

O Desenvolvimento de Milho de Alta Qualidade Nutricional no Brasil

Cleso Antônio Patto Pacheco, Paulo Evaristo de Oliveira Guimarães, Sidney Netto Parentoni, Maurício Antônio Lopes, Manoel Xavier dos Santos, Elto Eugênio Gomes e Gama, Maria José Vilaça Vasconcelos, Luiz André Correa e Walter Fernandes Meirelles

Introdução

A produção anual de milho no Brasil está em torno de 36 milhões de toneladas de grãos, que fornecem cerca de 2,9 milhões de toneladas de proteínas. Entretanto, essas proteínas são de baixo valor biológico, por apresentarem baixos teores de lisina e triptofano, dois aminoácidos essenciais.

O grão de milho possui de 8 a 9% de proteínas, distribuídas no endosperma (cerca de 80%) e no embrião (cerca de 20%). A forma de proteína predominante no embrião é a de não-zeínas (60% de albumina), proteínas estruturais de alto valor biológico enquanto que no endosperma predominam as zeínas (60% de prolamina) proteína de reserva que tem baixo valor biológico devido ao desequilíbrio de aminoácidos essenciais provocado pelo alto teor de leucina e pela deficiência de lisina e triptofano.

Há muito se sabe que o milho é pobre em lisina e triptofano. Em 1941 a Secretaria da Agricultura de São Paulo editou um boletim sobre a utilização do milho na dieta humana e recomenda a associação do milho com o leite como forma de melhorar a nutrição. Os teores de lisina e triptofano são tão baixos que eram difíceis de serem detectados naquela época (Tabela 1).

Em 1964, Mertz, Bates e Nelson, pesquisadores da Universidade de Purdue, nos Estados Unidos, descobriram que um mutante de milho, opaco 2, apresentava grãos com 50% mais lisina e triptofano, aumentando o valor biológico da proteína do milho de cerca de 60% para 90% da proteína do leite. Contudo, apesar de inúmeros trabalhos comprovando o maior valor nutricional deste mutante na alimentação humana e de animais monogástricos, as cultivares de milho opaco 2 não foram aceitas pelos agricultores por serem mais leves, apresentarem menor produtividade, terem grãos com textura farinácea, mais suscetíveis às pragas e fungos dos grãos armazenados e de secagem mais lenta que as cultivares normais (Mertz, 1994).

Apesar da complexidade do problema e de o mundo todo ter desistido do milho opaco, o Centro Internacional de Melhoramento de Milho e Trigo, CIMMYT, localizado no México, continuou as pesquisas e com um programa de melhoramento genético de 13 anos, liderado pelo Dr. Surinder K. Vasal, conseguiu superar os problemas associados ao opaco 2 por meio da introdução de genes modificadores de endosperma e seleção contínua para grãos vítreos e maior densidade (Vasal et alii, 1980), graças a uma técnica de análise química desenvolvida pela Dra. Evangelina Villegas, que permitia tirar a amostra de uma única semente sem prejudicar sua capacidade de germinar (Villegas et alii, 1984). Foram desenvolvidas variedades de milho denominadas "Quality Protein Maize" - QPM (Brown et alii, 1988), que reúnem as boas qualidades dos grãos vítreos e de maior densidade do milho

comum com a qualidade protéica dos grãos do milho opaco ou seja, alta produtividade com proteína de maior valor biológico.

As linhagens e populações convertidas a QPM mais recentemente pelo CIMMYT, praticamente não podem ser distinguidas das versões normais pelo aspecto dos grãos, embora tenham cariopse levemente menores. Os teores de lisina e triptofano, ligeiramente mais baixos do que nas versões opacas são até 50% mais elevados que nas versões normais (Serna Saldívar e Rooney, 1994)

O aumento dos teores de lisina e triptofano nos QPM é explicado pela redução da fração zeína e pelo aumento da fração não-zeína das proteínas do endosperma.

Desenvolvimento de variedades

Em 1984, a Embrapa iniciou o desenvolvimento de cultivares de milho QPM para as condições brasileiras. Foram introduzidas 23 populações do CIMMYT-México, sendo 14 amarelas e 9 brancas. As populações foram avaliadas em 6 locais, do nordeste ao sul do Brasil. As populações brancas se mostraram superiores às amarelas, tanto em produtividade quanto em qualidade. Destacou-se a variedade CMS 451 (pop. 64 -Blanco dentado 2 QPM - Tropical) (Magnavaca et ali, 1991). Além dessa população branca, foram selecionadas as 4 melhores populações amarelas (Tabela 2)

No programa de melhoramento de milho QPM, como no de milho comum, são utilizadas metodologias de seleção intra-populacional (principalmente seleção massal estratificada e entre e dentro de progênies de meios irmãos) e, principalmente nessa última década, de seleção inter-populacional, dando-se preferência a avaliação de topcrosses de progênies endogâmicas S2 com um testador de base estreita.

