



O AMIDO APLICADO EM PRODUTOS FUNCIONAIS

Amplamente utilizado na indústria alimentícia, o amido é o principal responsável pelas propriedades tecnológicas que caracterizam grande parte dos produtos processados. Dos três tipos comercialmente disponíveis, o amido resistente é o que apresenta propriedades funcionais e, consequentemente, benefícios de saudabilidade.

O AMIDO

O amido é a fonte mais importante de carboidratos na alimentação humana, representando 80% a 90% de todos os polissacarídeos da dieta, e o principal responsável pelas propriedades tecnológicas que caracterizam grande parte dos produtos processados.

Estruturalmente, o amido é um homopolissacarídeo composto por cadeias de amilose e amilopectina. A amilose é formada por unidades de glicose unidas por ligações glicosídicas $\alpha(1\rightarrow4)$, originando uma cadeia linear. Já a amilopectina é formada por unidades de glicose unidas em $\alpha(1\rightarrow4)$ e $\alpha(1\rightarrow6)$, formando uma estrutura ramificada. Embora a amilose seja definida como linear, atualmente se

admite que algumas de suas moléculas possuem ramificações, semelhantes à amilopectina.

As proporções em que estas estruturas aparecem diferem entre as diversas fontes, entre variedades de uma mesma espécie e, ainda, em uma mesma variedade, de acordo com o grau de maturação da planta. Estas varia-

ções podem resultar em grânulos de amido com propriedades físico-químicas e funcionais diferenciadas, o que pode afetar sua utilização em alimentos ou aplicações industriais.



Apresentando somente ligações α -glicosídicas, o amido é potencialmente digerível pelas enzimas amilolíticas secretadas no trato digestivo humano. Até recentemente, devido a alta produção da α -amilase pancreática, se considerava que o amido era completamente hidrolisado por essa enzima, sendo absorvido no intestino delgado na forma de glicose.

Entretanto, certos fatores, tais como relação amilose/amilopectina, forma física do alimento e inibidores enzimáticos, entre outros, podem influenciar a taxa na qual o amido é hidrolisado e absorvido. Assim, quantidade significativa de amido pode escapar à digestão no intestino delgado e alcançar o cólon, onde é fermentado.

Para propósitos nutricionais, o amido pode ser classificado como glicêmico ou resistente. O amido glicêmico é degradado a glicose por enzimas no trato digestivo, podendo ser classificado como amido rapidamente digerível (ARD) ou amido lentamente digerível (ALD) no intestino delgado. Em testes *in vitro*, o ARD é hidrolisado em glicose dentro de 20 minutos, enquanto o ALD é convertido em glicose entre 20 e 110 minutos. Já o amido resistente é aquele que resiste à digestão no intestino delgado, mas é fermentado no intestino grosso pela microflora bacteriana.

O homem utiliza o amido de muitas outras formas, além de sua finalidade inicial de fonte de energia biológica. Praticamente todos os setores industriais utilizam o amido ou seus derivados.

O amido está disponível em abundância na natureza, sendo que o único outro componente orgânico que ocorre naturalmente em quantidade maior é a celulose. É encontrado em todas as formas de vegetais de folhas verdes, seja nas suas raízes, caules, sementes ou frutas. O amido serve à planta como alimento, proporcionando-lhe energia em épocas de dormência e germinação, tendo papel semelhante no ser humano, nos animais e, até mesmo, em outros organismos e formas de vida.

As fontes mais comuns de amido alimentício são o milho, a batata, o trigo, a mandioca e o arroz.

O mercado conhece três tipos de



amidos: o modificado, o pré-gelificado e o resistente.

Na forma não modificada, os amidos têm uso limitado na indústria alimentícia. O amido de milho ceroso é um bom exemplo. Os grânulos não modificados hidratam facilmente, intumescem rapidamente, rompem-se, perdem viscosidade e produzem uma pasta pouco espessa, bastante elástica e coesiva.

Modifica-se o amido para incrementar ou inibir suas características originais e adequá-lo as aplicações específicas, tais como promover espessamento, melhorar retenção, aumentar estabilidade, melhorar sensação ao paladar e brilho, gelificar, dispersar ou conferir opacidade.

Os amidos nativos são perfeitamente adaptados aos produtos feitos na hora, preparados sem muita preocupação com conservação. Suportam mal as imposições tecnológicas de determinados processos industriais que incluem exposição a amplas faixas de temperaturas, pH e cisalhamento. Possuem muitas características que os tornam pouco práticos para trabalhar. Um bom exemplo é a própria maisena, um excelente produto, porém com pouca habilidade para estabilizar um prato, a não ser os preparados para consumo imediato. A viscosidade final dos amidos nativos é extremamente difícil de controlar a nível industrial, porque a temperatura não pode ser ajustada com a velocidade suficiente para evitar problema de insuficiência ou excesso

de cozimento. Assim, desenvolveu-se uma linha de amidos modificados. Na Europa, são regulamentados pela Diretriz 95/2 e autorizados *quantum satis*; na média, são dosados a 5%.

