fonte de matéria-prima na indústria de alimentos e bebidas, destacando os alimentos extrusados conhecidos como “*snacks*” (GONÇALVES et al., 2003; SERNA-SALDÍVAR; GOMEZ; ROONEY, 2001).

A avaliação do rendimento da moagem de milho após a degerminação é parâmetro importante para a indústria de alimentos e para os melhoristas (GONÇALVES et al., 2003). O rendimento da moagem é definido de acordo com o tamanho das partículas e, em geral, se utiliza uma variável denominada diâmetro geométrico médio (DGM), a qual se correlaciona de forma positiva com o tamanho das partículas (POZZA et al., 2005). O processamento dos grãos se inicia com umidificação prévia e com a retirada das camadas externas (pericarpo) e do gérmen, e este procedimento modifica as características físico-químicas das frações, melhorando assim os processos subsequentes como mistura, manuseio, transporte, além de incrementar a vida útil do produto, em razão do baixo conteúdo de lipídios nas frações derivadas do endosperma (SERNA-SALDÍVAR; GOMEZ; ROONEY, 2001).

O pré-condicionamento do grão em torno de 17 % de umidade facilita a retirada do gérmen e da película, separando-os do endosperma, além de aumentar o rendimento das diversas frações de *grits*. Esta separação é importante para a qualidade do produto final obtido pelo fracionamento do endosperma. A umidificação prévia do grão favorece o processamento do grão de milho, pois milhos com altos teores de lisina produzem baixo rendimento de frações *grits* quando moídos a seco, pela característica farinácea do endosperma (MESTRES et al., 1991).

Os grãos de milho apresentam grande variabilidade em sua textura, formato e tamanho, sendo comercializados os mais variados tipos de grãos, desde os mais duros até os mais moles (farináceo). A qualidade física dos grãos é importante para o processamento de moagem a seco. Como exemplo, a integridade do grão em relação à presença de trincas,

fissuras, grãos quebrados, impurezas, ardidos e brotados, constituem defeitos altamente prejudiciais à qualidade e ao rendimento do produto final das indústrias (ASCHERI; GERMANI, 2004; OLIVEIRA et al., 2007). Além disso, a qualidade física e química dos grãos é determinada pelo seu destino ou uso final. Existem, atualmente, no mercado, diversos genótipos de milho com finalidades específicas, como por exemplo: milhos com alto teor de óleo e alto teor de proteína, destinados à alimentação animal; alto teor de amilose (milho waxy), com propriedades importantes para a indústria alimentícia e de papel; alto teor de amilopectina (milho ceroso), para a indústria alimentícia e também de produção de adesivos; alto teor de ácido graxo oléico, para a produção de margarinas e também óleos para fritura especiais; alto teor de aminoácidos (lisina e triptofano), com melhor qualidade protéica e milhos com amido de fácil extração, destinados à produção de álcool (DADO, 1999; PAES, 2006).

Um dos grandes problemas que atinge a indústria moageira é a grande variação de qualidade da matéria-prima. Os padrões de identidade e qualidade para comercialização interna dos grãos determinados pela legislação, que classifica os grãos em grupos, classes e tipos (1, 2 ou 3), segundo sua consistência, coloração e qualidade (BRASIL, 1976), não atende os critérios de qualidade específicos para as indústrias moageiras. Neste caso, são adotados outros métodos de avaliação para aquisição da matéria-prima, na tentativa de minimizar estes problemas.

A padronização da matéria-prima é um requisito importante para as indústrias moageiras, pois interfere diretamente na qualidade dos produtos gerados. Por isto, são observados os seguintes critérios de qualidade para aquisição da matéria-prima: grãos uniformes, com formato ovalado, duro, amarelo-alaranjado, sem trincas (fissuras internas), que apresentem bom rendimento de canjica, boa separação do gérmen e pericarpo do endosperma, maior rendimento de canjiquinha, refletindo em *grits* de diversas granulometrias e menor quantidade de fubá. A qualidade sanitária também é considerada, sendo a contaminação por aflatoxina de no máximo 20 ppb (ASCHERI; GERMANI, 2004).

2.4 CARACTERÍSTICAS NUTRICIONAIS DA PROTEÍNA DO MILHO

A qualidade da proteína do milho é determinada pela composição dos aminoácidos das proteínas do endosperma, embora as proteínas do embrião possuam um melhor balanço aminocídico e são consideradas mais nutritivas do que aquelas do endosperma. No gérmen

predominam as glutelinas, e no endosperma, as prolaminas, denominadas de zeínas (GIBBON; LARKINS, 2005). A qualidade da proteína do milho é semelhante à da maioria dos cereais, em geral deficientes em alguns aminoácidos essenciais (DIAZ, 2003; FAO, 1993).

As proteínas do milho podem ser separadas sequencialmente em quatro frações, de acordo com a sua solubilidade em diferentes solventes: albuminas, globulinas, prolaminas e glutelinas. As albuminas são solúveis em água, as globulinas, em soluções salinas, e as glutelinas são solúveis em soluções alcalinas (WATSON; RAMSTED, 1999). As prolaminas são solúveis em álcool e correspondem a aproximadamente 50 % do nitrogênio dos grãos. As albuminas, globulinas e o nitrogênio não-protéico representam, aproximadamente, 20 % do nitrogênio total, e as glutelinas, 25 % (BOYER; HANNAH, 2001).

As quatro classes de proteínas podem ser divididas nas frações zeínas (prolaminas) e não-zeínas (albuminas, globulinas e glutelinas) que apresentam, respectivamente, baixo e alto teor de lisina e triptofano. As proteínas das frações não-zeína apresentam funções estruturais, inibidoras de proteases, enzimáticas, proteção da semente contra patógenos e predadores, e biossintética, enquanto que as das frações zeínas apresentam apenas função de reserva (LOPES; LARKINS, 1993). As zeínas estão localizadas no endosperma do grão de milho na forma de corpos protéicos. Correspondem a cerca de 70 % da proteína total do milho e o padrão de sua síntese é o típico para a maioria dos cereais (GIBBON; LARKINS, 2005).

As proteínas do grão de milho, principalmente do endosperma, apresentam deficiência de aminoácidos essenciais, especialmente lisina e triptofano. Estes aminoácidos são essenciais para o metabolismo protéico endógeno de humanos e de animais monogástricos (HUANG et al., 2006; SHEWRY; HALFORD, 2002). Também já se detectou deficiências de treonina e isoleucina, atribuídas aos elevados teores de leucina, que prejudicam a absorção destes aminoácidos (BABU et al., 2005; NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1988; SHEWRY; HALFORD, 2002).

2.5 MILHOS DE MELHOR QUALIDADE PROTÉICA

Na década de 1960, foram descobertas mutações capazes de modificar a qualidade protéica dos grãos de milho, aumentando o teor de lisina e triptofano, conhecidas como opaco e *floury* (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1988). Esse aumento foi em consequência da redução da fração zeína, que é nutricionalmente pobre, e aumento da fração glutelina, que tem

um melhor balanço de aminoácidos. Um aspecto positivo da utilização do gene *opaco-2* é o aumento do teor de lisina e triptofano e, também, a razão leucina/isoleucina. A lisina é o primeiro aminoácido limitante no milho, e o triptofano, o segundo limitante (VASAL, 1999).

Vários estudos têm sido realizados comparando a qualidade nutricional entre milho comum e milho com alta qualidade protéica. Para a alimentação humana, os milhos de alta qualidade protéica têm mostrado superioridade em relação ao milho comum, propiciando uma dieta adequada em proteína para crianças desnutridas. Estudos em nutrição infantil, comparando o uso de milho com boa qualidade protéica (QPM) e milho comum, como únicas fontes de proteína na dieta de crianças desnutridas, revelaram que a retenção endógena de nitrogênio proveniente de milho QPM é 50 % maior que aquela observada para o milho comum. Isto significa que 1 g de proteína proveniente de um milho QPM equivale a pelo menos 1,5 g de proteína de um milho comum (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1988).

Desde a década de 1980, a Embrapa Milho e Sorgo, de Sete Lagoas-MG, tem mantido um programa para melhorar a qualidade protéica do milho, tendo desenvolvido, por meio desse programa, as seguintes variedades QPM: BR 451 e BR 473. A variedade BR 473 é de ciclo precoce, contendo grãos semiduros de cor amarelo-alaranjada; tem a aparência e o sabor similares ao do milho comum, porém com valores de triptofano e lisina cerca de 50 % maiores (GUIMARÃES et al., 2004). A vantagem protéica dos milhos QPM tem sido testada e confirmada por meio de ensaios biológicos. Em experimento realizado por Paes e Bicudo (1994), os milhos BR 473 e BR 451 apresentaram valor biológico, relativo ao da caseína, de aproximadamente 85 %, enquanto que para o milho comum, este valor foi de 65 %. Outro estudo permitiu observar que as proteínas dos grãos dos milhos BR 473 e BR 451 são similares à da mistura arroz com feijão, mostrando assim a semelhança no valor nutricional da proteína dos milhos QPM em relação à proteína dessa mistura tradicionalmente consumida pela população brasileira (NAVES et al., 2004).

Com enfoque na melhoria da qualidade nutricional, genótipos de milho QPM foram desenvolvidos pela EA/UFG por meio de experimentos conduzidos em seu campo experimental. Esses experimentos foram realizados com o objetivo de avaliar populações de polinização aberta de milho de alta qualidade protéica e seus cruzamentos, nos seguintes aspectos: teor de proteína total no grão; teores de lisina e triptofano na proteína; teores de óleo no grão e ácidos graxos no óleo; teores de ferro e zinco; e qualidades físicas do grão. Foram testados dois grupos: farináceo e duro, para a formação de compostos QPM com teores mais elevados de proteína no grão, maior conteúdo de minerais e qualidade física favorável. Diante dos resultados obtidos, seis genótipos superiores foram intercruzados por três ciclos para

alcançar o equilíbrio Haider-Weinberg (frequência genética), gerando assim a variedade QPM que foi objeto de investigação no presente estudo (OLIVEIRA et al., 2004). Graças à melhor qualidade protéica e ao valor energético, as variedades QPM apresentam potencial considerável para ser utilizada com eficiência na formulação de alimentos de melhor valor nutritivo, podendo contribuir para uma nutrição mais adequada, especialmente da população de baixa renda.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Investigar o rendimento industrial e o valor nutricional de uma variedade de milho QPM desenvolvida pela EA/UFG, comparando-a com genótipos de milho comum comercializados em Goiás e com a fração gérmen de milho comum.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Selecionar os genótipos de milho comum, mediante avaliação física, para análise de rendimento.
- Estimar o rendimento dos grãos de milho QPM e genótipos de milho comum por meio da degerminação e do fracionamento do endosperma.
- Determinar a composição química do milho QPM, dos genótipos de milho comum e da fração gérmen de milho comum.
- Analisar o perfil de aminoácidos do milho QPM, milho comum e da fração gérmen de milho comum utilizados na avaliação biológica.
- Avaliar a qualidade biológica da proteína do milho QPM, do milho comum e da fração gérmen de milho comum.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 SELEÇÃO DOS GENÓTIPOS DE MILHO COMUM E OBTENÇÃO DAS AMOSTRAS

Foram utilizados uma variedade de milho QPM desenvolvida pela EA/UFG e três genótipos de milho comum comercializados em Goiás. Para a seleção dos genótipos de milho comum, foram avaliadas as seguintes características físicas dos grãos: peso hectolitro (densidade aparente), cor e tamanho das sementes. Para as determinações de peso hectolitro, os grãos foram colocados em recipiente de volume conhecido, com o cuidado para não compactar a amostra. Em seguida, as amostras foram pesadas em balança analítica (GEHAKA, BG 8000) e o peso foi dividido pelo volume (ABIMILHO, 2003). Para mensurar o tamanho dos grãos, as amostras foram separadas em peneira com abertura de malha de 8 mm. Foram selecionadas os genótipos que obtiveram peso hectolitro superior a $0,750 \text{ g. mL}^{-1}$ e que apresentaram granulometria com retenção mínima de 70 % na peneira de 8 mm de abertura de malha, de acordo com a Associação Brasileira de Indústrias Moageiras de Milho (ABIMILHO, 2003).

Para a seleção pela cor dos grãos, foram analisados amostras de 31 híbridos comerciais de milho comum. Na determinação da coloração dos grãos, foi utilizada uma escala de cores de quinze pontos proposta pela Roche (1987) e adaptada por Oliveira et al. (2007), que utilizou esta escala em estudo anterior para avaliar a cor de genótipos de milho QPM. Para esta análise, os grãos foram colocados em recipiente com fundo branco, e confrontados com as cores da escala tendo sido anotado o número da cor correspondente na escala. Após cada leitura, para evitar a tendência de leitura para uma única cor, o analista visualizava um papel de cor distinta (azul), evitando assim o cansaço visual. Foram selecionados os híbridos cujos grãos apresentaram colorações mais próximas do valor 15. Para cada amostra avaliada, foram realizadas três repetições.