Os materiais mais trabalhados até o momento são as cinco populações do CIMMYT apresentadas na Tabela 2, dois sintéticos amarelos (CMS 52 e CMS 473) e três novas populações com 25% de genótipos normais, cuja descrições podem ser vistas em Guimarães (1994a). As novas populações foram obtidas pelo cruzamento de 3 populações elites do CIMMYT com 3 populações elites comuns do CNPMS, com os quais foram obtidos, em seguida os primeiros retrocruzamentos nos quais a populações QPM foram utilizadas como machos, e na geração seguinte foram obtidas as gerações F2's dos RC1's, nas quais foram selecionadas as sementes mais vítreas (Guimarães et ali, 1994b). Seguindo esse procedimento as populações normais BR 106, CMS 14c e Illinois High Protein, foram introgrididas respectivamente nas populações QPM CMS 454, CMS 455 e CMS 52, originando as populações CMS 474, CMS 455c e CMS 475.

Em 1988, após três ciclos de seleção massal e um de seleção entre e dentro de progênies de meios irmãos a CMS 451 foi lançada com o nome de BR 451, a primeira variedade QPM no Brasil. A escolha da CMS 451 para melhoramento e lançamento, de acordo com Peixoto et ali (1990) foi feita com base na sua alta produtividade e boas características agrônômicas associadas a alta qualidade protéica de seus grãos que, quando moídos, apresentam um alto rendimento de fubá de excelente qualidade e granulometria, para ser utilizado na fabricação de pães e massas. Estudos feitos pelo CTAA mostraram que uma maior proporção de farinha da BR 451 pode ser usada em mistura com farinha de trigo sem alterar as propriedades organolépticas dos produtos (Tabela 3).

Em 1994, foi lançada no mercado uma nova variedade, BR 473, tão produtiva quanto as variedades precoces comuns e cultivada com as mesmas técnicas que os agricultores já estão acostumados a utilizar. Seus grãos amarelos possuem cerca de 50% a mais de lisina e triptofano e fornecem alimentos e rações com aparência e sabor similares ao milho comum. Na safra de 1995/96, cerca de 2.000 famílias, distribuídas em 15 assentamentos rurais, tiveram a oportunidade de plantar e utilizar os grãos dessa variedade. Em Minas Gerais, a EMATER avaliou o desempenho desse material em mais de 100 municípios. Na safra 96/97, a BR 473 ocupou cerca de onze mil hectares de área de plantio (ABRASEM, 1999).

Dados obtidos no segundo ciclo de seleção entre e dentro de progênies de meios irmãos (Tabela 4), mostram o potencial produtivo dessa variedade em relação à BR 106, que na safra de 1996/97 foi a cultivar que ocupou a maior área cultivada no Brasil com 700.000 ha. Observa-se que pela média das progênies selecionadas a BR 473 apresentou características agrônômicas semelhantes às da BR 106, superando essa última quanto a sanidade das espigas. Na região centro (Sete Lagoas) a BR 473 ainda é menos produtiva que a BR 106 mas na região sul (Ponta Grossa) até mesmo a média de todas as 196 progênies foi superior à média da BR 106. As melhores progênies foram recombinadas e obtidas novas progênies de meios irmãos dentro das quais serão extraídas S2 para avaliação em topcross.

Grãos produzidos nas mesmas condições ambientais das variedades BR 451 e BR 473 e do híbrido duplo BR 201, apresentaram teores similares de proteína e revelaram a superioridade da qualidade protéica das variedades QPM com teores de lisina e triptofano quase 50% mais elevados (Tabela 5).

Utilização na alimentação de animais

Quando comparados por meio de ensaios biológicos com ratos, Paes e Bicudo (1994), relataram que a qualidade protéica dos grãos das variedades BR 451 e BR 473 corresponde, respectivamente, a 86,3% e 85% da caseína (Tabela 6). Chama a atenção o teor de gordura corporal cerca de 20% mais elevado nos animais com dietas baseadas em grãos das variedades QPM. De acordo com os autores, a substituição de milho normal por QPM pode contribuir para reduzir a prevalência da desnutrição e da pelagra em populações onde o milho é um importante componente da dieta.

O maior valor biológico da proteína de milho QPM é melhor aproveitado pelos organismos de animais monogástricos como suínos, aves, peixes e equídeos. Entretanto, o efeito da utilização de milho QPM dependerá do tipo do animal, fase de desenvolvimento e qualidade da ração fornecida. Pesquisas preliminares conduzidas pela Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais revelaram ganhos de 41% e 44%, respectivamente, para suínos da raça Piau nas fases inicial e de crescimento, alimentados com milho QPM em rações sem suplemento protéico.

No caso de criações mais tecnificadas, que fornecem rações balanceadas, o ganho na utilização de milho QPM será na economia de uso de concentrado protéico, o que implicará na redução do custo das rações, possibilitando a oferta de carne mais barata para os consumidores. Estudos de

impacto econômico de QPM no Brasil, efetuados por um pesquisador mexicano, estimaram que há a possibilidade do uso de QPM reduzir os custos das rações na ordem de 4-5% para suínos e 3-4% para aves.