O amido pré-gelificado é usado no preparo de muitos alimentos instantâneos, uma vez que é mais miscível em água ou leite do que os amidos nativos. É preparado por aquecimento com agitação contínua em um mínimo de água, suficiente para garantir a gelificação do amido.

As aplicações típicas do amido pré-gelificado são os alimentos de conveniência, como pudins instantâneos, preparados, aditivos para acabamento de papéis por processo úmido e lamas para perfuratrizes de poços de petróleo.

Os amidos pré-gelificados são usados quando se espera que os produtos sejam solúveis ou dispersíveis em água fria ou quente sem aquecimento.

São bastante empregados na confecção de alimentos pré-preparados, são de cocção rápida e fácil digestão.

Apresentam-se parcialmente ou totalmente solúveis em água fria e quente.

O uso de amido pré-gelificado em alimentação se faz em produtos de panificação e confeitaria, em sopas, cremes e sobremesas instantâneas.

Além desses, tem emprego também em indústrias não alimentícias, como a têxtil, de papel e papelão, fundição, lamas para perfuração de petróleo, entre outras áreas de atividade.

O amido resistente é o que apresenta propriedades funcionais e benefícios de saudabilidade.

AS PROPRIEDADES FUNCIONAIS DO AMIDO RESISTENTE

O termo amido resistente foi sugerido inicialmente em 1982, quando pesquisadores constataram que muitos alimentos processados continham maior teor aparente de polissacarídeos não amiláceos do que os produtos crus correspondentes. Análises detalhadas revelaram que este aumento era devido a um composto formado por *n*-glicoses, que podia ser disperso em hidróxido de potássio. Assim, definiram o amido resistente como sendo aquele que resiste à dispersão em água fervente e hidrólise pela ação da amilase pancreática e da *pululanase*. Esta fração era constituída principalmente de amilose retrogradada, que também parecia ser altamente resistente à digestão. A partir de 1992, a definição para amido resistente assumiu um caráter mais relacionado aos seus efeitos biológicos, representando “a soma do amido e produtos de sua degradação que não são absorvidos no intestino delgado de indivíduos saudáveis”. Pode-se dizer, então, que o amido resistente é a fração que não fornece glicose ao organismo,

mas que será fermentada no intestino grosso para produzir, principalmente, gases e ácidos graxos de cadeia curta. Devido a esta característica, considera-se que os efeitos do amido resistente sejam, em alguns casos, comparáveis aos da fibra alimentar e, por este motivo, normalmente é considerado como um componente desta.

O amido resistente pode ser classificado em amido fisicamente inacessível (AR1), grânulos de amido resistente (AR2) e amido retrogradado (AR3), considerando sua resistência à digestão.

A forma física do alimento pode impedir o acesso da amilase pancreática e diminuir a digestão do amido, fato que o caracteriza como resistente tipo AR1 (fisicamente inacessível). Isso pode ocorrer se o amido estiver contido em uma estrutura inteira ou parcialmente rompida da planta, como nos grãos; se as paredes celulares rígidas inibirem o seu intumescimento e dispersão, como nos legumes; ou por sua estrutura densamente empacotada, como no macarrão tipo espaguete.

Na planta, o amido é armazenado como corpos intracelulares parcialmente cristalinos denominados grânulos. Por meio de difração de raios-x, podem-se distinguir três tipos de grânulos que, dependendo de sua forma e estrutura cristalina, denominam-se



A, B e C. As cadeias externas relativamente curtas das moléculas de amilopectina de cereais (menos de 20 unidades de glicose) favorecem a formação de polimorfos cristalinos tipo A. Já as cadeias externas maiores das moléculas de amilopectina de tubérculos (mais de 22 unidades de glicose) favorecem a formação de polimorfos tipo B, encontrados também na banana, em amidos retrogradados e em amidos ricos em amilose. Embora com estrutura helicoidal essencialmente idêntica, o polimorfo tipo A apresenta empacotamento mais compacto do que o tipo B, o qual apresenta estrutura mais aberta e centro hidratado. Por sua vez, o polimorfo tipo C é considerado um intermediário entre os tipos A e B, sendo característico de amido de legumes e sementes. A forma do grânulo influencia sua digestão, caracterizando o amido resistente tipo AR2. Embora o grau de resistência dependa da fonte, geralmente grânulos dos tipos B e C tendem a ser mais resistentes à digestão enzimática.