As amostras de dois genótipos de milho comum selecionados (híbrido 30F80 – Pionner^R e híbrido AG7000 – Agrocere^R), procedentes dos municípios de Paraúna-GO e Itaguarú-GO, respectivamente, foram cedidas pela Empresa Milhão Alimentos Ltda de Inhumas-GO. O terceiro genótipo de milho selecionado (híbrido Alfa 090) foi doado pela empresa Sementes ALFA^R Ltda de Hidrolândia-GO. O milho QPM utilizado foi produzido pela Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Goiás. Todos os genótipos estudados foram produzidos na safra de verão (2006/07), sendo oriundos de cultura de sequeiro e foram colhidos após secagem natural. Este critério foi utilizado para

que os grãos tivessem o menor dano mecânico possível, pois o objetivo era avaliar o rendimento de frações com maior valor agregado, ou seja, com tamanho maior que 4 mm.

O milho comum selecionado para o ensaio biológico foi o que apresentou melhor rendimento industrial, em relação aos seguintes critérios: maior rendimento do endosperma, menor porcentagem de gérmen, maior rendimento de canjicas e *grits*.

4.2 PROCESSAMENTO DO MILHO E ANÁLISE DE RENDIMENTO

O processamento das amostras de milho foi realizado na indústria Milhão Alimentos, localizada na cidade de Inhumas-GO. Para cada amostra estudada, foram processados, por via seca, três lotes de grãos de aproximadamente 500 kg cada um. Na Figura 1 está apresentado o fluxograma do processamento dos grãos de milho.

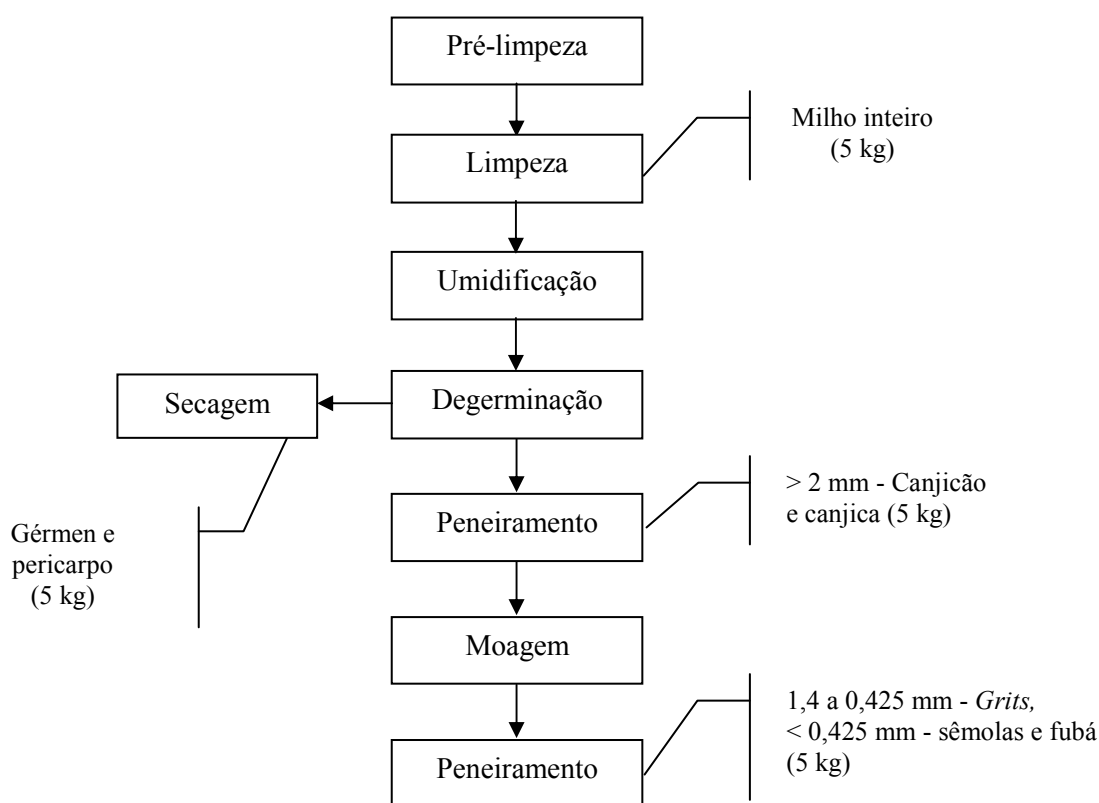


Figura 1. Fluxograma simplificado do processamento empregado para análise de rendimento de grãos de milho e coleta de amostras.

Inicialmente, os grãos passaram por mesa gravimétrica para separação de impurezas e por canal de aspiração para retirada de impurezas mais finas. A seguir, as amostras foram umidificadas para obtenção de umidade de 16 % em sistema de condicionamento contínuo

(Umidificadora Zaccaria SCCZ-2). Esta umidificação facilita a separação do endosperma, gérmen e pericarpo. No processo de degerminação, os grãos umidificados passaram pela câmara de pressão do multiprocessador industrial para milho (degerminadora Zaccaria MPZ/AE), sofrendo atrito ocasionado por um rotor com geometria desenvolvida para esta finalidade. Este mecanismo promove a retirada do pericarpo e do gérmen, que são expelidos por uma tela e sugados para o exterior por meio de sistema pneumático. Obteve-se, a partir deste procedimento, o endosperma livre de película e gérmen.

Durante o processo de degerminação, a carga de abastecimento da degeminadora foi controlada pela amperagem do motor (60 a 70 amperes), sendo mantido o mesmo padrão para todos os milhos testados. O grão degerminado foi submetido à tamisação em plansifter com quadros de peneiras de 7,5 mm a 4 mm de abertura de malha, onde foram separadas as frações com tamanho superior a 4 mm (canjição e canjica). Em sequência ao processo, as partículas menores que 4 mm foram trituradas em um moinho de martelo (Moinho Incomagri TIM 2) com peneira de 2 mm de abertura de malha. O material moído foi tamisado novamente em plansifter, onde foram separadas e caracterizadas as seguintes frações: entre 1,40 mm e 0,425 mm (*grits*), e partículas abaixo de 0,425 mm (sêmolas e fubá). Após cada etapa do processamento, foram coletados 5 kg de amostras do milho inteiro, fração gérmen de milho e endosperma dos milhos QPM e comum, para análises posteriores e para avaliação biológica, conforme Figura 1.

Os rendimentos do fracionamento do milho (1) e do endosperma (2) foram avaliados por meio do índice de rendimento, conforme procedimento utilizado por Gonçalves et al. (2003), e estimados pelas equações a seguir:

$$\text{Rendimento (1)} : \frac{\text{Peso total da fração}}{\text{Peso total da amostra de milho}} \times 100$$

$$\text{Rendimento (2)} : \frac{\text{Peso total da fração}}{\text{Peso total do endosperma}} \times 100$$

Em que: (1) – Fração gérmen com pericarpo ou endosperma

(2) – Fração canjica, *grits* ou sêmola/fubá.

Os resultados foram expressos em porcentagem, para cada fração obtida em três repetições. Para efeito de comparação do rendimento das amostras testadas, foram coletados dados indicadores de produção da Indústria Milhão Alimentos Ltda (Inhumas-GO), que

processa aproximadamente 40.000 toneladas de milho/ano, no período de seis meses, sendo considerados como uma repetição a média de cada dois meses. Estes dados foram considerados média populacional e foram denominados de “controle”.

4.3 ANÁLISES QUÍMICAS

4.3.1 Determinações químicas nos milhos e nos produtos obtidos na degerminação e fracionamento do endosperma, nas dietas e nas fezes dos animais

Os teores protéicos dos milhos usados na pesquisa e suas frações, das dietas e fezes dos animais, foram obtidos por meio da análise de nitrogênio, segundo o método semimicro de Kjeldahl, sendo utilizado o fator de conversão de 6,25 para conversão do nitrogênio em proteína bruta (AOAC, 1990). A umidade e resíduo mineral fixo (cinzas), analisados conforme técnicas descritas pelo Instituto Adolfo Lutz (2005) e fibra alimentar total, solúvel e insolúvel, realizada no Laboratório de Análise, Pesquisa e Consultoria em Alimentos-LABM (Belo Horizonte-MG), segundo o método gravimétrico-enzimático (AOAC, 1990). Os lipídios totais foram extraídos por meio da técnica de Bligh e Dyer (1959) e, posteriormente, determinados por gravimetria e os carboidratos foram estimados por diferença, subtraindo-se de cem os valores obtidos de umidade, proteína, lipídios, cinzas e fibra alimentar total.

4.3.2 Análise do perfil de aminoácidos das fontes protéicas utilizadas no ensaio biológico

O perfil de aminoácidos foi determinado nas amostras submetidas ao ensaio biológico. A composição de aminoácidos foi determinada no Centro de Química de Proteínas da Faculdade de Medicina da USP de Ribeirão Preto. As amostras foram submetidas à hidrólise ácida com solução aquosa de ácido clorídrico 6N, bidestilado a 104°C, contendo 0,1% de fenol (m/v), para a quantificação dos aminoácidos, exceto triptofano. Após a hidrólise ácida, as amostras foram secas em concentrador rotativo e ressuspendidas em solução tampão de citrato de sódio 0,17 M, pH 2,2, contendo polietilenoglicol 400 a 15% (v/v) e tioglicol 0,4% (v/v) (MOORE; SPACKMAN; STEIN, 1958). Para quantificação do aminoácido triptofano, as amostras foram submetidas à hidrólise alcalina com hidróxido de lítio 4N, segundo técnica descrita por Lucas e Sotelo (1980). Após hidrólise alcalina, as amostras foram neutralizadas com ácido ortofosfórico e filtradas em membrana de 0,45 micrômetros, para eliminar os precipitados. Foram adicionados à amostra, polietilenoglicol e solução tampão de citrato de sódio contendo tioglicol, para completar o volume em balão volumétrico. Em seguida, as

amostras hidrolisadas foram aplicadas em analisador automático de aminoácidos (Nicolas V, Centro de Químicas de Proteínas, USP-Ribeirão Preto) e após eluição nas colunas e reação com ninidrina, foram detectados colorimetricamente e quantificados (ALONZO; HIRS, 1968).

A partir dos resultados destas análises, foi estimado o escore de aminoácidos essenciais (EAE), conforme equação a seguir, que corresponde à proporção do aminoácido mais limitante (primeiro limitante) do alimento-teste em relação ao padrão de aminoácidos essenciais (necessidades de crianças de três a dez anos de idade), de acordo com o padrão preconizado pela Organização Mundial de Saúde, padrão WHO/FAO/UNU (WHO, 2007).

$$\text{EAE} = \frac{\text{mg do aminoácido limitante em 1 g da proteína teste}}{\text{mg do mesmo aminoácido em 1 g da proteína de referência}}$$

4.3.3 Análise de minerais

Os minerais (cálcio, ferro e zinco) foram quantificados nas amostras por extração dos constituintes metálicos das cinzas com ácido clorídrico (HCl) concentrado, e à quente, e por espectrofotometria de absorção atômica, utilizando-se os parâmetros instrumentais específicos para cada nutriente (Tabela 2) (AOAC, 1990). As análises foram realizadas no Laboratório Nacional Agropecuário de Goiás (LANAGRO-GO/MAPA). Todas as análises foram realizadas em três replicatas.

Tabela 2. Parâmetros instrumentais utilizados para análise de minerais por espectrofotometria de absorção atômica

Parâmetro	Mineral		
	cálcio	ferro	zinco
Corrente (mA)	10	5	5
Comprimento de onda (nm)	422,7	248,3	213,9
Fenda (nm)	0,5	0,2	1,0
Faixa de padrões (ppm)	0 a 5	0 a 15	0 a 2

4.4 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE PROTÉICA DO MILHO QPM, DO MILHO COMUM E DA FRAÇÃO GÉRMEN DO MILHO COMUM

4.4.1 Preparo das amostras

As amostras para as dietas foram coletadas durante o processamento dos grãos. Para confecção das dietas, os milhos QPM e comum (híbrido AG7000) e a fração gérmen com pericarpo foram triturados em moinho de martelos (Tecnal/modelo TE-650) com peneira de mesh 10 (abertura de 2 mm). Antes da elaboração das dietas, o gérmen foi desengordurado parcialmente, por meio de imersão da amostra em solvente (éter etílico). Em seguida, o solvente foi recuperado e a amostra foi imersa em solvente puro por 1 hora. Este procedimento foi realizado para a padronização do teor de lipídios das dietas em 7 %. As amostras foram secas em temperatura ambiente, embaladas e conservadas sob refrigeração até o momento das análises e preparo das dietas.