Foi avaliado o desempenho de dietas calculadas para atender as exigências de proteína, energia, Ca, P e com o mesmo nível de N suplementado com aminoácidos cristalinos, para comparar o desempenho de uma cultivar de milho QPM com uma normal (Tabela 7), no crescimento e terminação de suínos da raça Landrace x Large White x Pietrain. Bellaver e Lima (1998) observaram que, nas duas fases, o desempenho dos animais foi semelhante. A vantagem do QPM foi o menor custo da dieta. Esses autores relataram que a vantagem do QPM não se restringiu aos maiores teores de lisina e triptofano, mas se deveu fortemente à maior energia metabolizável associada a uma maior digestibilidade da energia metabolizável, como indicado pelo menor teor de Fibra em Detergente Neutro (FDN). Outro fator que contribuiu para baixar o custo e aumentar a energia metabolizável foi a ligeira superioridade da cultivar QPM quanto ao teor de óleo. Como ponto negativo, esses autores destacaram o baixo teor de proteína bruta da amostra de milho QPM utilizada. Mesmo assim, em simulações de ração de mínimo custo, com base na composição dos milhos apresentada na Tabela 7, fixando a exigência protéica e deixando livre os aminoácidos, o custo do quilograma de ração foi 1,01% mais barato com o milho QPM nas rações de menor densidade energética (3200 kcal). Aumentando a energia para 3400 kcal aumenta a vantagem do QPM com redução de 1.08% no custo do kg de ração.

Com a gradual participação e aumento na oferta de sementes e conseqüente produção de grãos de milho de alta qualidade protéica, há uma grande probabilidade da sociedade - através de empresas produtoras de sementes, universidades, cooperativas, prefeituras, indústrias de rações e alimentos, sistemas integrados de produção de suínos e aves, produtores rurais, consumidores, programas de combate a desnutrição, etc - vir a investir mais na sua utilização e se beneficiar de suas vantagens nutricionais.

Desenvolvimento de híbridos

As populações introduzidas do CIMMYT serviram de base para o melhoramento de populações e para a extração de linhagens para o programa de obtenção de híbridos. Nesse sentido, a primeira iniciativa foi a obtenção de híbridos de famílias de irmãos completos das 14 populações amarelas (Magnavaca et alii, 1991). Ao mesmo tempo em que os híbridos de famílias eram avaliados em 1985/86 foram obtidas 1500 progênies S1 das 23 populações introduzidas (Peixoto et alii, 1990). Em 1988/89, foi avaliado o primeiro topcross, com 151 progênies S3, tendo como testador o melhor híbrido de famílias de irmãos germanos (Parentoni et alii, 1992). Desse topcross foram selecionadas as melhores 14 progênies S3 que participaram de um dialelo, que foi avaliado 1989/90 e 1990/91. Baseado nesse dialelo, foram selecionados dois novos testadores, um de cada grupo heterótico e previstos os primeiros híbridos duplos e triplos, que foram avaliados em 1991/92. Nesses ensaios observou-se que alguns híbridos foram competitivos com híbridos normais quanto a produtividade e outras características agrônomicas mas a sua maior desuniformidade de grãos quanto à vitreosidade

evidenciou que maior pressão de seleção deveria ser aplicada para os modificadores de endosperma na obtenção das linhagens (Guimarães et al, 1994c).

Linhagens do CIMMYT foram introduzidas no programa em 1991, com diferentes graus de endogamia, variando desde S2 até CML's, brancas e amarelas. Na safra 1992/93 foram avaliados os primeiros híbridos duplos em cuja composição participaram algumas das linhagens introduzidas do CIMMYT. Destacou o 92HD1QPM por sua competitividade com os três híbridos duplos da Embrapa Milho e Sorgo, BR 201, BR 205 e BR 206. Nos anos subsequentes (Tabela 8) o 92HD1 apresentou boa estabilidade de produção de modo que foi lançado em 1997 com o nome de BR 2121. Em condições de experimentos tem produção equivalente a dos melhores híbridos duplos comerciais. Na Tabela 9 é comparado com o BR 201, que foi um dos híbridos duplos mais plantados no Brasil, com previsão de ocupação de cerca de 400 mil hectares na safra 1997/98.

Os dados apresentados na Tabela 10 mostram que o teor de proteína do milho, seja ele comum ou QPM, pode variar com o ambiente em que a lavoura é conduzida, da mesma maneira que ocorre com a produção de grãos. Isso porque para a planta sintetizar proteína precisa absorver nitrogênio do solo. Desse modo, fatores como baixo teor de nitrogênio no solo, competição com ervas daninhas, déficit hídrico bem como outros fatores que venham afetar a absorção desse elemento afetarão também o teor de proteína nos grãos.

Dados experimentais mostram o teor de proteína nos grãos do BR 2121 variando de 7,43 a 10,90%. Os teores de lisina e triptofano também variaram, não de forma linear, mas com uma tendência de serem mais elevados em níveis intermediários de proteína (Tabela 11). Uma possível explicação para isso é que estes aminoácidos estão localizados na fração não-zeína das proteínas do endosperma menos influenciadas por estresses de umidade e de nitrogênio que as zeínas, que são proteínas de reserva (Tsai, 1983). Desse modo, a fração de proteína mais afetada pelo ambiente é aquela mais pobre nesses dois aminoácidos resultando em maior equilíbrio da qualidade do que da quantidade de proteína.