A maioria dos amidos ingeridos pelo homem é submetida a tratamentos com calor e umidade, resultando no rompimento e gelatinização da estrutura do grânulo nativo, o que o torna digerível. Quando o gel esfria e envelhece, o amido gelatinizado forma novamente uma estrutura parcialmente cristalina, insolúvel e resistente à digestão enzimática, porém diferente da conformação inicial. Este processo é conhecido como retrogradação, caracterizando o amido resistente tipo AR3. A retrogradação da amilose, a



temperatura ambiente, é um processo rápido (poucas horas), originando uma forma de amido altamente resistente à redispersão em água fervente e à hidrólise pela amilase pancreática. Já a retrogradação da amilopectina é um processo mais lento (dias a semanas) e dependente da concentração da amostra, sendo que, em excesso de água, pode ser revertida por aquecimento a 70°C. Vários estudos têm demonstrado relação direta entre o conteúdo de amilose e a formação de amido resistente, o que não ocorre com a amilopectina.

A digestibilidade do amido também pode ser afetada por fatores intrínsecos, como a presença de complexos amido-lipídio e amido-proteína, de inibidores da α -amilase e de polissacarídeos não amiláceos; bem como por fatores extrínsecos, como tempo de mastigação (determina a acessibilidade física do amido contido em estruturas rígidas), tempo de trânsito do alimento da boca até o íleo terminal, concentração de amilase no intestino, quantidade de amido presente no alimento e a presença de outros componentes que podem retardar a hidrólise enzimática.

Nesse contexto, é possível constatar que alimentos crus e processados contêm apreciáveis quantidades de amido resistente, dependendo da fonte botânica e do tipo de processamento, como moagem, cozimento e resfriamento. Embora os três tipos ocorram naturalmente na dieta humana, podendo coexistir em um mesmo alimento, o AR3 é o mais comum e, do ponto de vista tecnológico, o mais importante, já que sua formação é resultante do processamento do alimento. O conteúdo de amilose, a temperatura, a forma física, o grau de gelatinização, o resfriamento e a armazenagem, afetam o conteúdo de AR3. Estes indicativos servem como base para explicar porque, ao contrário da fibra alimentar, as quantidades de amido resistente nos alimentos podem ser manipuladas de forma relativamente simples pelas técnicas de processamento, influenciando a taxa e extensão esperada da digestão do amido no intestino delgado humano. Esta forma de manipulação pode ser utilizada de forma benéfica tanto para o consumidor, na manutenção da boa saúde, como para

a indústria alimentícia, que tem uma fonte de “fibra” que não causa alterações organolépticas tão pronunciadas quanto as fontes tradicionalmente usadas nos produtos, como os farelos.

Os amidos resistentes têm atraído grande interesse pelo benefício de saudabilidade e suas propriedades funcionais. O principal interesse em relação ao amido resistente é o seu papel fisiológico.

Vários fatores podem estar envolvidos na sua formação e eles, por sua vez, afetam a sua resposta fisiológica. Deste modo, torna-se importante o conhecimento dos aspectos físico-químicos envolvidos na formação do amido resistente.

O conceito de carboidratos complexos tem sido modificado pelas recentes descobertas relacionadas aos seus efeitos fisiológicos e nutricionais.

Nesse grupo de nutrientes incluem-se o amido e os polissacarídeos não-amido, os quais possuem diferenças em suas estruturas químicas e em seus efeitos fisiológicos.

Como já foi mencionado, o amido é formado por dois polímeros, a amilose e a amilopectina, que somente podem ser evidenciados após solubilização dos grânulos e separação. As propriedades mais importantes com influência no seu valor nutricional incluem a taxa e a extensão da digestão ao longo do trato gastrointestinal e o metabolismo dos monômeros absorvidos.

Por outro lado, alguns aspectos físico-químicos do amido podem afetar a sua digestibilidade em um alimento. De um modo geral, os principais fatores que podem interferir no aproveitamento deste polissacarídeo incluem a sua origem botânica, a relação amilose/amilopectina, o grau de cristalinidade, a forma física e o tipo de processamen-



to do amido, assim como interações ocorridas entre esta substância e outros constituintes do alimento.

A partir da década de 80, foram deflagradas pesquisas a respeito das frações do amido, assim como suas classificações e propriedades. Atualmente, vem crescendo o interesse dos pesquisadores em quantificar estas frações do amido nos alimentos, visando avaliar o seu real consumo e correlacionar estes achados com a nutrição e a saúde dos indivíduos.