4.4.2 Animais e dietas

Para o ensaio biológico, foram utilizados 30 ratos machos, albinos, da linhagem Wistar, recém-desmamados, provenientes do biotério de criação da empresa BIOAGRI (Planaltina-DF) com pesos variando entre 50,3 g e 81,8 g ($\bar{x} = 64,5 \text{ g} \pm 8,5 \text{ g}$). A diferença das médias de peso dos grupos de animais não ultrapassou 0,5 g. Os animais foram distribuídos nos grupos pelo método de delineamento por blocos casualizados, contendo cinco tratamentos e seis repetições. Nas dietas formuladas para o ensaio biológico, foram usados os seguintes ingredientes: caseína em pó pura, L-cistina, celulose, mistura de minerais e de vitaminas (Rhoster-São Paulo), e óleo de soja e amido de milho, que foram adquiridos no comércio local de Goiânia-GO. Foram elaboradas quatro dietas, segundo a formulação básica preconizada por AIN-93G (*American Institute of Nutrition*) (REEVES; NIELSEN; FAHEY JR., 1993), com exceção para o teor protéico que foi de 7 % de proteína, sendo: caseína padrão (CAS), milho QPM integral (QPM), milho comum integral (MIC) e gérmen de milho comum (GMC), e uma aprotéica (AP). Na Tabela 3 estão descritos os ingredientes utilizados para formulação das dietas e suas respectivas quantidades. As dietas e a água filtrada foram oferecidas *ad libitum*. Os ratos foram mantidos em gaiolas individuais durante 14 dias, sob as seguintes condições ambientais padronizadas: ciclos claro e escuro de 12 horas, umidade relativa do ar variando entre 50 % e 60 %, e temperatura de $23^{\circ} \text{C} \pm 1^{\circ} \text{C}$. O consumo de dieta foi monitorado, e os animais foram pesados três vezes por semana.

Na confecção das dietas, os ingredientes foram pesados em ordem crescente de peso em balança eletrônica (GEHAKA, BG 8000), e em seguida, misturados e peneirados. O óleo foi acrescentado por último, sendo a mistura peneirada por mais cinco vezes para homogeneização adequada. Foram elaboradas quantidades de dietas suficientes para todo o período do experimento, sendo em seguida acondicionadas em sacos plásticos e armazenadas sob refrigeração. Após o preparo, foram analisados os teores de proteínas e lipídios das dietas para confirmação do conteúdo destes nutrientes.

Tabela 3. Composição das dietas usadas no experimento (g.100 g⁻¹)

Nutriente	Componente	Dieta ¹				
		CAS	MIC	GMC	QPM	AP
Proteína	Caseína (80,7 % de proteína)	8,67	-	-	-	-
	Milho comum	-	82,26	-	-	-
	Gérmen de milho comum	-	-	53,52	-	-
	Milho QPM	-	-	-	76,09	-
Aminoácido	L-cistina ²	0,13	-	-	-	-
Lipídio	Óleo vegetal	6,68	1,64	3,29	2,55	7,00
Fibras	Celulose	5,00	-	-	-	5,00
Minerais	Mistura salina	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50
Vitaminas	Mistura vitamínica	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	Bitartarato de colina	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Carboidrato	Amido de milho	74,77	11,35	38,44	16,61	83,25

¹ Dietas formuladas conforme AIN93G contendo 7 % de proteína das seguintes fontes: CAS - caseína (padrão); MIC – milho comum; GMC- gérmen comum desengordurado; QPM- milho QPM e dieta AP- aprotéica.

² Para cada 20 g de caseína é preconizada a suplementação com 0,3 g de L-cistina.

4.4.3 Avaliação da qualidade protéica

A avaliação da qualidade protéica das dietas foi realizada por meio dos índices: NPR - *Net Protein Ratio* (1), que mede a capacidade da proteína em manter o peso e promover o crescimento, através do ganho e da perda de peso; RNPR - *Relative Net Protein Ratio* (2), calculado em relação ao NPR da caseína; PDCAAS *Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Score* (3), que leva em consideração os fatores que determinam a qualidade da proteína, ou seja, o perfil de aminoácidos essenciais (EAE) e a digestibilidade da proteína (Dv), seguindo as recomendações da FAO (1991); e FCA – Fator de Conversão Alimentar, que mede a conversão da dieta em peso corpóreo (4) (MARTINEZ-FLORES et al., 2004; NAVES et al., 2004). Os índices foram calculados utilizando as formulas descritas a seguir.

$$\text{NPR} = \frac{\text{ganho de peso (grupo teste)} + \text{perda de peso (grupo aprotéico)}}{\text{proteína ingerida (grupo teste)}} \quad (1)$$

$$\text{RNPR} = \frac{\text{NPR do grupo teste}}{\text{NPR do grupo controle}} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{PDCAAS} = \frac{\text{EAE}}{100} \times \frac{\text{Dv}}{100} \quad (3)$$

$$\text{FCA} = \frac{\text{Total de dieta consumida (g)}}{\text{Ganho de peso dos ratos (g)}} \quad (4)$$

Para determinação do índice de Digestibilidade Verdadeira da Proteína, foi adicionado índigo carmim PA (0,2 g. 100 g⁻¹) nas dietas, no 7º dia do experimento (SOUZA et al., 2006), a fim de identificar as fezes provenientes da dieta ingerida nas últimas 24 horas. As fezes dos animais foram coletadas do 8º ao 14º dia do experimento, incluindo as do grupo aprotéico. As fezes foram acondicionadas em recipientes individuais para cada animal e mantidas sob refrigeração. Após o período de coleta, as fezes foram secas em estufa a vácuo a 100º C, por 24 horas, pesadas e então trituradas para determinação do teor de nitrogênio.

A digestibilidade verdadeira (Dv) das fontes protéicas foi determinada pela obtenção da quantidade de nitrogênio ingerida pelos ratos (I), a quantidade de nitrogênio excretado nas fezes pelo grupo de ratos com dieta protéica (F), e a quantidade de nitrogênio fecal metabólico (endógeno) excretada nas fezes pelo grupo de ratos com dieta aprotéica (Fk). Assim, a digestibilidade foi calculada pela seguinte fórmula (5) (FAO, 1991):

$$\text{Dv} = \frac{\text{I} - (\text{F} - \text{Fk})}{\text{I}} \times 100 \quad (5)$$

4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados da avaliação de rendimento, das análises químicas (três repetições) e da avaliação biológica (seis repetições) foram expressos na forma de média e o respectivo desvio-padrão. Para avaliação biológica, o delineamento dos animais nos grupos foi feito por blocos casualizados, para homogeneização do peso dos animais distribuídos nos grupos, resultando em cinco tratamentos e seis repetições. Os dados foram analisados por comparação

de médias entre os tratamentos. Para isso, foi aplicado o teste de Tukey, após a análise de variância. As diferenças foram consideradas significativas para $P < 0,05$. As análises estatísticas foram realizadas utilizando planilha Excel, versão 2002 (10.6841.2625), Microsoft Office^R (Microsoft Corporation, Redmond, EUA). Para análise dos teores de minerais entre os milhos QPM e comum, as médias foram comparadas entre si pelo teste t de Student, sendo os cálculos efetuados usando o programa estatístico Instat (versão 2.01, 1993).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 RENDIMENTO INDUSTRIAL

5.1.1 Características físicas

Na avaliação física dos grãos (Tabela 4), notaram-se diferenças significativas para peso hectolitro entre todos os genótipos estudados ($P < 0,05$). O híbrido AG7000 apresentou maior peso, enquanto a variedade QPM obteve o menor peso, confirmando a menor densidade de milhos QPM relatada na literatura (VASAL, 2001). A dureza do grão está comumente relacionada com a densidade. Assim, quanto maior a densidade, mais duro o grão será. A textura do grão, por sua vez, está relacionada com o conteúdo de α -zeínas. Outrossim, embora seja possível relacionar a dureza do grão com o conteúdo de α -zeínas, a quantificação desta relação não é tão simples, em função do número de corpos protéicos presentes no endosperma e da distribuição desses corpos no grão. Geralmente, manipulações genéticas, objetivando melhoria da qualidade protéica de grãos comuns, promovem redução da fração zeína no endosperma (MORO et al., 1995; OLIVEIRA et al., 2007; VASAL, 2001;). Séne et al. (2001) relatam que há uma correlação positiva entre o conteúdo total de proteína e a dureza do grão. Entretanto, é citado que algumas classes de proteína estão envolvidas na textura do grão (zeínas ou globulinas), sendo as proteínas albuminas e globulinas associadas ao endosperma farináceo. Os resultados do peso hectolitro, obtidos neste trabalho, estão próximos aos relatados por Lee et al. (2007), porém, inferiores aos constatados por Duarte et al. (2005), que avaliaram a retenção de nitrogênio no grão de milho em diferentes níveis de adubação nitrogenada.

Quanto ao tamanho, verificou-se que os grãos do híbrido AG7000 foram maiores, e os do milho QPM, menores, ficando retidos na peneira de 8 mm cerca de 90 % e 70 % dos grãos, respectivamente. Todos os milhos observados neste estudo, exceto o QPM, apresentaram tamanhos semelhantes aos relatados por Lee et al. (2007), que avaliaram 11 híbridos e encontraram valores de retenção (peneira de 7,94 mm) entre 74,2 % e 99,3 %, em híbridos de milho comum. Não foram detectadas, na literatura, informações sobre tamanho de milho QPM, sendo, portanto, inéditos os dados relatados neste estudo.

As agroindústrias que fabricam derivados do milho consideram relevante a cor do grão porque este atributo interfere diretamente na coloração de seus produtos finais. Uma coloração mais intensa (alaranjada) é preferida pelos consumidores desses produtos

(OLIVEIRA et al., 2007). Neste estudo, segundo a escala utilizada, os milhos avaliados apresentaram coloração com pontuação variando de 11 a 14 (Tabela 4). O milho QPM apresentou coloração semelhante às dos grãos de milho comum, e o híbrido 30F80 revelou coloração mais intensa ($P < 0,05$). O valor atribuído à cor do milho QPM neste ensaio foi similar ao relatado por Oliveira et al. (2007), que avaliaram a qualidade física de genótipos de milho QPM e seus cruzamentos, os quais originaram a variedade usada no presente estudo. Isso indica que a cor do grão do milho dos genitores não foi afetada pelos cruzamentos realizados.

Tabela 4. Características físicas do milho QPM e dos híbridos de milhos comuns estudados

Variedades ¹	Propriedades físicas		
	coloração	peso hectolitro (g. mL ⁻¹)	tamanho do grão (peneira 8 mm)
30F80	14,00 ± 0,00 ^a	0,784 ± 0,10 ^b	88,10 ± 0,11 ^b
AG7000	12,33 ± 0,58 ^b	0,792 ± 0,03 ^a	91,01 ± 0,01 ^a
Alfa -090	11,67 ± 0,50 ^b	0,765 ± 0,07 ^c	88,10 ± 0,11 ^b
QPM	11,00 ± 1,00 ^b	0,701 ± 0,17 ^d	68,28 ± 0,06 ^c

¹ Dados apresentados como média ± desvio-padrão de três replicatas. Em uma mesma coluna, médias com letras em comum não apresentam diferenças significativas a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

5.1.2 Rendimento na degerminação do grão e no fracionamento do endosperma

Foram observadas diferenças significativas no rendimento do endosperma e do gérmen ($P < 0,05$) entre os grãos avaliados (Tabela 5). Constatou-se que os genótipos Alfa 090, 30F80 e AG7000, apresentaram menor rendimento da fração gérmen e, conseqüentemente, maior rendimento do endosperma, em comparação à variedade QPM e ao controle ($P < 0,05$). A variedade QPM apresentou, em relação aos demais genótipos, maior rendimento da fração gérmen ($P < 0,05$), sendo semelhante ao controle. Além disto, o rendimento do endosperma do milho QPM foi igual ao rendimento do controle e de dois híbridos de milho comum (Alfa 090 e 30F80), demonstrando-se, assim, que o menor peso hectolitro e o tamanho dos grãos QPM não afetaram o rendimento de seu endosperma. Em razão da eficácia no processo de degerminação, os resultados desta pesquisa podem ser interessantes para as indústrias que realizam o processamento a seco. Neste caso, há maior interesse nos genótipos que apresentam melhor rendimento de endosperma, para posterior fracionamento na fabricação de várias opções de *grits*, que constituem um dos produtos de maior valor agregado da indústria

moageira de milho (GONÇALVES et al., 2003; WATSON; RAMSTED, 1999; YUAN; FLORES, 1996).