Um excelente trabalho de avaliação e comparação de cultivares QPM e normais de milho foi feito por Paschoalick (1998) que, comparando algumas importantes características agronômicas e componentes da produção da BR 473 e do BR 2121 com o BR 205, reiterou a superioridade das cultivares QPM quanto aos teores de lisina e triptofano e óleo (Tabela 12). Por outro lado, alguns dos resultados obtidos por esse autor, mais do que mostrar alguns problemas dos materiais indicam pontos importantes a serem considerados pelos programas de melhoramento de milho QPM (Tabela 13). Assim, é preciso aumentar a pressão de seleção contra acamamento e quebramento que estão associados ao colmo mais fino e às espigas mais altas dos QPM. Embora os QPM's tendam a apresentar maior densidade dos grãos (BR 473) também apresentaram tendência a menor massa de mil grãos (BR 2121), o que pode ser explicado pelo fato de terem apresentado grãos significativamente mais estreitos e, sobretudo, mais curtos que a cultivar normal, ou seja, os QPM tem espigas mais finas e sabugos mais grossos o que se vem a ser um fator complicador para os programas em que a produtividade é estimada pela produção de espigas. As indicações desse e de outros trabalhos levantam dúvidas quanto ao teor de proteína bruta dos QPM, de modo que, em futuras seleções para conteú-

dos de lisina e triptofano mais elevados se não for possível selecionar também para elevar os teores de proteína bruta deve-se tomar cuidados para que esses teores não sejam reduzidos.

Nos últimos anos se enfatizou a obtenção e avaliação de híbridos triplos para atender a uma faixa mais tecnicada de produtores. Pode-se ver na Tabela 14 que já se dispõe de alguns híbridos triplos QPM competitivos com o mesmo tipo de híbrido de milho comum disponível no mercado, principalmente na região sul onde predomina o clima subtropical. Pode-se ver na Tabela 15 o grande potencial produtivo de alguns híbridos triplos e simples em Ponta Grossa onde também são maiores os problemas com acamamento e espigas doentes.

Sabe-se que uma das maneiras de se melhorar a eficiência do programa de melhoramento é a discriminação dos materiais em grupos heteróticos. Num dialelo entre as 5 populações QPM amarelas, avaliado em 1991/92, não foram observados efeitos significativos para a capacidade específica de combinação para peso de espiga indicando a necessidade de desenvolver variedades sintéticas para serem utilizadas como fonte de linhagens (Guimarães et alii, 1994a).

Em 1997/98 foi avaliado um dialelo entre 7 linhagens elites QPM cujos resultados para as principais características agrônômicas se encontram na Tabela 16. A linhagem 5 apresentou a maior capacidade geral de combinação (CGC) para peso de espigas além de ter contribuído para a redução do porte, da % de plantas quebradas e da % de espigas doentes, sendo escolhida como a melhor linhagem do grupo heterótico A ou dentado, apesar de não ter sido uma das melhores para % de acamamento.

Os dados com as melhores capacidades específicas de combinação (CEC), agrupados em ordem decrescente de CEC para peso de espigas (Tabela 17) permitiram escolher a linhagem 6 como melhor par para a linhagem 5 e representante do grupo heterótico B ou duro. A linhagem 6 apresenta como principal defeito uma elevada CGC para porte de planta. A apresentação de menor CGC para é indicativo de que tem menor frequência de alelos favoráveis para peso de espigas do que a linhagem 5, e deve por isso ser preferida para utilização como primeiro testador em topcrosses de linhagens.

Ao mesmo tempo em que era avaliado o dialelo de linhagens a linhagem 5 ou A era utilizada como testador de um grupo de progênies S2 da CMS 52, cujos resultados médios se encontram na Tabela 18. Na avaliação fenotípica desse topcross foram selecionados os 20 melhores híbridos (A x S2). Segundo Jenkins um híbrido triplo pode ser previsto pela seguinte expressão $HT (A \times C) \times B = (A \times B) + (C \times B) / 2$. Como nessa expressão o HS (A x B) já é conhecido, é maior a probabilidade de selecionar um HT promissor. Desse modo foram obtidos os cruzamentos (A x S2) x B ou linhagem 6.

Os resultados dessa avaliação precoce de HT se encontram na Tabela 19. Destacou-se o híbrido 52HT03, resultante do cruzamento (A x G1-93 S2) x B, como o mais produtivo, competitivo com a testemunhas QPM e normais como o P3041, e o mais equilibrado quanto as demais características agrônômicas. Ao mesmo tempo está sendo feito o avanço da endogamia das 20 melhores linhagens com base na avaliação fenotípica acrescidas das selecionadas posteriormente com base nos dados completos dos ensaios de avaliação. As 20 melhores S4 serão recombinadas para obtenção da CMS 52 melhorada.

De 1992/93 para cá, estabeleceu-se uma rede de avaliação de cultivares de milho QPM, representativa das regiões Centro-Oeste e Sul do país. Os materiais são avaliados em pelo menos seis localidades na região Centro-Oeste (Sete Lagoas: em solos férteis e de cerrado, Goiânia, Goianésia, Rondonópolis e Londrina) e em cinco na região Sul (Ponta Grossa, Passo Fundo, Chapecó, Xanxerê e Cascavel). Com base nos resultados da safra 1997/98 foram colocados em pré-lançamento os híbridos: 96HT91QPM, 97HT129QPM para a região Sul e o 97HT131QPM para as regiões sudeste e centro. Em 1998/99 a rede preliminar QPM contou com 16 pontos. Os resultados médios, mostrando o desempenho dos híbridos em pré-lançamento, podem ser vistos nas Tabelas 20 e 21. Observa-se o grande potencial do 52HT03, incluído precocemente nesse ensaio em função do potencial do HS que o compõe.