O amido é classificado em função da sua estrutura físico-química e da sua susceptibilidade à hidrólise enzimática.

De acordo com a velocidade com a qual o alimento é digerido *in vitro*, o amido divide-se em rapidamente digerível, quando ao ser submetido à incubação com amilase pancreática e amiloglicosidase em uma temperatura de 37°C, converte-se em glicose em 20 minutos; lentamente digerível, se nas condições anteriores é convertido em glicose em 120 minutos; e amido resistente (AR), que resiste à ação das enzimas digestivas.

Como já mencionado, o amido resistente é constituído por três tipos de amido: o tipo 1, que representa o grânulo de amido fisicamente inacessível na matriz do alimento, fundamentalmente devido as paredes celulares e proteínas, pertencendo a este grupo grãos inteiros ou parcialmente moídos de cereais, leguminosas e outros materiais contendo amido nos quais o tamanho ou a sua composição impede ou retarda a ação das enzimas digestivas; o tipo 2, que refere-se aos grânulos de amido nativo, encontrados no interior da célula vegetal, apresentando lenta digestibilidade devido às características intrínsecas da estrutura cristalina dos seus grânulos; e o tipo 3, que consiste em polímeros de amido retrogradado (principalmente de amilose), produzidos quando o amido é resfriado após a gelatinização.

O reaquecimento reduz o conteúdo deste tipo de amido em batatas, mostrando que a retrogradação é um fenômeno reversível. Os três tipos de amido resistente podem coexistir em um mesmo alimento. Assim, uma refeição contendo feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) apresenta os tipos 1 e 3, e em bananas verdes são encontrados os tipos 1 e 2.

Um quarto tipo de amido resistente tem sido evidenciado quando o amido sofre modificações em sua estrutura química. Com o advento de sistemas de processamento mais sofisticados, tem sido possível obter produtos de-

rivados do amido que podem atender necessidades específicas da indústria de alimentos. Esses produtos incluem os amidos substituídos quimicamente com grupamentos ésteres, fosfatos e éteres, bem como amidos com ligações cruzadas, sendo estes também resistentes à digestão no intestino delgado.

O amido resistente tem sido definido, em termos fisiológicos, como “a soma do amido e dos produtos da sua degradação que não são digeridos e absorvidos no intestino delgado de indivíduos sadios”. Desse modo, esta fração do amido apresenta comportamento similar ao da fibra alimentar e tem sido relacionada a efeitos benéficos locais (prioritariamente no intestino grosso) e sistêmicos, através de uma série de mecanismos.

Entre os fatores que influenciam a formação do amido resistente estão a gelatinização e a retrogradação do amido.

Durante o processamento e armazenamento, as mudanças ocorridas na estrutura do amido influenciam profundamente as suas propriedades funcionais e fisiológicas. A quantidade de água, o tempo e a temperatura de armazenamento são variáveis que influenciam no processo de cristalização e afetam diretamente os rendimentos do amido resistente.

A forma e a estrutura cristalina dos grânulos de amido são características de cada vegetal e podem ser visualizadas através de padrões de difração

de raios-X, sendo divididos em três tipos: A, B e C. O tipo A é geralmente encontrado em amidos de cereais; o B é observado em alguns tubérculos, na banana verde e em amidos de milho com alto teor em amilose; e o C é encontrado frequentemente em amidos de leguminosas e sementes, sendo considerado uma combinação dos tipos A e B. Adicionalmente, quando moléculas de amilose associam-se com lipídios no grânulo de amido, é visualizado um padrão de raios-X tipo V, que é parcialmente resistente à digestão enzimática.

Durante o aquecimento em meio aquoso, os grânulos de amido sofrem mudanças em sua estrutura, envolvendo a ruptura das pontes de hidrogênio estabilizadoras da estrutura cristalina interna do grânulo, quando uma temperatura característica para cada tipo de amido é atingida.

Se o aquecimento prosseguir com uma quantidade suficiente de água, rompe-se a região cristalina e a água entra, fazendo o grânulo romper-se e perder a birrefringência, ou seja, não se visualiza mais a Cruz de Malta sob luz polarizada. Com a gelatinização, o amido torna-se mais facilmente acessível à ação das enzimas digestivas.

A gelatinização refere-se à formação de uma pasta viscoelástica turba ou, em concentrações suficientemente altas, de um gel elástico opaco. Conforme passa o tempo e a temperatura diminui (na refrigeração ou congelamento, principalmente), as cadeias de amido tendem a interagir mais fortemente entre si, obrigando a água a sair e determinando, assim, a chamada sinérese.