O rendimento do endosperma e da fração gérmen de milho dos genótipos estudados foram semelhantes à literatura, cujos valores relatados foram de 78 % a 80 % para o endosperma, e 21,7 % a 34,7 % para o gérmen (MESTRES; MATENCIO; DRAMÉ, 2003; YUAN; FLORES, 1996). Todavia, outros estudos constatarem valores de rendimento para o gérmen entre 19 % e 24 %, mais próximos aos observados para os genótipos AG7000, 30F80 e Alfa 090 (PAN et al., 1996; WU; BERGQUIST, 1991). Em pesquisa realizada em dois laboratórios que usaram diferentes processos no condicionamento do grão, observou-se que, no processo cuja umidificação do grão foi de 23,5 %, o rendimento da fração gérmen com pericarpo foi de 18,4 %; e no processo de umidificação realizado em duas etapas, sendo a primeira para 16 %, e a seguinte para 18 %, o rendimento da fração gérmen com pericarpo foi de 27,8 %. Sendo assim, constatou-se que o condicionamento e os diferentes processos de umidificação podem afetar significativamente o rendimento dessa fração (LEE et al., 2007).

Tabela 5. Rendimento de gérmen e endosperma dos grãos dos milhos estudados

Variedades ¹	Frações (%)	
	gérmen	endosperma
AG 7000	19,70 ± 1,07 ^b	80,26 ± 3,35 ^a
30F80	21,97 ± 1,61 ^b	77,22 ± 5,42 ^{a,b}
Alfa 090	22,77 ± 0,42 ^b	77,18 ± 1,75 ^{a,b}
QPM	27,23 ± 3,15 ^a	73,34 ± 0,75 ^{b,c}
Controle	30,17 ± 2,30 ^a	70,33 ± 1,57 ^c

¹ Dados apresentados como média ± desvio-padrão de três replicatas. Em uma mesma coluna, médias com letras em comum não apresentam diferenças significativas a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

No presente estudo, as condições de degerminação foram padronizadas em escala industrial, em vista do volume de matéria-prima processada, de 500 kg. Nestas condições, observou-se um aumento de 27 % no rendimento do gérmen de milho QPM, sendo significativamente superior ($P < 0,05$) aos genótipos de milho comum. Por outro lado, o resultado do rendimento de gérmen do milho QPM foi semelhante ao controle ($P < 0,05$) (Tabela 5).

A eficácia do processo de degerminação é determinada pelo rendimento das frações de gérmen e de endosperma, e pela completa separação destas frações. Este processo é em geral comprometido pela ausência de padronização nas características da matéria-prima. As frações

obtidas pela divisão do endosperma contêm em torno de 7 % a 8 % de proteínas, menos de 1 % de lipídios, fibras e cinzas, e de 88 % a 90 % de amido, em base seca. A degerminação objetiva a obtenção de endosperma limpo, com menor conteúdo de lipídios e, conseqüentemente, de gérmen com o máximo teor lipídico possível (SERNA-SALDÍVAR; GOMEZ; ROONEY, 2001; WATSON; RAMSTED, 1999; YUAN; FLORES, 1996).

O rendimento do endosperma, analisado pela classificação das partículas por tamanho, possibilitou avaliar a produção de canjicas, *grits* e frações finas, como as sêmolas e o fubá (Tabela 6). A canjica, também conhecida como *Flaking grits*, tem alto valor comercial agregado e é destinada à produção de cereais matinais. Portanto, o maior rendimento dessa fração e um mínimo de fubá é desejado pelas indústrias (SERNA-SALDÍVAR; GOMEZ; ROONEY, 2001; YUAN; FLORES, 1996). Todos os genótipos apresentaram eficácia similar na produção de canjica, e superior ao controle (5 %). O rendimento da canjica, encontrado no presente estudo (85 % a 87 %), foi superior aos valores constatados por Pan et al. (1996), entre 53 % e 69 %, em pesquisa com diferentes híbridos de milho. Esses dados sugerem que o QPM pode ser uma alternativa para a produção de canjica.

O alto rendimento da canjica ocasionou, de forma geral, baixo rendimento de *grits* e de fubá, fato já relatado pela literatura (PAN et al., 1996; WU; BERGQUIST, 1991). Entretanto, o híbrido AG7000 obteve rendimento de *grits* similar ao controle, e o milho QPM apresentou rendimento de fubá superior ao controle (Tabela 6). Mestres, Matencio e Dramé (2003) encontraram, em diferentes variedades processadas com umidade de 10 % e 15 %, grande variação no rendimento de *grits*, com valores entre 26,0 % a 67,5 %, e 23,8 % a 63,4 %, respectivamente. Em estudo realizado por Lee et al. (2007), com diferentes híbridos submetidos a diversos tipos de processamentos, a fração *grits* apresentou rendimento superior a 50 %. Serna-Saldívar, Gomez e Rooney (2001) relataram rendimento de 38 % de *grits* grosso e médio. Tais diferenças observadas na produção de *grits* podem ser explicadas pelo tipo de equipamento e abertura da peneira usados no processo de moagem, metodologia utilizada na avaliação do rendimento, e pelos objetivos específicos de cada pesquisa.

O milho QPM gerou maior rendimento de sêmolas e fubás (frações < 0,5mm), sendo diferente dos demais genótipos e do controle ($P < 0,05$), o que pode ser explicado pela sua maior quantidade de endosperma farináceo (VASAL, 2001; WATSON; RAMSTED, 1999). Em contraposição, os genótipos de milho comum produziram menos sêmolas e fubá que o controle (Tabela 6). Os resultados do rendimento dessas frações foram semelhantes aos encontrados na literatura (PAN et al., 1996; WU; BERGQUIST, 1991).

Tabela 6. Rendimento de canjica, *grits* e sêmolas e fubás obtidos no fracionamento do endosperma dos milhos estudados

Variedades ¹	Frações		
	canjicas	<i>grits</i>	sêmolas/fubá
AG 7000	86,56 ± 5,10	10,40 ± 0,77 ^{a,b}	3,05 ± 0,31 ^c
30F80	86,84 ± 5,87	9,69 ± 0,31 ^b	3,71 ± 0,10 ^c
Alfa 090	87,33 ± 2,25	8,03 ± 0,13 ^b	4,12 ± 0,20 ^{b,c}
QPM	84,87 ± 4,53	8,10 ± 0,25 ^b	6,59 ± 0,65 ^a
Controle	81,92 ± 3,86	12,81 ± 2,76 ^a	5,29 ± 1,14 ^b

¹ Dados apresentados como média ± desvio-padrão de três replicatas. Em uma mesma coluna, médias com letras em comum não apresentam diferenças significativas a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Perante os resultados obtidos, observa-se que o milho QPM estudado tem potencial de uso na indústria de alimentos, visto que obteve rendimento compatível com os resultados de produção da indústria. Pesquisas genéticas objetivando alcançar melhores características fenotípicas devem continuar, pois ainda há alguns aspectos, como densidade e textura do grão, que podem ser aperfeiçoados.

5.1.3 Composição química dos milhos e das frações geradas no processamento

Os dados da composição química (Tabela 7) indicaram similaridade nos teores de proteínas e lipídios entre os genótipos de milhos estudados. O teor de proteína dos grãos integrais se assemelhou ao relatado por alguns autores (GLORIA et al., 2002; VASAL, 2001; WATSON; RAMSTED, 1999; YUAN; FLORES, 1996), porém, foi inferior aos encontrados em outros estudos com milho QPM e com genótipos de milho comum (GONÇALVES et al., 2003; MESTRES et al., 1991; MESTRES; MATENCIO; DRAMÉ, 2003; MORO et al., 1995; SÉNE et al., 2001; VELU et al., 2006). As diferenças no teor de proteína dos grãos podem estar relacionadas, entre outras variáveis, às práticas agronômicas empregadas no cultivo do milho. É relatado na literatura que diferentes teores de adubação nitrogenada influenciam na produtividade e na concentração protéica do grão. Ferreira et al. (2001) verificaram que, para cada dose de nitrogênio aplicada (entre 0 kg e 210 kg. ha⁻¹), o teor de proteína no grão aumentou significativamente (39,1 %), passando de 7,5 g a 10,5 g. 100 g⁻¹. Em outro estudo, em que foram usados 180 kg. ha⁻¹ de nitrogênio, observou-se incremento de 20 % no teor de proteína dos grãos (DUARTE et al., 2005).

O milho QPM e os genótipos de milho comum apresentaram teor considerável de lipídios ($\bar{x} = 5,76 \%$), sendo este valor mais elevado que aqueles comumente relatados na literatura, cuja a média é de $4,38 \%$ (GLORIA et al., 2002; GONÇALVES et al., 2003; LEE et al., 2007; MESTRES et al., 1991; MESTRES; MATENCIO; DRAMÉ, 2003; SÉNE et al., 2001; VELU et al., 2006). Observou-se conteúdo mais elevado de fibra alimentar total no grão inteiro de milho QPM, em relação ao milho comum (17% e 13% , respectivamente). Não foi possível comparar os resultados de fibra alimentar com dados de outros estudos, pois os valores encontrados na literatura se referem à fibra bruta, o que impossibilita a comparação dos dados pelas diferenças entre os procedimentos analíticos (Tabela 7), sendo os dados de fibra alimentar relatados neste estudo, portanto, inéditos.

Tabela 7. Composição centesimal aproximada do milho QPM e dos milhos comuns

Variedades	Composição centesimal ¹					
	umidade	proteínas	lipídios	FAT	cinzas	carboidratos ²
	g. 100 g ⁻¹					
<u>Milho comum</u>						
Grão inteiro	9,23 ± 0,17	8,05 ± 0,07	5,69 ± 0,21	13,33 ± 1,51	1,15 ± 0,02	63,30
Gérmen	8,32 ± 0,04	11,94 ± 0,32	17,48 ± 0,20	29,18 ± 1,20	3,65 ± 0,05	28,82
Canjica/Grits	11,31 ± 0,17	6,64 ± 0,27	0,37 ± 0,04	nd	0,25 ± 0,00	81,43
Sêmola/Fubá	11,64 ± 0,09	6,36 ± 0,10	1,37 ± 0,09	4,67 ± 12,97	0,19 ± 0,02	75,50
<u>QPM</u>						
Grão inteiro	11,84 ± 0,18	9,21 ± 0,10	5,84 ± 0,22	17,40 ± 0,10	1,35 ± 0,02	55,71
Gérmen	8,74 ± 0,08	13,80 ± 1,60	16,85 ± 0,19	38,40 ± 0,10	4,47 ± 0,14	17,74
Canjica/Grits	10,96 ± 0,14	6,98 ± 0,30	0,47 ± 0,01	nd	0,27 ± 0,01	81,32
Sêmola/Fubá	12,18 ± 0,16	6,26 ± 0,03	1,44 ± 0,12	nd	0,24 ± 0,02	79,88

¹ Dados apresentados como média ± desvio-padrão de três replicatas. Os valores para o milho comum constituem médias das três variedades estudadas, exceto para fibra alimentar total (FAT) que constituem médias de dois híbridos (AG7000 e 30F80).

² Valores calculados por diferença, subtraindo-se de 100 os valores obtidos para umidade, proteínas, lipídios, fibra alimentar total e cinzas. Nos casos em que não foi determinada a fibra alimentar total (nd: não determinado), os valores correspondem a carboidratos totais.

O milho QPM apresentou teor de cinzas maior que o milho comum, o que sugere um maior conteúdo de minerais no milho QPM, sendo os resultados em geral compatíveis com os encontrados na literatura, que variaram de $1,27 \%$ a $1,68 \%$ (GONÇALVES et al., 2003; MESTRES; MATENCIO; DRAMÉ, 2003; VELU et al., 2006). Observou-se que os germens dos milhos QPM e comum contêm teores elevados de fibra alimentar total e, conforme legislação vigente no Brasil (BRASIL 1998), estas frações podem ser consideradas matérias-

primas com alto teor de fibras. O conteúdo de fibra alimentar do gérmen do milho QPM é um mais elevado que aqueles encontrados para os germens dos milhos comuns. O gérmen de milho QPM apresentou teores de proteína e fibra alimentar superiores aos dos germens dos milhos comuns. Em comparação com outras fontes alimentares, o gérmen QPM possui concentração de fibra alimentar semelhante à do farelo de centeio (34 %), maior que a do farelo de aveia (18 %), e menor que a do farelo de trigo (43 %) (GRÅSTEN et al., 2002). Quanto à concentração de proteína, os valores encontrados para os germens de milho QPM e comuns (14 % e 12 %, respectivamente) foram superiores ao relatado por Brito et al. (2005a), e semelhantes ao constatado por Mestres, Matencio e Dramé (2003), para gérmen integral, e por Hernandez et al. (1999a), para gérmen desengordurado, sendo: 10, 9 %, 13,5 % e 12,7 %, respectivamente.