Finalmente, é necessário acrescentar que, com o objetivo de aumentar a variabilidade genética do programa, a partir da safra 1998/99 estão sendo incrementados os trabalhos de conversão de germoplasma elite normal do programa de melhoramento da Embrapa Milho e Sorgo em QPM. Estão sendo convertidas principalmente linhagens, com as quais poderão ser obtidas versões QPM dos híbridos e sintéticos. A metodologia que está sendo usada difere da utilizada originalmente pelo CIMMYT. Consiste basicamente, segundo Guimarães e Lopes (1996), na obtenção da geração F1 entre um progenitor QPM e um progenitor recorrente (PR) normal (fase 1), seguida da obtenção simultânea da geração F2 e do RC1 (fase 2) e, posteriormente, da obtenção do retrocruzamento modificado 1 (RCM1) e do RC2, por meio do cruzamento de uma planta RC1 (macho) com plantas da geração F2 e do PR (fase 3). As outras fases são semelhantes à fase 3, substituindo-se a geração F2 pelo MRC1 e RC1 pelo RC2 e assim sucessivamente.

Referências bibliográficas

- A produção de sementes no Brasil. MA/Embrapa Sementes Básicas/ABRASEM, 1999. Relatório da safra: 1996/1997.
- Bellaver, C. e Lima, G.J.M.M. (1998). Milhos de qualidade superior na alimentação de suínos. In: Embrapa-CPAO, Anais do workshop sobre Qualidade do Milho, 1997. Embrapa-CPAO, Dourados, MS, Documentos, 23.78p. 1998.
- National Reserch Council. (Washington, DC) Quality protein maize. Washington: National Academy, 1988. 100p.
- Guimarães, P.E.O.; Lopes, M.A.; Gama, E.E.G.; Santos, M.X.; Parentoni, S.N.; Paes, M.C.D.; Vieira Jr. P.A.; Silva, A.E.; Paiva, E.; Corrêa, L.A. and Pacheco, C.A.P. (1994a). Quality Protein Maize improvement at the National Maize and Sorghum Research Center - CNPMS/EMBRAPA/BRAZIL - In: B.A. Larkins and E.T. Mertz, (eds). Quality protein maize: 1964-1994. Purdue University Press - USA. pp. 185-203.
- Guimarães, P.E.O.; Santos, M.X.; Silva, A.E. (1994b). Metodologia prática e rápida de obtenção de novas populações QPM com 25% de genótipos normais elites. Relat. Tec. Anu. CNPMS 1992/93. p. 222-3.
- Guimarães, P.E.O.; Parentoni, S.N.; Pacheco, C.A.P.; Santos, M.X.; Gama, E.E.G.; Silva, A.E.; Magnavaca, R.; Vasconcellos, M.J.V.; Fernandes F.T. (1994c). Híbridos experimentais QPM: estabilidade de modificadores e outras características de interesse agrônomo. Relat. Tec. Anu. CNPMS 1992/93. p. 221-2.
- Guimarães, P.E.O. e Lopes, M.A. Conversão de genótipos de milho de endosperma normal para QPM. (1996). Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 21. Londrina, Resumos. Londrina: IAPAR, 1996. pp. 29.

- Magnavaca, R., Parentoni, S.N., Lopes, M.A., Gama, E.E.G. e Winkler, E.I. (1991b). Híbridos de famílias de irmãos-germanos obtidos de populações de alta qualidade protéica (QPM). *Relat. Tec. Anu. CNPMS 1985/87*. p. 36.
- Magnavaca, R., Paiva, E., Winkler, E.I., Carvalho, E.W.L., Silva Filho, M.C. e Peixoto, M.J.V.V.D. (1991a). Avaliação de populações de milho de alta qualidade protéica (QPM). *Relat. Tec. Anu. CNPMS 1985/87*. p. 34-6.
- Mertz, E.T. (1994). Thirty years of opaque-2 maize. - In: B.A. Larkins and E.T. Mertz, (eds). *Quality protein maize: 1964-1994*. Purdue University Press - USA. pp. 1-9.
- Paes, M.C.D. e Bicudo, M.H. (1994). Nutritional perspectives of quality protein maize. - In: B.A. Larkins and E.T. Mertz, (eds). *Quality protein maize: 1964-1994*. Purdue University Press - USA. pp. 65-78.
- Parentoni, S.N.; Magnavaca, R.; Pacheco, C.A.P.; Vasconcelos, M.J.V.; Gama, E.E.G.; Guimarães, P.E.O. (1992). Avaliação em top cross de linhagens amarelas de alta qualidade protéica (QPM). *Relat. Tec. Anu. CNPMS 1988-1991*. Sete Lagoas, EMBRAPA-CNPMS, p.169.
- Paschoalick, H.N.S.(1998). Efeito da época de aplicação do nitrogênio na produção, teor de óleo e na qualidade protéica de cultivares de milho (*Zea mays* L.) normal e QPM. Jaboticabal, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Tese de mestrado. 107p.
- Peixoto, M.J.V.; Parentoni, S.N.; Gama, E.E.G.; Magnavaca, R.; Paiva, E.; Rego, M.M. (1990). Perspectiva de utilização de milho de alta qualidade proteica no Brasil. *Inf. Agropec.* 14:23-24.
- Serna Saldívar, S.O. e Rooney, L.W. (1994). Quality protein maize processing and perspectives for industrial utilization. - In: B.A. Larkins and E.T. Mertz, (eds). *Quality protein maize: 1964-1994*. Purdue University Press - USA. pp. 89-120.
- Tsai, C.Y. (1983). Genetic of storage proteins in maize. *Plant Breeding Reviews*, Westport, v.1, p.103-38.
- Vasal, S.K., Villegas, E., Bjarnason, M., Gelaw, B., and Goertz, P. (1980). Genetic modifiers and breeding strategies in developing hard endosperm opaque-2 materials. In *Improvement of Quality Traits of Maize for Grain and Silage Use*, W.G., Pollmer and R.H., Phillips, eds (London, UK: Martinus Nijhoff), p.p. 37-73.
- Villegas, E.; Ortega, E.; Bauer, R. (1984). Chemical methods used at CIMMYT for determining protein quality in cereal grains. CIMMYT, Mexico, D.F.

