

INFLUÊNCIA DA β -GALACTOSIDASE NA TECNOLOGIA DO LEITE E NA MÁ DIGESTÃO DA LACTOSE

Cristiane Moriwaki*

Gracieti Matioli**

MORIWAKI, C.; MATIOLI, G.; Influência de β -Galactosidase na Tecnologia do Leite e na Má Digestão da Lactose. *Arq. Ciênc. Saúde Unipar*, 4(3): 283-290, 2000.

RESUMO: Lactose, o componente de maior concentração no leite e soro, tem aplicação em produtos alimentícios e farmacêuticos, porém esta aplicação é limitada, devido a sua baixa solubilidade e os intolerantes à lactose. Por esta razão, a lactose é frequentemente hidrolisada antes do uso. A indústria de queijo resulta em grandes quantidades de lactose na forma de soro de queijo. Foram encontrados muitos usos para o soro e a lactose, inclusive usos em fórmulas infantis, padaria e produtos de confeitaria, comida para animais e em várias fermentações industriais. Contudo, a demanda é insuficiente para consumir toda a lactose presente no soro proveniente das leiterias. A má digestão da lactose deve-se a uma redução geneticamente predeterminada de β -galactosidase (lactase) no intestino delgado, que ocorre com a idade e, algumas vezes, depois de desmame, provocando sintomas gastrointestinais. Dor abdominal, flatulência ou diarreia podem ser o resultado da fermentação da lactose por bactérias do cólon. A redução ou eliminação de leite e derivados do leite da dieta de crianças intolerantes à lactose pode comprometer a absorção de proteína, riboflavina e cálcio. Desta forma, foram desenvolvidas alternativas para não eliminar o leite da dieta. Atualmente, os caminhos disponíveis e seguros incluem o uso de derivados microbiológicos de β -galactosidase por adição ao leite para pré-hidrolisar a lactose, ou por consumo associado à ingestão de comidas que contêm lactose. Leite fermentado em pó que retém atividade de β -galactosidase também reduz a má digestão da lactose em crianças. Tem sido proposto melhorar a digestibilidade de produtos fermentados de leite através do uso de cepas de bactérias que possuem alta atividade de β -galactosidase em pH ácido. Outro caminho para o controle da digestão da lactose é o consumo de leite não fermentado contendo bactérias lácticas vivas como *Lactobacillus acidophilus* e *Bifidobacterium longum*.

PALAVRA CHAVE: intolerância à lactose; lactase; lactose; β -galactosidase.

INFLUENCE OF β -GALACTOSIDASE IN MILK TECHNOLOGY AND LACTOSE MALDIGESTION

MORIWAKI, C.; MATIOLI, G.; Influence of β -Galactosidase in Milk Technology and Lactose Maldigestion. *Arq. Ciênc. Saúde Unipar*, 4(3): 283-290, 2000.

ABSTRACT: Lactose, a major component of whole milk and whey, can be used in food and pharmaceutical products. However, its use is somewhat limited because of its low solubility and of lactose-intolerant people. For this reason, lactose is often hydrolysed before its use. The cheese industry yields large amounts of lactose in the form of cheese whey. Many roles have been found for whey and lactose, including its uses in infant formula; bakery and related products; animal feeding and several industrial fermentations. Still, demand is insufficient to use all available lactose present in the whey from dairy plants. Lactose maldigestion, which is generally attributed to a genetically predetermined reduction in β -galactosidase (lactase) activity in small intestine with age and sometimes after weaning, is a frequent cause of gastrointestinal symptoms. Abdominal pain, flatulence, or diarrhea may result from the fermentation of undigested lactose by colonic bacteria. The reduction or elimination of milk and dairy products from the diet of lactose-intolerant children may compromise their uptake of protein, riboflavin and calcium. Accordingly, alternatives to milk elimination from the diet have

* Acadêmica de Iniciação Científica do Curso de Farmácia da Universidade Estadual de Maringá

** Docente do Departamento de Farmácia e Farmacologia da Universidade Estadual de Maringá

Endereço: Graciete Matioli, Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Farmácia e Farmacologia, Av. Colombo, 5790, Bloco P02 - CEP: 87020-900, Maringá-Pr.