Os germens dos milhos QPM e dos milhos comuns apresentaram conteúdo considerável de lipídios, similares entre si e superiores aos reportados na literatura, de 9,3 % (BRITO et al., 2005a) e 12,3 % (MESTRES; MATENCIO; DRAMÉ, 2003). Verificou-se que o gérmen do milho QPM apresentou teor de cinzas 22 % maior em relação ao gérmen de milho comum, corroborando com o resultado de cinzas encontrado no grão inteiro, e confirmando que os minerais estão concentrados nessa fração. O teor de cinzas constatado para estas frações foi semelhante ao relatado por Hernández, Guerra e Rivero (1999a, 1999b), de 3,74 % e 4,77 %, respectivamente.

As amostras do endosperma (canjicas e *grits*) apresentaram menores teores de lipídios e cinzas, indicando a eficácia da separação entre o endosperma e o pericarpo e gérmen. Os teores de proteínas da canjica, *grits*, sêmola e fubá dos milhos estudados foram similares aos relatados por Callegaro et al. (2005). Contudo, foram inferiores aos constatados em outros estudos (HERNÁNDEZ; GUERRA; RIVERO, 1999b; MESTRES et al., 1991; MESTRES; MATENCIO; DRAMÉ, 2003). Os teores de lipídios das sêmolas e fubá (Tabela 7) foram inferiores aos relatados por Callegaro et al. (2005), indicando boa separação do endosperma das demais partes do grão, e foram semelhantes aos encontrados por Mestres et al. (1991) e Hernández, Guerra e Rivero (1999b).

Em estudo realizado por Callegaro et al. (2005), em produtos derivados do milho, observou-se que o teor de fibra alimentar total das farinhas fina e média (fubá e sêmola) foi maior (4 %), que os teores de fibra do arroz polido (2 %) e da farinha de trigo especial (3 %), sendo os resultados do presente estudo compatíveis com os da referida pesquisa.

Os teores de cálcio, ferro e zinco dos milhos analisados estão indicados na Tabela 8. Foi observado acréscimo de 16 % no teor de cálcio no milho QPM, em relação ao milho

comum, porém as diferenças não foram significativas ($P > 0,05$). Ao contrário, foi constatado conteúdo menor de cálcio nas frações gérmen, sêmola e fubá do milho QPM, sendo essas diferenças significativas ($P = 0,01$). Quanto ao teor de ferro, o milho QPM também obteve aumento de 17 % no grão inteiro em relação ao milho comum, contudo, este acréscimo não foi significativo ($P > 0,05$).

Tabela 8. Teor de minerais do milho QPM e dos milhos comuns

Variedades ¹	Minerais		
	cálcio	ferro	zinco
	mg. 100 g ⁻¹		
<u>Milho comum</u>			
Grão inteiro	6,76 ± 0,55	3,37 ± 0,19	2,08 ± 0,23
Gérmen	18,41 ± 1,54*	5,33 ± 1,00	5,07 ± 0,41
Canjica/Grits	nd	nd	nd
Sêmola/Fubá	2,13 ± 0,14*	0,39 ± 0,02	0,24 ± 0,02
<u>QPM</u>			
Grão inteiro	7,83 ± 0,80	3,92 ± 0,59	2,39 ± 0,05*
Gérmen	14,28 ± 0,24	20,12 ± 1,15*	6,02 ± 0,42*
Canjica/Grits	nd	nd	nd
Sêmola/Fubá	1,68 ± 0,14	1,01 ± 0,26*	0,30 ± 0,01*

¹ Dados apresentados como média ± desvio-padrão de três replicatas. Milho híbrido estudado: AG7000.

* Diferença significativa pelo teste *t* de Student entre os milhos QPM e comum.

nd: não determinado.

Em contrapartida, o milho QPM apresentou conteúdo de ferro superior nas frações sêmola e fubá e no gérmen ($P = 0,01$), em comparação às mesmas frações dos milhos comuns. Em relação ao teor de zinco, os valores também foram superiores para o milho QPM no grão inteiro ($P = 0,08$), no gérmen ($P = 0,05$) e nas frações sêmola e fubá ($P = 0,01$). Tais resultados indicam que as manipulações genéticas elevaram o conteúdo de minerais nos grãos do milho QPM. Estes dados são similares ao relatado por Oliveira (2003), para genótipo de milho duro, de 3,8 mg. 100 g⁻¹. No mesmo estudo, observaram-se teores de zinco de 3,02 mg. 100 g⁻¹ para milho duro, e 2,88 mg. 100 g⁻¹ para milho mole. Estes valores estão acima daqueles relatados na literatura (3,0 mg. 100 g⁻¹ para cálcio e ferro, e 1,4 mg. 100 g⁻¹ para zinco) (WATSON; RAMSTED, 1999).

O gérmen de milho contém, aproximadamente, 80 % da constituição mineral do grão, sendo considerada fração rica em minerais, provavelmente porque esses nutrientes são

essenciais ao desenvolvimento da plântula (WATSON; RAMSTED, 1999). O conteúdo de cálcio do gérmen de milho comum, encontrado neste estudo, foi inferior ao verificado por Brito et al. (2005b), de 20 mg. 100 g⁻¹.

O milho QPM e as frações germens contêm consideráveis teores de proteínas e de lipídios, e alto teor de fibra alimentar, além de bom conteúdo mineral, especialmente em ferro.

5.2 QUALIDADE PROTÉICA DO MILHO QPM, DO MILHO COMUM E DA FRAÇÃO GÉRMEN DO MILHO COMUM

5.2.1 Características químicas das fontes protéicas usadas nas dietas do ensaio biológico

Os dados da composição centesimal do milho QPM estão mostrados na Tabela 7. O milho comum (MIC) apresentou teor de proteína semelhante ao relatado na literatura ($8,5 \pm 0,04$ g. 100 g⁻¹) (GLORIA et al., 2002; VASAL, 2001; WATSON; RAMSTED, 1999) e teores consideráveis de lipídios ($6,52 \pm 0,29$ g. 100 g⁻¹) e fibra alimentar total ($16,20 \pm 0,00$ g. 100 g⁻¹).

O gérmen de milho comum (GMC), parcialmente desengordurado, apresentou teores elevados de proteína ($13,08 \pm 0,25$ g. 100 g⁻¹) e de fibra alimentar ($34,40 \pm 0,20$ g. 100 g⁻¹). Conforme já mencionado, esta fração pode ser considerada matéria-prima de alto teor de fibras, semelhante a alguns cereais, porém menor que do farelo de trigo (GRÅSTEN et al., 2002). Foi observado que a fibra alimentar do milho QPM, do MIC e GMC são constituídas, em quase sua totalidade, por fibra insolúvel ($16,20 \pm 0,10$ g. 100 g⁻¹, $14,80 \pm 0,20$ g. 100 g⁻¹ e $32,83 \pm 0,20$ g. 100 g⁻¹, respectivamente). Atualmente, alimentos que contêm este tipo de fibra têm sido classificados como alimentos funcionais por suas ações benéficas ao organismo como diminuição do colesterol sanguíneo, proteção contra câncer, aumento do trânsito intestinal, intervenção no metabolismo de lipídios e carboidratos e na fisiologia do trato gastrointestinal (CUPARI, 2005; FIGUEROLA et al., 2005). Quanto à concentração de proteína, o valor encontrado neste estudo para o GMC foi inferior ao reportado por Gupta e Eggum (1998), porém foi semelhante ao relatado por Hernández, Guerra e Rivero (1999b) para gérmen desengordurado. Foi observado teor elevado de carboidratos no GMC (37 g. 100 g⁻¹), porém, este resultado é semelhante ao relatado por Gupta e Eggum (1998) e por Naves et al. (2008). Este fato ocorre, em geral, porque o grão apresenta em sua composição uma camada aderente que dificulta a separação completa do endosperma e do gérmen, no processo

de degerminação, podendo gerar, assim, gérmen com fragmentos de endosperma ou endosperma com fragmentos de gérmen (WATSON; RAMSTED, 1999).

5.2.2 Perfil e escore de aminoácidos essenciais

O milho QPM e a fração GMC apresentaram bom perfil de aminoácidos indispensáveis (essenciais), com elevados teores de lisina e de triptofano e concentrações de todos aminoácidos essenciais acima do padrão WHO/FAO/UNU (WHO, 2007) (Tabela 9), com exceção do aminoácido isoleucina do GMC que ficou abaixo do valor de referência.

Tabela 9. Composição em aminoácidos do milho QPM, do milho comum e do gérmen de milho comum, e respectivos valores de EAE em relação ao padrão de referência (mg. g⁻¹ de proteína)

Aminoácido	Fonte de proteína e respectivos EAE ¹						Padrão WHO/FAO /UNU ²
	QPM	EAE	MIC	EAE	GMC	EAE	
<u>Essencial</u>							
Histidina	49,27	3,08	34,93	2,18	35,46	2,22	16
Isoleucina	32,63	1,05	34,07	1,10	29,77	0,96	31
Leucina	88,51	1,45	117,37	1,92	75,50	1,24	61
Lisina	49,48	1,03	39,43	0,82	63,40	1,32	48
Metionina +	32,03	1,33	34,63	1,44	34,12	1,46	24
Fenilalanina +	71,60	1,75	80,21	1,96	68,85	1,68	41
Treonina	43,66	1,75	38,00	1,52	51,10	2,04	25
Triptofano	11,82	1,79	12,69	1,92	15,25	2,31	6,6
Valina	52,05	1,30	45,69	1,14	44,68	1,12	40
TOTAL	431,0		437,0		419,1		292,6
<u>Não-essencial</u>							
Ácido aspártico	82,48	-	74,80	-	94,04	-	-
Ácido glutâmico	153,79	-	175,83	-	132,68	-	-
Alanina	64,72	-	73,80	-	69,62	-	-
Arginina	75,16	-	48,93	-	90,23	-	-
Glicina	50,12	-	43,44	-	60,27	-	-
Prolina	92,75	-	97,84	-	86,20	-	-
Serina	49,95	-	48,69	-	54,82	-	-

¹ Valores constituem média de duas repetições. QPM: milho QPM, MIC: milho comum, GMC: gérmen de milho comum, EAE: Escore de aminoácidos essenciais - menor relação entre o aminoácido da proteína-teste e o respectivo padrão de referência (valores sombreados).

² Valores constituem a referência para avaliação da qualidade de proteínas alimentares para crianças em idade escolar (3 a 10 anos) (WHO, 2007).

O milho QPM apresentou teor de lisina 25 % maior que o milho comum, além de melhor razão leucina/isoleucina, conforme relatado por Vasal (2001), o que indica melhoria nesta proporção com o aumento do teor de lisina no grão. Na literatura é geralmente relatado que o milho QPM contém aproximadamente 50 % mais lisina que o milho comum, considerando que este último apresenta teores de lisina de até 30 mg. g⁻¹ de proteína (GUIMARÃES et al., 2004; GUPTA; EGGUM, 1998; NAVES et al., 2004; PIRES et al., 2006; RIDLEY et al., 2004; SHEWRY, 2007). Entretanto, no presente estudo constatou-se teor de lisina do milho comum superior ao relatado na literatura (Tabela 9). Azevedo et al. (2003), em estudo com mutantes *opaque* e *floury*, observaram que quanto maior a fração zeína, menor é a concentração de lisina no grão. O milho QPM possui teores de lisina e triptofano (49 mg. g⁻¹ de proteína e 12 mg. g⁻¹ de proteína, respectivamente) compatíveis aos relatados na literatura (DADO, 1999; NAVES et al., 2004; RIDLEY et al., 2004; SHEWRY, 2007; VASAL, 1999). Em estudo com milho transgênico com alto teor de lisina e triptofano foram encontrados valores de lisina variando de 47 a 79 mg. g⁻¹ de proteína, e de triptofano, de 9,4 a 18,2 mg. g⁻¹ de proteína (HUANG et al., 2006).