Tabela 1. Comparação dos teores de aminoácidos na proteína de milho em relação à proteína do leite em análises realizadas em 1941.

Amino-Ácidos	Milho(Zeima)	Leite	
		(Lactalbumina)	(Caseína)
Triptofano	0	2,69%	2,20%
Lisina	0	9,16%	5,25%
Cistina	0,85%	4,08%	0,26%
Histidina	1,25%	2,06%	2,63%
Arginina	1,35%	3,23%	3,81%
Tirosina	3,66%	-	4,5%
Ácido glutâmico	26,17%	-	10,77%

Fonte: Boletim da Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo, 1941

Tabela 2. Melhores 5 populações de milho QPM entre as 23 introduzidas do CIMMYT em 1984, em comparação com a variedade normal BR 105.

CNPMS	CIMMYT	Prod.1	Lis	Tri
CMS 451	Pop. 64	6510	3.62	0.80
CMS 453	Pop. 65	6110	2.44	0.51
CMS 454	Pop. 66	6117	2.97	0.64
CMS 455	Pop. 67	5651	3.05	0.66
CMS 456	Pop. 68	5851	3.13	0.68
BR 105	Suwan 1	6247	2.80	0.60

1- Média de 6 locais em Kg/ha

Fonte: Magnavaca et ali, 1991

Tabela 3 - Percentuais possíveis de mistura de farinhas da cultivar BR-451 e de uma cultivar de milho amarelo com farinha de trigo na obtenção de produtos panificáveis.

Produto	Milho comum (%)	BR-451 (%)
Bolos e biscoitos	20	30-35
Massa alimentícias e Cream - Cracker	20	25-30
Pão francês	15	20
Macarrão	10	20

Tabela 4. Algumas características agrônômicas do segundo ciclo de seleção entre e dentro de progênes de meios irmãos da BR 473 selecionada em duas condições de ambiente em 1997/98.

Progênes	AP	AC	QU	ED	PESP (kg/ha)		
					S.L -MG	PG -PR	Média
Méd. Sel.	cm	%	%	%	7995	10039	9017
Méd. Ger	231	16.68	9.71	5.41	6802	8969	7886
BR -106	224	25.03	12.88	8.24	9157	8453	8805
	218	18.35	11.80	11.02			

Tabela 5. Avaliação de duas cultivares de milho QPM e uma normal quanto aos teores de proteína e de lisina e triptofano em bloco ao acaso com seis repetições.

Cultivar	Prot./grão (%)	Tri./prot. (%)	Lis./prot. (%)	Tri./grão (%)	Lis./grão (%)
BR 473	10.08	0.81	3.66	0.09	0.40
BR 451	10.08	0.87	3.91	0.09	0.42
BR 201	10.06	0.56	2.63	0.06	0.28
LSD	1.10	0.06	0.25	0.01	0.04

Tabela 6 - Qualidade protéica de cultivares de milho QPM. BR 451 e BR 473, e de milho comum, BR 201, determinada em ensaio biológico com ratos.

	Fonte de proteína			
	Caseína	BR 451	BR 473	BR 201
Alimento consumido (g)	107,2	107,3	111,1	78,4
Peso inicial (g)	68,4	68,4	68,7	68,5
Ganho de peso (g)	19,4	19,3	21,3	4,9
Gordura corporal base seca (g)	30,9	37,7	37,4	29,9
Qualidade relativa da proteína	100,0	86,3	85,0	65,6

Fonte: adaptado de Paes & Bicudo (1994)

Tabela 7. Comparação percentual de duas variedades de milho utilizadas na formulação de ração para crescimento e terminação de suínos.