A recristalização ou retrogradação ocorre quando, após uma solubilização durante o processo de gelatinização, as cadeias de amilose, mais rapidamente que as de amilopectina, agregam-se formando duplas hélices cristalinas estabilizadas por pontes de hidrogênio. Durante o esfriamento e/ou envelhecimento, estas hélices formam estruturas cristalinas tridimensionais altamente estáveis, com padrão B de difração de raios-x.

Os polímeros da amilopectina retrogradada, limitados pela sua



estrutura ramificada, são menos firmemente ligados que os da amilose retrogradada, conferindo a esta última uma maior resistência à hidrólise enzimática. Estudos realizados sobre a influência do comprimento da cadeia de amilose na formação do amido resistente, sob condições experimentais, revelaram que o seu rendimento aumenta com o grau de polimerização da amilose. Também foram encontrados em géis de amilose retrogradada um grau de polimerização entre 40 e 60. Outros trabalhos mostraram que quanto maior o conteúdo de amilose, maior o rendimento do amido resistente.

Estudos *in vitro* e *in vivo* também têm mostrado que a forma física do alimento é o principal fator determinante da velocidade de digestão do amido. Com o processamento, os alimentos sofrem modificações em sua estrutura física, fazendo o amido ficar mais acessível à ação das enzimas digestivas. Além disso, a extensão da mastigação dos alimentos também pode interferir na disponibilidade do amido.

A organização dos componentes da parede celular das leguminosas é um fator primordial na utilização do seu amido, e as células contendo os grânulos apresentam paredes espessas e particularmente resistentes. A integridade da parede celular exerce uma importante função na utilização do amido, atuando como uma barreira física que dificulta o intumescimento, a completa gelatinização dos grânulos e a ação das enzimas digestivas sobre o amido.

Outro fator a ser levado em consideração na formação do amido resistente são as interações que podem existir entre o amido e outros nutrientes constituintes do alimento.

Conforme se observaram em estudos sobre a biodisponibilidade do amido, uma pré-incubação com pepsina aumenta a acessibilidade do amido à α -amilase em farinhas de trigo, tanto cruas quanto cozidas, evidenciando que uma considerável fração do amido

encontra-se encapsulada por proteínas. A interação entre o amido e este nutriente também foi comprovada na elaboração de pães utilizando-se farinha de trigo com diferentes concentrações de proteína.

Neste caso, verificou-se ação da proteína na dureza e na mastigação do pão, reduzindo sua digestão intestinal, em humanos.

Com relação aos lipídios, foi constatada uma importante influência sobre a gelatinização e a retrogradação do amido. O mecanismo de interação entre a amilose e os lipídios atribui-se à formação de associações por inclusão do lipídio no interior da cadeia de amilose, que adota uma conformação em dupla hélice com estrutura parcialmente cristalina. Este complexo compete com a cristalização da amilose, deixando menor quantidade deste polissacarídeo livre para a formação de pontes de hidrogênio com outras cadeias de amilose.

A influência de outros constituintes dos alimentos na utilização de carboidratos tem sido documentada; os fitatos possuem a capacidade de inibir a digestão *in vitro* do amido de leguminosas e a sua resposta glicêmica em humanos, mas esses efeitos podem ser modificados na presença de cálcio. O fitato pode complexar-se com a α -amilase, a qual é uma enzima dependente de cálcio. Contudo, há a necessidade de se determinar o teor de fitato que possa significativamente exercer esses efeitos, sem prejudicar a biodisponibilidade dos minerais.

O conhecimento das propriedades físico-químicas do amido nos alimentos permite aos pesquisadores entender melhor os fenômenos envolvidos na formação do amido resistente. Além disso, evidencia-se a importância de conhecer o real conteúdo do amido resistente nos produtos alimentícios, tanto *in natura* quanto processados, para a elaboração de dietas mais adequadas e o desenvolvimento de alimentos funcionais que possibilitem uma melhor nutrição, promoção da saúde e diminuição do risco de doenças.

APLICAÇÃO EM PRODUTOS FUNCIONAIS

O amido resistente é um componente natural que está presente em muitos alimentos. Contudo, o processamento de determinados alimentos, como esterilização, fornecimento ou secagem em altas temperaturas, aumenta o nível de amido resistente. Já em outros procedimentos, como o cozimento, os amidos perdem sua resistência.

As aplicações de amidos resistentes são apropriadas para a maioria dos produtos de baixa umidade. Muitos produtos de panificação e cereais são conhecidos por propiciar fonte de fibras. Alguns, como pães com alto teor em fibras e cereais matinais, são abundantes no mercado. Outros, como muffins e brownies, são considerados sobremesas e normalmente não remetem à alimentação saudável ou fortificados



em fibras. Entretanto, esses produtos podem ser preparados tendo amido resistente como fonte de fibras. Estudos têm mostrado que amidos resistentes propiciam melhor aparência, textura, e *mouthfeel* do que fontes de fibras convencionais, e melhoram a expansão e a crocância em certas aplicações em alimentos.