O teor de lisina do GMC foi aproximadamente 30 % maior que o milho QPM e 60 % superior ao milho comum, demonstrando que esta fração tem melhor perfil de aminoácidos essenciais, além de boa concentração de aminoácidos não essenciais, especialmente o ácido glutâmico, alanina e prolina. Destaca-se que o teor de lisina constatado para a fração GMC neste estudo é superior ao relatado na literatura para gérmen de milho desengordurado, de 49,7 mg. g⁻¹ de proteína (GUPTA; EGGUM, 1998), e de 41,0 mg. g⁻¹ de proteína para gérmen de milho integral (BRITO et al., 2005a). Os teores de lisina das proteínas do grão de milho comum e do gérmen de milho comum foram similares aos encontrados por Naves et al. (2008), em estudo realizado para avaliação da qualidade nutricional da proteína do gérmen e do milho comum.

5.2.3 Valor protéico dos milhos QPM e comum e da fração gérmen de milho comum

Em relação ao ensaio biológico, não foram observadas diferenças significativas no peso final dos animais dos grupos QPM, MIC e GMC, porém os ratos destes grupos ganharam menos peso ($P < 0,05$) que os do grupo controle (CAS), conforme Tabela 10. Embora o peso final entre os grupos testes tenha sido similar, observa-se que o grupo QPM apresentou maior ritmo de crescimento em relação aos demais grupos experimentais (Figura 2). O grupo QPM apresentou variação de peso similar ao GMC e superior ao MIC. O MIC,

por sua vez, não diferiu do GMC. Porém, todos os grupos testes diferiram significativamente ($P < 0,05$) do grupo CAS, que apresentou maior ganho de peso em razão da qualidade e do melhor aproveitamento da proteína desta dieta (Tabela 10).

Tabela 10. Peso corpóreo, consumos de dieta e de proteína, peso absoluto e relativo dos fígados de ratos Wistar mantidos durante 14 dias de experimento¹

Dieta ²	Peso dos ratos (g)		Consumo (g)		Peso do fígado	
	final	variação	dieta	proteína	absoluto (g)	relativo- % (g. 100 g ⁻¹ de rato)
CAS	116,9 ± 14,0 ^a	52,2 ± 3,7 ^a	192,1 ± 18,8	13,8 ± 1,4	4,78 ± 0,58 ^a	4,10 ± 0,32
QPM	95,6 ± 10,0 ^b	31,2 ± 4,2 ^b	178,4 ± 15,5	12,9 ± 1,1	3,52 ± 0,50 ^b	3,69 ± 0,46
MIC	86,2 ± 11,9 ^b	21,6 ± 5,3 ^c	168,1 ± 24,8	12,5 ± 1,8	3,37 ± 0,48 ^b	3,92 ± 0,26
GMC	89,3 ± 8,41 ^b	24,7 ± 3,5 ^{b, c}	159,7 ± 15,0	11,5 ± 1,1	3,37 ± 0,28 ^b	3,77 ± 0,21
AP	49,7 ± 7,4 ^c	-14,5 ± 2,3 ^d	-	-	2,02 ± 0,22 ^c	4,09 ± 0,37

¹ Valores apresentados como média ± desvio-padrão. Na mesma coluna, médias com mesma letras distintas não apresentam diferenças significativas a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

² Dietas contendo 7 % de proteína das seguintes fontes: CAS - caseína (7,19 %), QPM - milho QPM (7,25 %), MIC - milho comum (7,46 %), GMC - gérmen de milho comum (7,18 %); e dieta aprotéica - AP.

O consumo de dieta foi semelhante em todos os grupos, indicando que a fonte protéica não interferiu no consumo dos animais (Tabela 10). O consumo de proteína entre os grupos também não apresentou diferenças significativas ($P < 0,05$). Observa-se, ainda na Tabela 10, que os pesos dos fígados dos ratos dos grupos QPM, MIC e GMC foram similares entre si, porém inferiores aos do grupo CAS, o que confirma a maior disponibilidade, em nível tecidual, da caseína. O peso relativo do fígado de todos os grupos foram similares ao do grupo controle, ao redor de 4 %, conforme relatado na literatura, tanto para ratos jovens como para adultos (NAVES et al., 2006). O peso do fígado do grupo aprotéico foi menor, confirmando que a redução do tamanho foi proporcional à perda de peso corpóreo, porém o peso relativo foi semelhante aos demais. Estes dados são similares ao constatado por Naves et al. (2006), que encontraram redução no peso total do fígado, e não no peso relativo, de ratos alimentados com dieta aprotéica em comparação com animais tratados com caseína. Este fato mostra o quanto o fígado é sensível à ausência de proteína na dieta, o que pode também ser explicado pelo aumento significativo do teor de lipídios no fígado, caracterizado pela infiltração gordurosa no órgão induzida por dietas desbalanceadas em termos protéicos (NAVES et al., 2006).

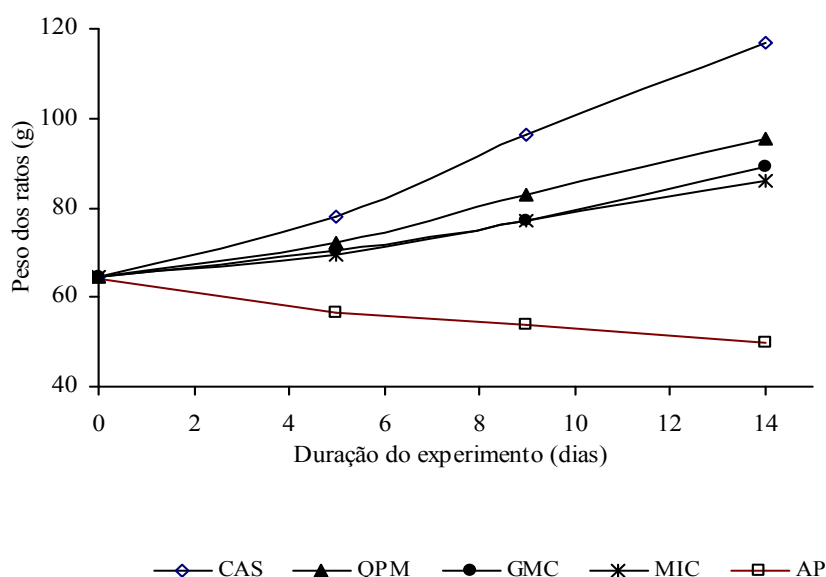


Figura 2. Evolução de peso de ratos Wistar (machos, recém-desmamados) submetidos a diferentes tratamentos¹ durante 14 dias de experimento.

¹ Dietas formuladas contendo 7 % de proteína das seguintes fontes: CAS - caseína (padrão), QPM - milho QPM, GMC- gérmen de milho comum, MIC - milho comum; e dieta aprotéica - AP.

O fator de conversão alimentar (FCA) dos grupos variou de 3,7 (CAS) a 8,0 (MIC), conforme descrito na Tabela 11. A dieta QPM apresentou FCA maior ($P < 0,05$) que a dieta CAS e, portanto, os animais alimentados com QPM necessitaram de mais alimento (6 g) para ganhar 1 g de peso corpóreo em comparação aos alimentados com caseína (4 g). No entanto, o milho QPM foi mais eficaz em promover o crescimento do que o milho comum (8 g), que, por sua vez, foi igual ao grupo GMC, demonstrando a capacidade desta fração em promover o crescimento quando comparado com o milho QPM. Naves et al. (2004) encontraram valores de FCA semelhantes ao encontrado neste estudo para milhos QPM (BR 473 e BR 451) e 20 % maior para o milho comum ($9,62 \pm 1,12$), comprovando a baixa eficiência alimentar da dieta à base deste cereal. Martinez-Flores et al. (2004) obtiveram valores de FCA para dietas formuladas com amido de mandioca enriquecida com amido resistente (6,95) ou fibra de aveia (7,25), semelhantes aos constatados neste estudo para o milho QPM e para o GMC.

Quanto à qualidade da proteína (Tabela 11), os valores de NPR para as dietas com milho QPM e GMC foram semelhantes entre si e 28 % inferiores aos do grupo controle, sendo essas diferenças significativas ($P < 0,05$). Observa-se que o milho QPM e o GMC apresentaram aumento de aproximadamente 20 % na qualidade protéica em relação ao milho comum. Em outro estudo, foram encontrados valores protéicos de dietas com milho QPM

(NPR= 3,40) e com milho comum (NPR= 2,60), compatíveis com os relatados no presente estudo (NAVES et al., 2004).

Tabela 11. Fator de conversão alimentar (FCA), NPR (Net Protein Ratio) e RNPR (Relative Net Protein Ratio) em ratos Wistar mantidos durante 14 dias de experimento¹

Dieta ²	Índice biológico		
	FCA	NPR	RNPR (%)
CAS	3,68 ± 0,15 ^c	4,85 ± 0,25 ^a	-
QPM	5,75 ± 0,34 ^b	3,53 ± 0,11 ^b	72,85 ± 2,22 ^a
MIC	7,98 ± 1,09 ^a	2,88 ± 0,17 ^c	59,42 ± 3,41 ^b
GMC	6,53 ± 0,83 ^b	3,44 ± 0,33 ^b	70,83 ± 6,74 ^a

¹ Valores apresentados como média ± desvio-padrão. Em uma mesma coluna, médias com letras em comum não apresentam diferenças significativas a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

² Dietas contendo 7 % de proteína das seguintes fontes: CAS - caseína, QPM - milho QPM, MIC - milho comum e GMC - gérmen de milho comum.

O valor de NPR constatado para caseína (4,85 ± 0,25) neste estudo foi superior aos relatados em outros estudos (HERNÁNDEZ, GUERRA, RIVERO, 1999a; NAVES et al., 2004; PAULA et al., 2004), o que pode ser explicado em razão do teor de proteína da dieta ter sido padronizado em 7 %. Neste caso, a eficácia do aproveitamento protéico pode ter sido melhorada em função da quantidade limitante de proteína oferecida na dieta. Outro aspecto importante é que o consumo de dieta foi igual em todos os grupos (Tabela 10), indicando que a ingestão energética não interferiu no aproveitamento biológico da proteína.

Em relação à caseína, o QPM e GMC apresentaram RNPR médio de 72 %, enquanto que o MIC apresentou valor aproximado de 60 %. Com este resultado reforça a importância do estudo da avaliação da disponibilidade biológica da proteína deste cereal, pois na avaliação da qualidade protéica considerando apenas o perfil de aminoácidos essenciais (avaliação química), todos os materiais testados apresentaram valores de EAE superiores (Tabela 9). O valor de RNPR do milho QPM é próximo ao relatado por Pires et al. (2006), de 76 %, e inferiores aos constatados por Naves et al. (2004), para as variedades QPM BR 473 e BR 451, de 81 % e 83 %, respectivamente. Em razão da escassez de dados, não foi identificado valor de NPR para a proteína de gérmen na literatura, sendo inéditos os dados relatados neste estudo. Contudo, foram reportados valores de 75 % e 68 % de RPER (Relative Protein Efficiency Ratio) para gérmen desengordurado por processamento industrial e em laboratório,

respectivamente (HERNÁNDEZ; GUERRA; RIVERO, 1999a), e de 83 % para o gérmen de milho integral (NAVES et al., 2008).

Tabela 12. Digestibilidade verdadeira da proteína e valor de PDCAAS (Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Score) de dietas oferecidas a ratos durante sete dias de experimento¹

Dietas ²	proteína ingerida (g)	peso das fezes secas (g)	proteína excretada (g)	digestibilidade verdadeira (%)	PDCAAS ³ (%)
CAS	8,09 ± 0,45 ^a	6,43 ± 0,36 ^c	0,71 ± 0,07 ^c	93,10 ± 0,48 ^a	-
QPM	7,31 ± 0,50 ^{a,b}	8,34 ± 0,61 ^b	1,21 ± 0,12 ^b	85,60 ± 1,85 ^b	88,17 ± 1,90 ^a
MIC	7,12 ± 0,69 ^b	7,75 ± 0,83 ^b	1,10 ± 0,17 ^b	86,66 ± 2,16 ^b	71,10 ± 1,77 ^c
GMC	6,97 ± 0,30 ^b	15,10 ± 0,38 ^a	1,54 ± 0,05 ^a	80,12 ± 1,13 ^c	77,00 ± 1,09 ^b

¹ Valores apresentados como média ± desvio-padrão. Em uma mesma coluna, médias com letras em comum não apresentam diferenças significativas a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

² Dietas contendo 7 % de proteína das seguintes fontes: CAS – caseína; QPM - milho QPM; MIC - milho comum e GMC - gérmen de milho comum.

³ Escore de aminoácido essencial corrigido pela digestibilidade (EAE x Dv/100).