	QPM	Comum	Diferença
Matéria Seca	88.30	87.33	0.97
Proteína Bruta	7.71	9.67	-1.96
Extrato etéreo	4.45	4.18	0.27
Energia metabolizável, kcal	3565.00	3361.00	204.00
Fibra bruta	2.54	3.21	-0.67
FDN	16.86	34.67	-17.81
Lisina	0.33	0.23	0.10
Triptofano	0.07	0.06	0.01

Adaptado de Belaver e Lima, 1998

Tabela 8. Produtividade e outras características agrônômicas de híbridos milho de alta qualidade protéica em relação a testemunhas comuns.

Híbrido	P.E. t/ha	Acam. (%)	E.D. (%)	Grãos		
				Dens. (g/cm ³)	Lis. (%)	óleo (%)
QPM						
BR 2121	7.9	18	10	1.23	0.38	4.5
93HD3	7.5	22	8	1.27	0.37	4.2
93HD1	7.4	26	7	1.19	0.36	4.5
93HD12	7.2	26	11	1.22	0.36	4.4
NORMAL						
BR 201	6.8	34	10	1.25	0.21	3.4
BR 205	6.7	20	9	1.22	0.25	3.9
BR 206	7.5	22	8	1.22	0.24	3.3
AG 122	8.0	18	13	1.25	0.24	3.9
C 435	9.1	11	9	1.28	0.25	3.2
G 600	7.7	20	15	1.24	0.23	4.0
LSD 0.05	1.7	8	5			

Tabela 9 - Comparação entre o híbridos duplos BR 2121 (QPM) e BR 201 (comum) para peso de espigas (t/ha)

Ano	Numero de locais	BR 201	BR 2121
93	6	8,7	9,8
94	8	6,8	7,9
94	18	7,4	7,6
95	4	6,0	5,7
95	7	5,2	4,8
95	13	7,1	7,3
95	29	8,2	8,0
Média geral	85	7,4	7,6

Tabela 10 - Comparação da porcentagem de proteína e lisina no grão, entre o BR 2121 QPM e o BR 201 comum produzidos nas mesmas condições ambientais.

Híbrido	Ambiente				média
	1	2	3	4	
			Proteína		
BR 2121	10,24	10,71	8,7	10,9	10,14
BR 201	10,36	9,86	8,6	10,4	9,81
			Lisina		
BR 2121	0,45	0,38	0,38	0,35	0,39
BR 201	0,27	0,21	0,25	0,26	0,25

Tabela 11. Características de qualidade de grãos do BR 2121 versus ambientes.

Ambiente.	Proteína. %	Triptofano %no grão	Lisina % no grão
1	7.43	0.09	0.39
2	7.49	0.08	0.36
3	7.87	0.09	0.38
4	8.51	0.08	0.34
5	8.55	0.09	0.38
6	8.77	0.10	0.43
7	9.39	0.08	0.36
8	10.24	0.10	0.45
9	10.71	0.09	0.38
10	10.90	0.08	0.35
Média	8.99	0.09	0.38

Tabela 12. Comparação de parâmetros de qualidade entre cultivares de milho normal e de alta qualidade protéica (QPM).

	BR 473		BR 2121		BR 205	
PB (%)	8.14	B	7.7	C	8.08	B
Triptofano	0.09	A	0.09	A	0.06	B
Lisina	0.39	A	0.38	A	0.28	B
Densidade	1.264	A	1.250	B	1.251	B
Óleo	4.8	A	5.1	A	3.6	B
Óleo/ha	274.7	AB	297.3	A	216.5	C
PB/ha	469.7	CD	451.3	D	485.5	C
Trip./ha	5.1	A	5.1	A	3.6	C
Lis./ha	22.4	A	22.5	A	16.6	C

Fonte: Paschoalick (1998)

Tabela 13. Comparação características agrônômicas e de componentes de produção entre cultivares de milho normal e de alta qualidade protéica (QPM).

	BR 473		BR 2121		BR 205	
Produção (kg/ha)	5767	B	5859	B	6003	B
Espessura colmo	1.89	B	1.83	B	2.02	A
Acam.+ Quebr	6.5	A	7.5	A	2.6	B
Altura da espiga	118	A	120	A	108	B
Massa de mil grãos	261	B	248	C	264	B
Largura dos grãos	0.89	D	0.91	CD	0.97	B
Comp. dos grãos	0.86	C	0.82	D	1.00	A
Número de fileiras	15.03	B	14.61	C	14.49	CD
Diâmetro da espiga	4.28	C	4.24	C	4.45	B
Diâmetro do sabugo.	2.56	C	2.59	BC	2.46	D

Fonte: Paschoalick (1998)

Tabela 14. Resultados médios do Ensaio de Híbridos Experimentais do CNPMS para a região Sul, 1997/98.

Híbrido	PE (kg/ha)	Ac. + Qu (%)	E.Doe. (%)
HD9536	8180	16	12
96HT91QPM	7470	24	7
HT16C	7437	26	7
P3041	7401	12	7
HT967102-30	7366	12	6
96HT92QPM	7247	17	7
97HT128QPM	7245	18	8
HS5X	7244	24	8
HT111301	7230	13	7
Média (36)	6924	20	9

Tabela 15. Potencial produtivo de algumas cultivares de milho QPM em Ponta Grossa. Ensaio Preliminar de 1997/98

Híbrido	Acam. %	E.D. %	P. esp (kg/ha)
97HS22	17.1	22.2	13598
96HT124	12.5	19.5	13490
97HT128	18.9	30.5	12868
96HT94	18.0	25.2	12780
97HS30	24.6	18.2	12500
97HS32	22.3	19.6	12309
P 3041	19.0	-31.3	12000
BR 3123	14.0	27.9	11034
Média	18.4	24	11345

Tabela 16 . Capacidade geral de combinação de sete linhagens elites de milho QPM. Sete Lagoas 1997/98.