E-mail: gmatioli@uem.br

been developed. Currently available validated approaches include the use of microbially-derived β -galactosidase, either added to milk to prehydrolyse lactose, or consumed when foods containing lactose are ingested. Powdered fermented milk that retains β -galactosidase activity also reduces lactose maldigestion in children. It has been proposed that improved fermented milk products could be derived using strains of bacteria that possess high β -galactosidase activity at acidic pH. Another approach to the management of lactose digestion is the consumption of unfermented milk containing live lactic bacteria like *Lactobacillus acidophilus* and *Bifidobacterium longum*.

KEY WORDS: β -galactosidase; lactase; lactose; lactose-intolerance.

Introdução

O leite e os produtos lácteos têm sido utilizados como alimentos importantes para o homem desde o início da civilização. O leite é recomendado para indivíduos de todas as idades por ser uma excelente fonte de proteínas de boa qualidade, fósforo, potássio, magnésio, zinco, lipídeos, certas vitaminas e principalmente cálcio. No leite integral e no soro também está presente a lactose, um dissacarídeo produzido somente pelas glândulas mamárias dos mamíferos (SUAREZ & SAVAIANO, 1997). Este açúcar do leite tem baixa solubilidade e baixa doçura, é menos fermentável que outros açúcares e deve ser hidrolisada para ser absorvida em nível intestinal (NIJPELS, 1981; Holsinger apud MACIUNSKA *et al.*, 1998).

A concentração da lactose no leite integral é ao redor de 5% (p/v) e no soro de 70% em base seca. O alto nível de lactose presente no leite limita o consumo por pessoas intolerantes à lactose, devido à deficiência de uma enzima denominada β -galactosidase ou lactase (SUAREZ & SAVAIANO, 1997). Outro problema é a baixa solubilidade da lactose, que acarreta dificuldades na utilização do leite para a elaboração de determinados produtos, assim como o armazenamento através do congelamento. Também, devido à baixa solubilidade e doçura, o uso do soro de queijo é limitado e a grande quantidade de soro desprezado em rios e rede de esgoto constitui um grave problema para as indústrias de derivados do leite. A dificuldade no tratamento do soro, após a produção do queijo, deve-se à alta demanda biológica de oxigênio (BOD). O tratamento de efluentes contendo o soro desprezado leva a um custo muito elevado da usina e da manutenção da mesma (ROODPEYMA *et al.*, 1983; Holsinger apud MACIUNSKA *et al.*, 1998).

Tendo em vista a quantidade e gravidade dos problemas relacionados com o açúcar do leite, é de vital importância nutricional e comercial a redução do teor de lactose no leite e derivados através da

hidrólise. A hidrólise da lactose pode ser realizada quimicamente, por meio de ácidos minerais e orgânicos, ou biológico, ocorre o desdobramento das moléculas de lactose em dois monossacarídeos: glucose e galactose (GEKAS & LOPEZ-LEIVA, 1985; MATIOLI, 1991).

O desenvolvimento dos processos de hidrólise permitiu a produção de leite e derivados com baixo teor de lactose e a obtenção de um xarope doce preparado a partir da hidrólise da lactose presente no soro. Este xarope pode ser empregado como um substituto do açúcar comum, como adoçante de alimentos (refrigerantes, sorvetes, sobremesas), como alimentação para animais ou como base para fermentação do álcool (GEKAS & LOPEZ-LEIVA, 1985). Produtos do leite com lactose hidrolisada são utilizados via parenteral como apoio nutricional para pacientes hospitalizados (HERNANDEZ & ASENJO, 1982).

A hidrólise parcial da lactose é apropriada para produtos concentrados de leite (leite condensado, sorvete) nos quais a lactose tende a se cristalizar, pois apresenta uma solubilidade em água de cerca de 18% (p/p) a temperatura ambiente, ocasionando arenosidade e/ou floculação de proteínas durante uma estocagem prolongada (NIJPELS, 1981). Além de reduzir os problemas de arenosidade e cristalização, a hidrólise da lactose permite melhorar a consistência de determinados produtos (MARTINEZ & SPECKMAN, 1988).

A hidrólise enzimática é um dos métodos mais interessantes para redução do conteúdo de lactose. Várias β -galactosidases foram investigadas para a preparação de leite e derivados com baixo teor de lactose (Kenedy apud MACIUNSKA *et al.*, 1998). Bactérias, leveduras e mofos têm sido considerados fontes potenciais dessa enzima para utilização comercial, e a levedura *Kluyveromyces* (anteriormente *Saccharomyces*) *fragilis* é o organismo mais frequentemente utilizado para esse fim, sendo aprovado seu uso em alimentos (NIJPELS, 1982).