Os pães integrais com alto teor de fibras geralmente possuem cor escura, textura arenosa, sabor característico e reduzido volume de expansão. Como ingrediente, o amido resistente promove crocância para biscoitos e sua habilidade de expansão pode propiciar melhores texturas em cereais matinais, por exemplo. Devido ao baixo teor calórico, o amido resistente pode ser usado em produtos com apelos *diet* e *light*.

Como fibra funcional, o amido resistente que possui cor branca, sabor neutro, tamanho pequeno de partículas, possibilita formular produtos com maior apelo e maior palatabilidade quando comparado com os produtos formulados com as fibras convencionais.

Em testes fisiológicos, o amido resistente, alimento prebiótico, tem mostrado aumento do bolo fecal e da produção de ácidos graxos de cadeias curtas (SCFA), como os butiratos, que são conhecidos por promover a boa saúde do cólon. Além disso, contribui para a produção da energia difusa progressiva (EDP), que é a energia do alimento liberada ao longo do tempo da digestão lenta, mantendo o indivíduo com sensação de saciedade e de bem alimentado por um período maior de tempo. A EDP é muito importante, por exemplo, para atletas maratonistas, em provas de resistência, que precisam de energia durante toda a prova; ou mesmo em lanches infantis, que precisam manter a criança alimentada até a hora do almoço.

Enfim, o uso do amido resistente comercial permite que produtos sejam formulados com aumento no nível de fibra dietética total.

Alguns amidos resistentes também possuem características físicas únicas, que se traduzem em propriedades funcionais que podem destacar o alimento.

BENEFÍCIOS À SAÚDE

Estudos clínicos demonstraram que os amidos resistentes têm propriedades semelhantes a fibras, mostram benefícios fisiológicos em humanos e podem prevenir doenças.

Por não ser digerido no intestino delgado, este tipo de amido se torna disponível como substrato para fermentação pelas bactérias anaeróbicas do cólon. Dessa forma, essa fração compartilha muitas das características e benefícios atribuídos à fibra alimentar no trato gastrointestinal. Por exemplo, em indivíduos diabéticos, o consumo de carboidratos digestíveis não pode exacerbar a hiperglicemia pós-prandial e deve prevenir eventos hipoglicêmicos. No entanto, as diferenças nas respostas glicêmica e insulínica ao amido da dieta estão diretamente relacionadas à taxa de digestão do amido. Dessa forma, alimentos lentamente digeridos ou com baixo índice glicêmico têm sido associados ao melhor controle do diabetes e, a longo prazo, podem até mesmo diminuir o risco de desenvolver a doença. Em um estudo realizado com ratos normais e diabéticos, a substituição do amido com alto índice glicêmico por amido com baixo índice glicêmico em uma dieta mista aumentou a oxidação da glicose, estimulada pela insulina, e diminuiu a incorporação da glicose nos lipídios totais.

O amido resistente também tem sido associado a reduções nos níveis de colesterol LDL (lipoproteína de baixa densidade) e de triglicerídios na hiperlipidemia. Pesquisadores observaram que a inclusão de amido resistente a dietas de ratos reduziu os níveis de colesterol e triglicerídios plasmáticos.

Não sendo digerido no intestino delgado, o amido resistente também pode servir de substrato para o crescimento de microorganismos probióticos, atuando como potencial agente prebiótico. A metabolização desse tipo de carboidrato pelos microorganismos, via fermentação, resulta na produção de ácidos graxos de cadeia curta, como acetato, propionato e butirato; gases carbônico e hidrogênio

e, em alguns indivíduos, metano; e diminuição do pH do cólon. A maioria destes compostos age na prevenção de doenças inflamatórias do intestino, além de auxiliar na manutenção da integridade do epitélio intestinal.

Adicionalmente, o amido resistente contribui para o aumento do volume fecal, modificação da microflora do cólon, aumento da excreção fecal de nitrogênio e, possivelmente, redução do risco de câncer de cólon.