Linhagem	AP	AE	%AC	%QU	%ED	PESP
1	-15.69	-3.77	-1.06	2.54	3.11	-271.71
2	-2.29	0.43	-1.26	3.14	5.71	-579.91
3	5.91	5.23	3.34	1.34	-2.49	421.09
4	7.11	-1.77	1.54	3.74	-1.49	-1035.91
5	-3.69	-0.97	0.74	-1.06	-5.29	1155.89
6	10.71	3.63	-0.26	-2.86	2.91	-184.71

Tabela 17 . Resumo da análise de capacidade específica de combinação de sete linhagens elites de milho QPM. Sete Lagoas 1997/98.

H.S	AP	AE	%AC	%QU	%ED	PESP
6 x 7	3.80	0.00	2.27	3.00	0.67	3165.00
5 x 6	4.40	5.20	-4.53	-4.80	-0.53	1504.40
2 x 4	1.60	-2.80	1.67	-1.60	-4.13	1149.40
1 x 4	-1.00	-11.60	-1.53	-2.00	-7.53	761.20
1 x 3	0.20	-0.60	-3.33	1.40	-3.53	658.20
2 x 5	-1.60	-6.60	-0.53	5.20	-6.33	609.60
3 x 5	9.20	3.60	-3.13	-6.00	4.87	473.60

Tabela 18. Melhores topcrosses de progênies S2 da população CMS 52 com uma linhagem elite do grupo heterótico A, na média de 4 ambientes na safra 1997/98.

Híbrido	%AC	%QU	%ED	PESP	%P3041
C333B	21.0	3.6	8.4	15376	130.0
P3041	35.0	2.9	1.1	11832	100.0
BR3123	39.2	4.9	7.7	11331	95.8
96HT91	29.6	3.6	1.2	11127	94.0
G1-147	26.6	15.7	10.0	10989	92.9
G1-121	42.5	6.4	5.3	10977	92.8
G1-69	29.1	7.9	5.0	10959	92.6
G1-107	36.8	8.0	15.0	10793	91.2
G1-101	36.3	33.2	1.6	10699	90.4
G2-13	33.2	19.1	2.3	10678	90.2
G1-37	35.8	5.5	8.1	10620	89.8
G1-12	24.8	5.8	3.3	10562	89.3
G1-93	35.1	22.7	4.3	10480	88.6
Média	34.9	10.7	4.3	9267	

Tabela 19. Avaliação precoce de híbridos triplos (A x CMS 52 -S2) x B, em quatro ambientes na safra 1997/98.

Trat	%AC	%QU	%ED	PG	%P3041
P3041	2.6	7.3	10.0	8990	100.0
96HT91	4.5	9.1	6.9	8963	99.7
C333B	0.4	5.1	6.9	8928	99.3
52HT03	2.5	7.2	6.9	8584	95.5
52HT08	2.0	8.0	4.2	8341	92.8
52HT07	3.6	4.7	0.0	8254	91.8
Média	4.0	6.5	5.1	7705	85.7
No locais	2	2	1	4	0.0

Tabela 20. Melhores híbridos avaliados no Ensaio Preliminar de Cultivares de Milho QPM em 5 localidades da região Sul. 1997/98.

Híbridos	%AC	%QU	%ED	PE(kg/ha)	% P3041
P3041 (Comum)	4.2	9.4	15.9	9785	100.00
52HT03	5.3	0.9	18.6	9369	95.75
96HT91	5.4	18.8	19.9	9366	95.71
C333B (Comum)	7.7	2.9	21.3	9362	95.68
97HS28	15.3	18.0	14.7	9343	95.49
97HS32	10.8	5.1	15.3	9294	94.98
96HT124	8.1	12.8	23.6	8990	91.88
97HS26	13.4	10.7	13.4	8701	88.92
97HT129	2.6	6.0	28.5	8345	85.29
Média	11.7	11.6	22.6	7963	81.38
Locais	5	4	2	5	5

Tabela 21. Melhores híbridos avaliados no Ensaio Preliminar de Cultivares de Milho QPM em 16 localidades na safra 1997/98.

Híbridos	%AC	%QU	%ED	PE(kg/ha)	%P3041
C333B	4.3	10.5	14.1	9993	113.33
P3041	2.4	11.2	16.1	8818	100.00
97HS28	7.6	16.8	8.5	8595	97.47
96HT91	3.8	17.9	14.2	8378	95.01
96HT124	4.1	16.0	15.7	8302	94.14
52HT03	4.5	11.1	10.3	8146	92.38
97HT131	4.4	14.9	13.0	7985	90.56
97HS26	7.1	14.2	12.7	7760	88.00
97HT129	2.0	15.3	18.2	7735	87.72
Média	6.9	16.8	15.3	7379	83.69
Locais	12	13	8	16	