Os valores de digestibilidade verdadeira das proteínas dos milhos QPM e comum foram semelhantes entre si e maiores que o GMC (Tabela 12), porém, todos foram inferiores à caseína ($P < 0,05$). O valor da digestibilidade verdadeira inferior para o GMC, se deve provavelmente à quantidade de fibra alimentar presente na dieta (20 %), o que pode ter contribuído para o maior volume de perda fecal neste grupo, sendo quase duas vezes maior que os demais. Apesar da menor digestibilidade verdadeira, a fração GMC apresentou qualidade protéica superior à do MIC (Tabela 12), porém igual ao QPM, comprovando assim que esta fração possui melhor perfil de aminoácidos essenciais que o milho comum. A digestibilidade verdadeira do milho comum encontrada na literatura variou de 76 % a 85 % (FAO, 1991; SGARBIERI, 1996; YOUNG; PELLETT, 1994). Para o milho QPM, é relatado valor de digestibilidade verdadeira de 69 %, em estudo com animais alimentados com dieta contendo 7 % de proteína (PAULA et al., 2004). Estes valores são inferiores aos constatados neste estudo para os milhos QPM e comum. No entanto, a digestibilidade verdadeira dos milhos estudados foi semelhante ao constatado em outro estudo com variedades de milheto ($\bar{x} = 85$ %), cereal com características químicas semelhantes ao milho (KASAOKA et al., 1999).

A digestibilidade do GMC é similar a relatado pela FAO (1991) para gérmen cozido e seco a 50 °C, (80,8 %), e inferior à relatada em alguns estudos, para gérmen desengordurado

(87 %) (GUPTA; EGGUM, 1998; HERNÁNDEZ; GUERRA; RIVERO, 1999a). Apesar do alto teor de fibras da fração gérmen, sua digestibilidade não diferiu da relatada para o gérmen de milho na literatura. Em geral, a digestibilidade das proteínas de origem vegetal são inferiores a 80 % (SGARBIERI, 1996). Sendo assim, os valores constatados neste estudo mostram que a proteína desses materiais apresentam boa digestibilidade.

O valor protéico estimado pelo PDCAAS (Dv x EAE) para o milho QPM, GMC e MIC foram superiores aos estimado pelo índice RNPR (73 %, 71 % e 59 %, respectivamente), sendo considerado no cálculo do PDCAAS o aminoácido limitante isoleucina para o gérmen, e lisina para o milho (Tabela 9). Isto indica que somente a avaliação química não é suficiente para avaliar se a proteína atende às necessidades de aminoácidos essenciais do organismo. É importante avaliar a disponibilidade biológica destes aminoácidos, ou seja, quanto destes aminoácidos são absorvidos e utilizados pelo organismo, pois existem fatores que podem afetar essa biodisponibilidade (FRIEDMAN, 1996; SGARBIERI, 1996).

Naves et al. (2008), em estudo recente, ainda não publicado, encontram valores de PDCAAS de 81 % para o gérmen e 51 % para o milho comum, valor semelhante para o gérmen, mas inferior ao constatado para o milho comum neste estudo. Em outro estudo realizado por Amaya-Guerra et al. (2004), foi verificado valor de 63 % de PDCAAS para milho QPM, resultado também inferior ao encontrado para o milho QPM no presente estudo. Porém, o valor de PDCAAS para o milho QPM constatado nesta pesquisa foi semelhante ao encontrado por Naves et al. (2004), em variedades dos milhos QPM BR 473 e BR 451, o que é compatível com o teor de lisina do milho QPM estudado.

A digestibilidade verdadeira da caseína (93 %) foi semelhante aos valores relatados na literatura (HERNÁNDEZ; GUERRA; RIVERO, 1999a; KASAOKA et al., 1999; MONTEIRO et al., 2003; OLIVEIRA et al., 2003; PAULA et al., 2004; PIRES et al., 2006).

Diante destes resultados, observa-se que o milho QPM e a fração GMC possuem proteína de boa qualidade. Recomenda-se o uso do milho QPM e da fração GMC livre de impurezas, como matérias-primas na indústria de alimentos para alimentação humana, uma vez que este cereal e esta fração não são comumente utilizados para esta finalidade. Ressalta-se que as características nutricionais e tecnológicas deste derivado do processamento do milho ampliam as opções de sua aplicação pelas indústrias moageiras, podendo assim agregar valor a esta matéria-prima. Neste sentido, devem ser realizadas pesquisas usando essa fração em alimentos processados, envolvendo estudos sobre sua aplicabilidade e a qualidade nutricional dos produtos gerados.

6 CONCLUSÕES

- O milho QPM avaliado apresentou bom rendimento na degerminação do grão, sendo compatível com os indicadores de produção industrial de milho. Porém, a eficácia do fracionamento do endosperma foi inferior à dos grãos de milhos dos híbridos comuns.
- O milho QPM constitui alimento rico em fibra alimentar e ferro e é fonte de proteína de boa qualidade nutricional, de lipídios e de zinco.
- A qualidade nutricional da proteína do milho QPM equivale aproximadamente a 80 % à qualidade da caseína e seu valor protéico é cerca de 25 % superior ao do milho comum analisado.
- A fração gérmen de milho comum é rica em fibras alimentares e é fonte de minerais e de proteína de boa qualidade nutricional, que é superior à do milho comum analisado.
- A fração gérmen de milho comum pode ser usada como matéria-prima com características nutricionais e funcionais de interesse para indústria de alimentos, sendo uma alternativa para melhorar a qualidade dos alimentos processados com este cereal e suas frações, destinados à alimentação humana.

REFERÊNCIAS

- ALONZO, N.; HIRS, C. H. W. Automation of sample application in amino acid analyzes. **Analytical Biochemistry**, Washington, v. 23, n.2, p. 272-288, 1968.
- AMAYA-GUERRA, C. A.; ALANIS-GUZMAN, M. G.; SERNA-SALDÍVAR, S. O. Effects of soybean fortification on protein quality of tortilla-based diets produced from regular quality protein maize. **Plant Foods for Human Nutrition**. Dordrecht, v. 59, n. 2. p. 45-50, 2004.
- ASCHERI, J. L. R.; GERMANI, R. **Protocolo de qualidade de milho**. Rio de Janeiro, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA Agroindústria de Alimentos, 2004. (Documento 59).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS MOAGEIRAS DE MILHO (ABIMILHO). **Manual de amostragem, métodos físico-químicos e microbiológicos para análise de produtos derivados de milho**. Apucarana, 2003.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). **Official methods of analysis**. 15th. ed. Arlington, 1990.
- AZEVEDO, R. A.; DAMERVAL, C.; LANDRY, J.; LEA, P. J.; BELLATO, C. M.; MEINHARDT, L. W.; GUILLOUX, M. L.; DELHAYE, S.; TORO, A. A.; GAZIOLA, S. A.; BERDEJO, B. D. A. Regulation of maize lysine metabolism and endosperm protein synthesis by opaque and floury mutations. **European Journal of Biochemistry**, Berlin, v. 270, n.5, p. 4898-4908, 2003.
- BABU, R.; NAIR, S. K.; KUMAR, A.; VENKATESH, J. C. S.; SING, N. N.; SRINIVASAN, G.; GUPTA, H. S. Two-generation marker-aided backcrossing for rapid conversion of normal maize lines to quality protein maize (QPM). **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 111, n. 5, p. 888-897, 2005.
- BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry Physiology**, Ottawa, v. 37, n. 8, p. 911-917, 1959.
- BOYER, C. D.; HANNAH, L. C. Kernel mutants of corn. In: HALLAUER, A. (Ed.). **Specialty corns**. 2. ed. Boca Raton: CRC, 2001. cap. 1, p. 1-32.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância Sanitária. **Portaria nº 27 de 13 de janeiro de 1998**. Aprova o regulamento técnico referente à informação nutricional complementar. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br>>. Acesso em: 8 jun. 2006.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento e da Secretaria de Desenvolvimento Rural. **Portaria nº 845 de 08 de novembro de 1976**. Aprova as especificações para a padronização, classificação e comercialização interna do milho. Disponível em: <<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/consultarLegislacao.do;jsessionid>>. Acesso em: 6 jun. 2007.
- BRITO, A. B.; STRINGHINI, J. H.; CRUZ, C. P.; XAVIER, S. A. G.; SILVA, L. A. F.; CAFÉ, M. B.; LEANDRO, N. S. M. Avaliação nutricional do grão integral de milho para aves. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 6, n. 1, p. 19-26, 2005a.

BRITO, A. B.; STRINGHINI, J. H.; BELEM, L. M.; XAVIER, S. A. G.; LEANDRO, N. S. M.; CAFÉ, M. B. Desempenho e qualidade dos ovos de poedeiras comerciais de 30 a 64 semanas de idade consumindo gérmen integral de milho. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, Maringá, v. 27, n. 1, p. 29-34, 2005b.

CALLEGARO, M. G. K.; DUTRA, C. B.; HUBER, L. S.; BECKER, L. V.; ROSA, C. S.; KUBOTA, E. H.; HECKTHEUR, L. H. Determinação de fibra alimentar insolúvel, solúvel e total de produtos derivados do milho. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 2, p. 271-274, 2005.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira – grãos**: oitavo levantamento de avaliação da safra 2007/2008 - maio 2008. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/9levsafra.pdf>>. Acesso em: 14 maio 2008.

CUPPARI, L. **Guia de nutrição**: nutrição clínica no adulto. 2. ed. Barueri: Manole, 2005. 474p.

DADO, R. G. Nutritional benefits of specialty corn grain hybrids in dairy diets. **Journal Animal Science**, Champaign, v. 77, n. 2, p. 197-207, 1999.

DIAZ, A. M. L. **Food quality and properties of quality protein maize**. 2003. 150 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Texas A & M, Monterrey, 2003.

DUARTE, A. P.; MASON, S. C.; JACKSON, D. S.; KIEHL, J. C. Grain quality maize genotypes as influenced by nitrogen level. **Crop Science Society of America**, Madison, v. 45, n. 5, p. 1958-1964, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Cultivo do milho**. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho/mercado.htm>>. Acesso em: 21 abr. 2007.

FERREIRA, A. C. B.; ARAÚJO, G. A. A.; PEREIRA, P. R. G.; CARDOSO, A. A. Características agronômicas e nutricionais do milho adubado com nitrogênio, molibdênio e zinco. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 1, p. 131-138, 2001.

FIGUEROLA, F.; HURTADO, M. L.; ESTÉVEZ, A. M.; CHIFFELLE, I.; ASENJO, F. Fibre concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fibre sources for food enrichment. **Food Chemistry**, Londres, v.91, n. 3, p.395-401, 2005.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Protein quality evaluation**. Rome, 1991. (Food and Nutrition Series, 51).

FOOD AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **El maiz em la nutrición humana**. Roma, 1993. 110 p. (Estudio de Alimentacion y Nutrición, 35/1).

FRIEDMAN, M. Nutritional value of proteins from different food sources: a review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 44, n. 1, p.6-29, 1996.

GIAMI, S. Y.; ACHINEWHU, S. C.; IBAAKEE, C. The quality and sensory attributes of cookies supplemented with fluted pumpkin (*Telfairia occidentalis* Hook) seed flour. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 40, n. 6, p. 613-620, 2005.

GIBBON, B.; LARKINS, B. A. Molecular genetic approaches to developing quality protein maize. **Trends in Genetics**, London, v. 21, n. 4, p. 227-233, 2005.

GLORIA, E. M.; CIACCO, C. F.; LOPES FILHO, J. F.; ERICSSON, C.; ZOCHI, S. S. Influence of low levels of grain defects on maize wet milling. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 55, n. 4, p. 359-365, 2002.

GONÇALVES, R. A.; SANTOS, J. P.; TOMÉ, P. H. F.; PEREIRA, R. G. F. A.; ASCHERI, J. L. R.; ABREU, C. M. P. Rendimento e composição química de cultivares de milho em moagem a seco e produção de grits. **Ciência Agrotecnológica**, Lavras, v. 27, n. 3, p. 643-650, 2003.

GRÅSTEN S.M.; PAJARI A.-M.; LIUKKONEN K.-H.; KARPPINEN S.; MYKKÄNEN H.M. Fibers with different solubility characteristics alter similarly the metabolic activity of intestinal microbiota in rats fed cereal brans and inulin. **Nutrition Research**, New York, v. 22, n. 12, p. 1435-44, 2002.