Em estudos utilizando populações mistas de bactérias obtidas de fezes humanas, observou-se que 59% do amido fermentado foi recuperado como ácidos graxos de cadeia curta, na proporção molar de 50:22:29 para acetato, propionato e butirato, respectivamente. O decréscimo do pH resultante dessa fermentação pode, em parte, ser responsável pela pequena taxa de transformação de ácidos biliares primários em metabólitos secundários mutagênicos e pela redução de outras biotransformações bacterianas específicas no intestino grosso. Dados obtidos em estudos com humanos, mostraram que a suplementação de amido resistente nas dietas resultou em maior concentração de butirato, em comparação ao tratamento controle, constituído de baixo teor de fibra. Considerando que o butirato é importante fonte de energia para as células epiteliais do cólon, sua maior produção pode prevenir doenças colônicas, incluindo colite ulcerativa, as quais são provocadas por deficiência de energia. Além disso, atribui-se ao butirato a supressão do desenvolvimento de células cancerígenas e o aumento na proliferação de células da mucosa intestinal, o que pode diminuir o risco de câncer de cólon. Quanto ao propionato e o acetato, podem influenciar a gliconeogênese e a lipogênese hepáticas, respectivamente.

Além dos benefícios já mencionados, o aumento do volume fecal provocado pelo amido resistente pode ser importante na prevenção da constipação, diverticulose e hemorroidas, bem como diluir compostos tóxicos, potenciais formadores de células cancerosas.

EL ALMIDÓN APLICADO EN PRODUCTOS FUNCIONALES

El almidón es la fuente más importante de carbohidratos en la alimentación humana, representando el 80% al 90% de todos los polisacáridos de la dieta, y el principal responsable de las propiedades tecnológicas que caracterizan gran parte de los productos procesados. El mercado conoce tres tipos de almidones: el modificado, el pregelificado y el resistente, siendo este último el que presenta propiedades funcionales y beneficios de salud.

El término almidón resistente fue sugerido inicialmente en 1982, cuando los investigadores constataron que muchos alimentos procesados contenían mayor contenido aparente de polisacáridos no amiláceos que los productos crudos correspondientes. Los análisis detallados revelaron que este aumento era debido a un compuesto formado por *n*-glucosas, que podía ser dispersado en hidróxido de potasio. Así, definieron el almidón resistente como el que resiste a la dispersión en agua hirviendo e hidrólisis por la acción de la amilasa pancreática y de la *pullulanasa*. Esta fracción estaba constituida principalmente de amilosa retrogradada, que también parecía ser altamente resistente a la digestión. A partir de 1992, la definición para almidón resistente asumió un carácter más relacionado con sus efectos biológicos, representando “la suma del almidón y productos de su degradación que no se absorben en el intestino delgado

de individuos sanos”. Se puede decir entonces que el almidón resistente es la fracción que no proporciona glucosa al organismo, pero que se fermentará en el intestino grueso para producir principalmente gases y ácidos grasos de cadena corta. Debido a esta característica, se considera que los efectos del almidón resistente son, en algunos casos, comparables a los de la fibra alimentaria y, por este motivo, normalmente se considera un componente de ésta.

El almidón resistente puede ser clasificado en almidón físicamente inaccesible (AR1), gránulos de almidón resistente (AR2) y almidón retrogradado (AR3), considerando su resistencia a la digestión.

La forma física del alimento puede impedir el acceso de la amilasa pancreática y disminuir la digestión del almidón, hecho que lo caracteriza como resistente tipo AR1 (físicamente inaccesible). Esto puede ocurrir si el almidón está contenido en una estructura entera o parcialmente roto de la planta, como en los granos; si las paredes celulares rígidas inhiben su entumecimiento y dispersión, como en las verduras; o por su estructura densamente empaquetada, como en los macarrones tipo espagueti.

Los almidones resistentes han atraído gran interés por el beneficio de la salud y sus propiedades funcionales. El principal interés en relación al almidón resistente es su papel fisiológico.

El almidón resistente ha sido definido, en términos fisiológicos, como “la suma del almidón y de los productos de

su degradación que no son digeridos y absorbidos en el intestino delgado de individuos sanos”. De este modo, esta fracción del almidón presenta un comportamiento similar al de la fibra alimentaria y se ha relacionado con efectos benéficos locales (prioritariamente en el intestino grueso) y sistémicos, a través de una serie de mecanismos.

El almidón resistente es un componente natural que está presente en muchos alimentos. Sin embargo, el procesamiento de determinados alimentos, como la

esterilización, el hornear o el secado a altas temperaturas, aumenta el nivel de almidón resistente. Ya en otros procedimientos, como la cocción, los almidones pierden su resistencia.