Desta forma, este trabalho apresenta uma abordagem da influência da β -galactosidase na hidrólise da lactose, sua má digestão e suas aplicações após hidrólise.

Desenvolvimento

O leite é o alimento primordial dos mamíferos recém-nascidos e, além de ser um alimento que sustenta processos vitais, é também um produto do mesmo. Fornece praticamente todos os nutrientes requeridos pelo homem. Por isso, é conhecido como o alimento natural mais próximo da perfeição. Neste líquido de origem exclusivamente animal é encontrada a lactose, um dissacarídeo de elevada importância à espécie humana (SPECKMANN, 1981).

Lactose

A lactose, 4-O- β -D-galactopiranosil-D-glucopiranosose, ou açúcar do leite, é encontrada apenas no leite dos mamíferos, não tendo outra ocorrência na natureza. É um açúcar de doçura e solubilidade relativamente baixas, e não pode ser absorvido diretamente a partir do intestino humano (NIJPELS, 1982; SUAREZ & SAVAIANO, 1997).

Quimicamente, a lactose é constituída de dois monossacarídeos, a D-glucose e a D-galactose, unidos por uma ligação glicosídica do tipo β -1,4. Estes constituintes, que apresentam em conjunto um poder edulcorante ao redor de 80% daquele da sacarose, são de 3 a 4 vezes mais solúveis que a lactose e facilmente absorvidos em nível intestinal. A lactose é um dissacarídeo redutor, podendo reagir com grupos amino livres pertencentes às proteínas e formar compostos coloridos oriundos da reação de Maillard (NIJPELS, 1981; ZADOW, 1984).

A lactose representa uma porção substancial do consumo diário de carboidratos. A amamentação infantil fornece altas doses de lactose, uma vez que o leite humano contém cerca de 6,7% (p/v) de lactose quando comparado com 4,5-5,0% (p/v) do leite de vaca. A distribuição de leite em pó (52% p/v de lactose) para consumo em países subdesenvolvidos aumenta o consumo de lactose. Dentre as qualidades nutricionais deve-se salientar o importante papel desempenhado na assimilação intestinal do cálcio (SHUKLA, 1975).

O maior uso da lactose inclui as formas de ingrediente de alimentos, ingrediente de formulação infantil, componente para a indústria farmacêutica e matéria-prima para os derivados da lactose como: lactulose, lactitol, ácido lactobiônico, galactooligosacarídeos e outros (ZADOW, 1984; YANG & SIL-

VA, 1995).

Hidrólise da lactose

Os processos de hidrólise da lactose são muitos utilizados na indústria de alimentos. Os produtos lácteos com lactose hidrolisada apresentam melhor qualidade, sendo que as principais mudanças são: redução do conteúdo de lactose, aumento da solubilidade, aumento do sabor doce, maior pressão osmótica, menor viscosidade e açúcares mais facilmente fermentáveis (TURINI, 1982).

A hidrólise da lactose tem aplicação em três grandes áreas: (i) leite, como um produto pré-digerido para os indivíduos intolerantes à lactose; (ii) leite destinado à produção de derivados do leite, tais como, queijo e iogurte; (iii) utilização do soro e xaropes de soro hidrolisado para a produção de adoçantes, reduzindo a poluição ambiental provocada pela grande quantidade de soro que vem sendo desprezado em rios (NIJPELS, 1981; GEKAS & LOPEZ-LEIVA, 1985; MATIOLI, 1991; KIM *et al.*, 1997).

Considera-se satisfatório para os intolerantes à lactose uma hidrólise de 90% de lactose, num produto que contenha cerca de 5g/mL da mesma (HERNANDEZ & ASENJO, 1982). Já PRENOSIL *et al.* (1987), em condições industriais, consideram como sendo ótimo uma hidrólise de 75-85%. Segundo WEETALL & SUZUKI (1975), o melhor grau de hidrólise da lactose deve ser estudado, uma vez que sua presença no intestino delgado promove a absorção de íons bivalentes, como cálcio e ferro. O consumo diário de leite com lactose completamente hidrolisada pode acarretar sérios problemas, tais como, uma anemia devido a deficiência de íons ferro, e a má formação de ossos devido a falta de íons cálcio.