GUIMARÃES, P. E. O.; PACHECO, C. A. P.; PAES, M. C. D.; SANTOS, M. X.; PARENTONI, S. N.; GAMA, E. E. G.; MEIRELLES, W. F.; RIBEIRO, P. H. E.; MONTEIRO, M. A. R. **BR 473**: variedade de milho amarelo com qualidade protéica melhorada (QPM). Sete Lagoas: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA Milho e Sorgo, 2004. (Comunicado Técnico, 105).

GUPTA, H. O.; EGGUM, B. O. Processing of maize germ oil cake into edible food grade meal and evaluation of its protein quality. **Plant Foods for Human Nutrition**, Dordrecht, v. 52, n. 1, p. 1-8, 1998.

HERNANDEZ, B.D; GUERRA, M. J.; RIVERO, F. Efecto del fraccionamiento sobre las características del germen de maíz desgrasado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 19, n. 1, p. 107-112, 1999a.

HERNANDEZ, B.D; GUERRA, M. J.; RIVERO, F. Obtención y caracterización de harinas compuestas de endospermo-germen de maíz y su uso en la preparación de arepas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 19, n. 2, p.194-198 , 1999b.

HUANG, S.; FRIZZI, A.; FLORIDA, C. A.; KRUGER, D. E. High lysine and high tryptophan transgenic maize resulting from the reduction of 19- and 22-kD α -zeins. **Plant Molecular Biology**, Dordrecht, v. 61, n.3, p. 525-535, 2006

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed., Brasília: Ministério da Saúde, 2005, 1018 p. (Série A. Normas e Manuais Técnicos).

KASAOKA, S.; OH-HASHI, A.; MORITA, T.; KIRIYAMA, S. Nutritional characterization of millet protein concentrates produced by a heat-satable α -amylase digestion. **Nutrition Research**, New York, v. 19, n. 6, p. 899-910, 1999.

LEE, KYUNG-MIN.; HERRMAN, T. J.; ROONEY, L.; JACKSON, D. S.; LINGENFELSER, J.; RAUSCH, K. D.; MCKINNEY, J.; ITAMS, C.; BYRUM, L.; HURBURGH, C. R. Jr.; JHONSON, L. A.; FOX, S. R. Corroborative study on maize quality, dry-milling and wet-milling properties of selected maize hybrids. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 55, n. 26, p. 10751-10763, 2007.

LOPES, M. A. LARKINS, B. Endosperm: origin, development, and function. **The Plant Cell**, Rockville, v. 5, n. 10, p. 1383-1399, 1993.

LOZANO-ALEJO, N.; CARRILO, G. V.; PIXLEY, K.; PALCIOS-ROJAS, N. Physical proprieties and carotenoid contente of maize kernels and its nixtamalized snaks. **Innovative Food Science Emerging Technologies**, Oxford, v. 8, n. 3, p. 385-389, 2007.

LUCAS, B.; SOTELO, A. Effect of different alkalies, temperatures and hydrolysis times on tryptophan determination of pure proteins and of foods. **Journal of Analytical Biochemistry**, New York, v. 109, n. 1, p. 192-197, 1980.

MATINEZ-FLORES, H. E.; CHANG, Y. K.; MARTINEZ-BUSTOS, F.; SGARBIERI, V. Effect of hihg fiber products on blood lipids and lipoproteins in hamsters. **Nutrition Research**, New York, v. 24, n. 1, p. 85-93, 2004.

MESTRES, C.; LOUIS-ALEXANDRE, A.; MATENCIO, F.; LAHLOU, A. Dry-milling properties of maize. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 68, n. 1, p. 51-56, 1991.

MESTRES, C.; MATENCIO, F.; DRAMÉ, D. Small-scale production and storage quality of dry-milled degermed maize products for tropical countries. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 38, n. 2, p. 201-207, 2003.

MONTEIRO, M. R. P.; MOREIRA, M. A.; COSTA, N. M. B.; OLIVEIRA, M.G. A.; PIRES, C. V. Avaliação da digestibilidade protéica de genótipos de soja com ausência e presença do inibidor de tripsina kunitz e lipoxigenases. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 6, n. 1, p. 99-107, 2003.

MOORE, S.; SPACKMAN, D. H.; STEIN, W. H. Chromatografy of amino acids on sulfonated polystyrene resins. **Analytical Chemistry**, Washington, v. 30, n. 7, p. 1185-1190, 1958.

MORO, G. L.; LOPES, M. A.; HABBEN, J. E.; HAMKER, B.R.; LARKINS, B. A. Phenotypic effects of opaque2 modifier genes in normal maize endosperm. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 72, n. 1, p. 94-99, 1995.

NAVES, M. M. V.; SILVA, M. S.; CERQUEIRA, F. M.; PAES, M. C. D. Avaliação química e biológica do grão em cultivares de milho de alta qualidade protéica. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 34, n. 1, p. 1-8, 2004.

NAVES, M. M. V.; FERREIRA, C. C.; FREITAS, C. S.; SILVA, M. S. Avaliação da qualidade protéica de dois suplementos alimentares em ratos wistar. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 17, n. 1, p. 35-42, 2006.

NAVES, M. M. V.; CASTRO, M. V. L.; MENDONÇA, A. L.; SANTOS, G. G.; SILVA, M. S. Gérmen de milho com pericarpo: matéria-prima rica em fibras e de qualidade protéica. Submetido à revista **Nutrition Research**, New York, 2008.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Quality-protein maize**. Washington: National Academy, 1988. 100 p.

OLIVEIRA, A.C.; REIS, S. M. P. M.; CARVALHO, E. M.; PIMENTA, F. M. V.; RIOS, K. R.; PAIVA, K. C.; SOUSA, L. M.; ALMEIDA, M.; ARRUDA, S. F. Adições crescentes de ácido fítico à dieta não interferiram na digestibilidade da caseína e no ganho de peso em ratos. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 16, n. 2, p. 211-217, 2003.

OLIVEIRA, J. P. **Avaliação da qualidade nutricional no grão em populações de milho de alta qualidade protéica e seus cruzamentos**. 2003. 179 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2003.

OLIVEIRA, J. P.; CHAVES, L. J.; DUARTE, J. B.; BRASIL, E. M.; FERREIRA JUNIOR, L. T.; RIBEIRO, K. O. Teor de proteína no grão em populações de milho de alta qualidade protéica e seus cruzamentos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 34, n. 1, p. 45-51, 2004.

OLIVEIRA, J. P.; CHAVES, L. J.; DUARTE, J. B.; BRASIL, E. M.; RIBEIRO, K. O. Qualidade física do grão em populações de alta qualidade protéica e seus cruzamentos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 4, p. 233-241, 2007.

OLIVEIRA, P. R.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Processed and prepared corn products as sources of lutein and zeaxanthin: compositional variation in the food chain. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 72, n. 1, p. 79-85, 2007.

PAES, M. C. D.; BICUDO, M. H. Nutritional perspectives of quality protein maize. In: LARKINS, B. A; MERTZ, E. T. (Ed). **Quality protein maize: 1964-1994**. Purdue: Purdue University, 1994. p. 65-78.

PAES, M. C. D. **Aspectos físicos, químicos e tecnológicos do grão de milho**. Sete Lagoas, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA Milho e Sorgo, 2006. (Circular Técnica, 75).

PAN, Z.; ECKHOFF, S. R.; PAULSEN, M. R.; LITCHFIELD, J. B. Physical properties and dry-milling characteristics of six selected high-oil maize hybrids. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 73, n. 5, p. 517-520, 1996.

PAULA, H.; SANTOS, R. C.; SILVA, M. E.; GLORIA, E. C. S.; PEDROSA, M. L.; ALMEIDA, N. A. V.; COSTA, A. S. V.; MALAQUIAS, L. C. C. Biological evaluation of a nutritional supplement prepared with QPM maize cultivar BR 473 and other traditional food items. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 47, n. 2, p. 247-251, 2004.

PIRES, C. V; OLIVEIRA, M.G.; A; ROSA, J. C.; COSTA, N. M. B. Qualidade nutricional e escore químico de aminoácidos de diferentes fontes protéicas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 1, p.179-87, 2006.

PIXLEY, K. V.; BJARNASON, M. S. Stability of grain yield, endosperm modification, and protein quality of hybrid and open-pollinated quality protein maize (QPM) cultivars. **Crop Science**, Madison, v. 42, n. 6, p. 1882-1890, 2002.

POZZA, P. C.; POZZA, M. S. S.; RICHART, S.; OLIVEIRA, G. O.; GASPAROTTO, E. S.; SCHLICKMANN, F. Avaliação da moagem e granulometria do milho e consumo de energia no processamento em moinho martelos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 1, p. 235-238, 2005.

REEVES, P. G.; NIELSEM, F. H.; FAHEY JR., G. C. AIN-93 purified diets for laboratory rodents: final report of the American institute of Nutrition ad hoc Writing Committee on the formulation of the AIN-76A rodent diet. **Journal of Nutrition**, Philadelphia, v. 123, n. 11 I, p. 1939-1951, 1993.

RIDLEY, W. P.; SHILLITO, R. D.; COATS, I.; STEINER, H-Y.; SHAWGO, M.; PHILLIPS, A.; DUSSOLD, P.; KURTYKA, L. Development of the international life sciences institute crop composition database. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 17, n. 3, p. 423-438, 2004.

ROCHE. **The Roche yolk colour fan**: directions for use. Basel: F. Hoffman La Roche, 1987. (Folheto).

SGARBIERI, V. C. Propriedades nutricionais das proteínas. In: _____. **Proteínas em alimentos protéicos**: propriedades-degradação-modificações. São Paulo: Varela, 1996. cap. 4. p. 337-386.

SERNA-SALDIVAR, S. O.; GOMEZ, M. H.; ROONEY, L. W. Food uses of regular and specialty corns and their dry-milled fractions. In: HALLAUER, A R. (Ed.). **Specialty corns**. 2. ed. Boca Raton: CRC, 2001. cap. 11, p. 303-337.

SÈNE, M.; THÉVENOT, C.; HOFFMANN, D.; BÉNÉTRIX, F.; CAUSSE, M.; PRIOUL, J. - L. QTLs for grain dry milling properties, composition and vitreousness in maize recombinant inbred lines. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 102, n. 4 p. 591-599, 2001.

SHEWRY, P. R. Improving the protein content and composition of cereal grain. **Journal of Cereal Science**, London, v. 46, n. 3, p.239-50, 2007.

SHEWRY, P. R.; HALFORD, N. G. Cereal seed storage proteins: structures, properties and role in grain utilization. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 53, n. 370, p. 947-958, 2002.

SOUZA, J. C.; MAURO, A. K.; CARVALHO, H. A.; MONTEIRO, M. R. P.; MARTINO, H. S. D. Qualidade protéica de multimisturas distribuídas em Alfenas, Minas gerais, Brasil. **Revista de Nutrição**, Campinas, v.19, n.6, p.685-692, 2006.

TOSELLO, G. A. Milhos especiais e seu valor nutritivo. In: PARTERNIANI, E.; VIÉGAS, G. P. **Melhoramento e produção do milho**. Campinas: Fundação Cargill 1987. v. 2, p. 375-408.

VASAL, S. K. **Quality protein maize story**. Cidade do México: International Food Policy Research Institute (IFPRI), 1999. Disponível em: <[http://www.ifpri.org/ themes/grp06/papers/vasal.pdf](http://www.ifpri.org/themes/grp06/papers/vasal.pdf)>. Acesso em: 10 nov. 2006.

VASAL, S. K. High quality protein corn. In: HALLAUER, A. R. (Ed.). **Specialty corns**. 2. ed. Boca Raton: CRC, 2001. cap. 4, p. 85-129.

VELU, V.; NAGENDER, P.G.; PRABHAKARA RAO.; RAO, D. G. Dry milling characteristics of microwave dried maize grains. **Journal of Food Engineering**, Londres, v. 74, n. 1, p. 30-36, 2006.

WATSON, S. A; RAMSTED, P. E. (Ed.). **Corn: chemistry and technology**. 4. ed. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1999. 605 p.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Report of a Joint WHO/FAO/UNU Expert Consultation. **Protein and amino acid requirements in human nutrition**. Geneva: WHO, 2007. (WHO Technical Report Series, 935).

WU, Y. V.; BERGQUIST, R. R. Relation of corn density to yields of dry-milling products. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 68, n. 5, p. 542-544, 1991.

YUAN, J.; FLORES, R. A. Laboratory Dry-milling performance of white corn: effect of physical and chemical corn characteristics. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 73, n. 5, p. 574-578, 1996.

YOUNG, V. R.; PELLETT, P. L. Plant proteins in relation to human protein and amino acid nutrition. **American Journal of Clinical Nutrition**, New York, v. 59 (suppl.), p. 1203S-1212S, 1994.