Las aplicaciones de almidones resistentes son apropiadas para la mayoría de los productos de baja humedad. Muchos productos de panificación y cereales son conocidos por propiciar la fuente de fibra. Algunos, como panes con alto contenido en fibra y cereales matinales, son abundantes en el mercado. Otros, como muffins y brownies, se consideran postres y normalmente no remiten a la alimentación sana o fortificada en fibras. Sin embargo, estos productos pueden ser preparados teniendo un almidón resistente como fuente de fibras. Los estudios han demostrado que los almidones resistentes propician una mejor apariencia, textura y *mouthfeel* que las fuentes de fibras convencionales, y mejoran la expansión y la cruza en ciertas aplicaciones en los alimentos.

Los panes integrales con alto contenido de fibras generalmente poseen color oscuro, textura arenosa, sabor característico y reducido volumen de expansión. Como ingrediente, el almidón resistente promueve crocancia para galletas y su capacidad de expansión puede propiciar mejores texturas en cereales matinales, por ejemplo. Debido al bajo contenido calórico, el almidón resistente puede ser utilizado en productos con llamadas *diet* y *light*.

Como fibra funcional, el almidón resistente que posee color blanco, sabor neutro, tamaño pequeño de partículas, posibilita formular productos con mayor atractivo y mayor palatabilidad cuando comparado con los productos formulados con las fibras convencionales. En las pruebas fisiológicas, el almidón resistente, alimento prebiótico, ha mostrado aumento de las heces y de la producción de ácidos grasos de

cadena corta (SCFA), como los butiratos, que son conocidos por promover la buena salud del colon. Además, contribuye a la producción de la energía difusa progresiva (EDP), que es la energía del alimento liberada a lo largo del tiempo de la digestión lenta, manteniendo al individuo con sensación de saciedad y de bien alimentado por un período mayor de tiempo. La EDP es muy importante, por ejemplo, para atletas maratonistas, en pruebas de resistencia, que necesitan energía durante toda la prueba; o incluso en aperitivos infantiles, que necesitan mantener al niño alimentado hasta la hora del almuerzo.

En fin, el uso del almidón resistente comercial permite que productos sean formulados con aumento en el nivel de fibra dietética total.

Algunos almidones resistentes también poseen características físicas únicas, que se traducen en propiedades funcionales que pueden destacar el alimento.

Los estudios clínicos han demostrado que los almidones resistentes tienen propiedades similares a las fibras, muestran beneficios fisiológicos en humanos y pueden prevenir enfermedades.

Por no ser digerido en el intestino delgado, este tipo de almidón se vuelve disponible como sustrato para fermentación por las bacterias anaeróbicas del colon. De esta forma, esta fracción comparte muchas de las características y beneficios atribuidos a la fibra alimentaria en el tracto gastrointestinal. Por ejemplo, en individuos diabéticos, el consumo de carbohidratos digeribles no puede exacerbar la hiperglicemia postprandial y debe prevenir eventos hipoglucémicos. Sin embargo, las diferencias en las respuestas glucémica y insulinémica al almidón de la dieta están directamente relacionadas con la tasa de digestión del almidón. De esta forma, alimentos lentamente digeridos o con bajo índice glucémico han sido asociados al mejor control de la diabetes y, a largo plazo, pueden incluso disminuir el riesgo de desarrollar la enfermedad. En un estudio realizado

con ratones normales y diabéticos, la sustitución del almidón con alto índice glucémico por almidón con bajo índice glucémico en una dieta mixta aumentó la oxidación de la glucosa, estimulada por la insulina, y disminuyó la incorporación de la glucosa en los lípidos totales.

El almidón resistente también se ha asociado con reducciones en los niveles de colesterol LDL (lipoproteína de baja densidad) y de triglicéridos en la hiperlipodemia. Los investigadores observaron que la inclusión de almidón resistente a las dietas de ratas redujo los niveles de colesterol y triglicéridos plasmáticos.

No siendo digerido en el intestino delgado, el almidón resistente también puede servir de sustrato para el crecimiento de microorganismos probióticos, actuando como potencial agente prebiótico. La metabolización de este tipo de carbohidratos por los microorganismos, a través de la fermentación, resulta en la producción de ácidos grasos de cadena corta, como acetato, propionato y butirato; gases carbónicos y hidrógeno y, en algunos individuos, metano; y disminución del pH del colon. La mayoría de estos compuestos actúa en la prevención de enfermedades inflamatorias del intestino, además de auxiliar en el mantenimiento de la integridad del epitelio intestinal.

Adicionalmente, el almidón resistente contribuye al aumento del volumen fecal, modificación de la microflora del colon, aumento de la excreción fecal de nitrógeno y, posiblemente, reducción del riesgo de cáncer de colon. Además de los beneficios ya mencionados, el aumento del volumen fecal provocado por el almidón resistente puede ser importante en la prevención del estreñimiento, diverticulosis y hemorroides, así como diluir compuestos tóxicos, potenciales formadores de células cancerosas.