Em nível industrial, a hidrólise química da lactose é caracterizada por condições severas de temperatura (100 a 150° C) e pH (1-2), e um alto grau de hidrólise é obtido em pouco tempo. A metodologia empregada nesta hidrólise é simples e não requer enzimas caras, contudo existem os inconvenientes como: produto final de qualidade inferior, uso de agentes corrosivos, custo elevado da planta industrial, desnaturação das proteínas do leite e necessidade de neutralização final. A hidrólise enzimática é específica, e, como a β -galactosidase tem sido obtida de diferentes origens, apresenta diferentes características, permitindo a seleção de enzima mais apropriada em função do substrato utilizado e do produto final desejado (GEKAS & LOPEZ-LEIVA,

1985).

Contudo, a galactose liberada com a hidrólise da lactose é um inibidor competitivo das β -galactosidases. Esta inibição reduz substancialmente a atividade da enzima (Woychik & Wondolowski *apud* MACIUNSKA *et al.*, 1998). Um sistema mais eficiente de hidrólise da lactose pode ser obtido usando reator de fluxo contínuo com enzima imobilizada no lugar de tratamentos em batelada com enzima livre (MACIUNSKA *et al.*, 1998).

Durante a hidrólise da lactose, ocorre a reação de transgalactosidação, que dá origem a oligossacarídeos de vários pesos e tamanhos moleculares (MOZAFFAR *et al.*, 1985). Segundo ZADOW (1984), ao menos dez oligossacarídeos foram detectados durante a hidrólise enzimática da lactose, sendo que a galactose parece estar mais envolvida na formação dos oligossacarídeos que a glucose.

A presença de produtos formados com a transgalactosidação pode acarretar um problema nutricional em indivíduos que não são capazes de digerilos. Contudo, se o tempo de hidrólise for grande, estes oligossacarídeos serão, provavelmente, também hidrolisados. Segundo PRENOSIL *et al.* (1987), o trissacarídeo parece ser o mais importante oligossacarídeo formado durante a hidrólise.

YANG & OKOS (1989) relataram que, dependendo das condições de reação, o grau de formação de oligossacarídeos durante a hidrólise da sacarose poderá ser superior a 40% em relação ao total de açúcar adicionado. Também observaram que quanto mais alta a concentração inicial da lactose, mais oligossacarídeos eram formados.

MOZAFFAR *et al.* (1985) determinaram que quanto menor o peso molecular da β -galactosidase, maior a formação de oligossacarídeos. Com o desenvolvimento do Trabalho, concluíram que a velocidade de decomposição de oligossacarídeos é relativamente baixa, e que a hidrólise da lactose pode ser inibida pela presença de oligossacarídeos.

β -galactosidase

A enzima β -D-galactosidase (E.C.3.2.1.23) ou mais comumente lactase, catalisa a hidrólise da lactose liberando quantidades equimoleculares de galactose e glucose. Esta enzima tem diversas origens, sendo que os microrganismos são considerados a fonte mais adequada para aplicação industrial (GEKAS & LOPEZ-LEIVA, 1985).

Em seres humanos, a enzima não está presente no intestino do embrião ou feto até a metade do último estágio de gestação, a atividade atinge o

seu máximo após o nascimento. Durante o período de desmame o leite é substituído por outros alimentos e a atividade da enzima gradualmente diminui. Desta forma, muitos adultos podem se tornar deficientes em β -galactosidase, e por conseqüência, "intolerantes à lactose" (NIJPELS, 1981; MONTES *et al.*, 1995).

Segundo Gilat *et al.* *apud* SUAREZ & SAVAIANO (1997), depois de 3 a 5 anos de idade, a maioria da população do mundo experimenta uma perda de 90 a 95% da atividade da β -galactosidase. Este padrão normal de perda de atividade da β -galactosidase intestinal é transmitido por um gene recessivo e não deve ser considerado doença, mas um padrão normal da fisiologia humana.

O grau de inibição apresentado pela galactose está em função da origem da enzima. A enzima de *Aspergillus niger* é mais fortemente inibida pela galactose do que a enzima de *Aspergillus oryzae*, enquanto a preparação enzimática de *Bacillus sp.* apresenta menor inibição que a preparação derivada de *K. fragillis* (GEKAS & LOPEZ-LEIVA, 1985).

No geral, a β -galactosidase de mofos tem pH ótimo na faixa ácida (2,5-4,5), enquanto a β -galactosidase de leveduras e bactérias apresenta pH ótimo na região neutra (6,5-7,5). Este fato é de grande importância para os processos industriais, os quais podem escolher uma β -galactosidase de origem particular, dependendo das necessidades impostas pela natureza do substrato e produto. Desta forma, enquanto um pH de 3,5-4,0 é ideal para a redução do conteúdo de lactose do soro ácido, uma enzima com pH ao redor de 7,0 é desejável para a redução do conteúdo de lactose do leite total, desnatado e em pó (SHUKLA, 1975).

Quando a lactose deve ser hidrolisada em um biorreator, é extremamente benéfico o emprego de uma enzima derivada de organismos termófilos. Um exemplo é a β -galactosidase de *Streptococcus thermophilus*. Esta enzima apresenta alta estabilidade térmica e parece ser de grande utilidade na hidrólise do leite, pois apresenta uma boa atividade e estabilidade em pH próximo da neutralidade (pH do leite). Além disso, os cátions presentes no leite aumentam a atividade da enzima, sendo esta mais estável que a β -galactosidase de *K. fragilis* e *K. lactis* (GREENBERG & MAHONEY, 1982).

Intolerantes à lactose

A domesticação de animais produtores de leite parece favorecer a seleção de adultos que per-

manecem com a enzima ativa. De fato, há uma incidência muito mais alta de deficiência de β -galactosidase entre os adultos de sociedades que tradicionalmente cultivam a caça, como Chineses e Japoneses, do que entre aqueles que têm uma longa história de domesticação de gado leiteiro, como no Norte da Europa (NIJPELS, 1981).

A deficiência da β -galactosidase também pode surgir devido a uma doença congênita, nascimento pré-maturo, alimentação pobre e inadequada, e cirurgia do trato intestinal. Exceto no primeiro caso, a ausência ou perda é usualmente temporária (NIJPELS, 1981).

A hidrólise intestinal define a tolerância de lactose pelo organismo. Se este não for apto para processá-la, decorrente da ausência da β -galactosidase no epitélio intestinal, é dito ser "intolerante à lactose". Por consequência, o organismo sofre a presença da lactose junto à flora microbiana com a produção de ácidos, gases e forças osmóticas que levam a casos de flatulência, mal estar e diarreia, em maior ou menor intensidade (KRETCHNER & RANSOMEKUTI, 1974; MONTES *et al.*, 1995; SUAREZ & SAVAIANO, 1997).

Indivíduos β -galactosidase não persistentes são aqueles com redução normal na atividade da β -galactosidase devido substituição do leite por outros alimentos. Indivíduos com má digestão da lactose são aqueles com hidrólise incompleta da lactose determinada por exames clínicos e não necessariamente envolve sintomas. O termo intolerante à lactose refere-se àqueles que apresentam sintomas depois da ingestão da lactose. E aqueles intolerantes ao leite apresentam sintomas após o consumo do leite que pode ou não estar relacionados com a presença da lactose (ROSA DO *et al.*, 1994).

Crianças e adolescentes representam o maior segmento da população no consumo de leite, e a redução ou eliminação do leite e produtos do leite da dieta de crianças com má absorção de lactose pode comprometer a absorção de proteínas e cálcio. Segundo MONTES *et al.* (1995), cepas de *Lactobacillus acidophilus*, as quais são produtoras de β -galactosidase, quando adicionadas ao leite frio pasteurizado, resultam em um produto não fermentado recomendado às pessoas com má digestão da lactose. Também o uso de iogurte, contendo cultura viva de *L. bulgaricus* e *S. thermophilus*, é adequado para a dieta destes indivíduos.

O conteúdo inicial de lactose no iogurte é cerca de 6%, caindo para 4% durante a fermenta-

ção. A β -galactosidase aumenta substancialmente durante a fermentação. Quando do consumo do iogurte, parte desta β -galactosidase passa através do estômago e chega ao duodeno, onde pode hidrolisar lactose ali existente (SUAREZ & SAVAIANO, 1997; BURTON & TANNOCK, 1997).

A prevalência de deficiência de β -galactosidase em adultos sadios varia de 1% na Dinamarca até 100% nas populações orientais. Em geral, a população branca do norte e oeste da Europa, dos Estados Unidos e Austrália mantém atividade de β -galactosidase na maioridade, independentemente da presença do leite na dieta. A mais plausível hipótese de explicação para este fato é a ocorrência de uma mutação genética, há muitos anos atrás, em populações onde derivados do leite tornaram-se importantes componentes da dieta. Ao contrário, negros, orientais, judeus, árabes, esquimós e índios (norte e sul americanos), tendem a desenvolver deficiência a β -galactosidase durante a infância. Talvez a má nutrição ou infecção parasitária intestinal possa acelerar o desenvolvimento da deficiência de β -galactosidase. A causa para a perda dessa enzima não é inteiramente clara, embora a maior parte dos investigadores cite o mecanismo genético com expressão diminuída (Rosensweig *apud* MATIOLI, 1991; SUAREZ & SAVAIANO, 1997).

Calcula-se que 10% da população de raça branca apresenta intolerância à lactose, e que nos povos de cor negra esta cifra se eleva a mais de 70%. No entanto, é difícil suprimir o leite da alimentação, sobretudo de crianças, uma vez que o cálcio está presente em alta concentração no leite, e a redução na absorção do mesmo pode levar a uma má formação esquelética e descalcificação (NOVO A/S, 1979).

O consumo de 75% do cálcio pela população americana é proveniente de derivados do leite. Contudo, também nos Estados Unidos, a ingestão de cálcio está abaixo dos níveis recomendados. Uma dieta pobre em cálcio durante a infância e adolescência aumenta os riscos de osteoporose na pós-menopausa. Estudos recentes têm sugerido que consumo de cálcio deveria ser de 1500 mg/dia, contudo, a mulher americana consome em média 570 mg/dia. Pesquisadores também têm recomendado ingestão de cálcio de 800 a 1200 mg/dia para o tratamento e/ou redução do risco de hipertensão. Além disso, potássio e magnésio, os quais estão presentes em quantidades consideráveis em derivados do leite, são possíveis fatores de proteção contra hiper-

tensão (SUAREZ & SAVAIANO, 1997).

A lactose quando consumida com outros alimentos ou quando faz parte de um alimento sólido, como o sorvete, é melhor tolerada do que quando consumida no leite. Contudo, o conteúdo de gordura do leite, bem como a adição de açúcar e chocolate, provavelmente melhora a tolerância. Esta melhora é atribuída a uma demora maior no trânsito da lactose pelo estômago e intestino, permitindo que a β -galactosidase intestinal residual e a microflora do cólon metabolize mais eficientemente a lactose (SUAREZ & SAVAIANO, 1997).

Estudos têm demonstrado que a microflora fecal produtora de β -galactosidase aumenta de 3 a 6 vezes quando a ingestão de lactose é crônica, sugerindo que a colonização bacteriana se adapta a presença da lactose no cólon. O aumento na atividade da enzima poderia ser resultado de uma síntese de enzima por bactérias, ou uma alteração no número ou tipo de bactérias (SUAREZ & SAVAIANO, 1997).

Indivíduos intolerantes à lactose suportam melhor iogurte e outros leites fermentados do que leite fresco com equivalente quantidade de lactose. Uma explicação aceitável para este fato, é que a β -galactosidase presente no interior das células microbianas do iogurte ou coalhada, substitui a escassez da β -galactosidase da mucosa intestinal dos intolerantes à lactose. Tem sido proposta a elaboração de derivados de leite fermentados, usando cepas de bactérias com alta atividade de β -galactosidase em pH ácido e células microbianas mais resistentes à digestão gástrica, tais como, *Lactobacillus acidophilus* e *Bifidobacterium longum* (KOTZ *et al.*, 1994; JIANG *et al.*, 1996; BURTON & TANNOCK, 1997; MUSTAPHA *et al.*, 1997).

Aplicações da lactose hidrolisada

Muitas aplicações têm sido encontradas para a lactose hidrolisada presente no leite integral e soro, incluindo formulações infantis, produtos de panificação e confeitaria, derivados do leite, alimentos para animais e muitas fermentações industriais. Contudo, a demanda é ainda pequena para o uso de toda lactose presente no soro, resultando num baixo preço de mercado para a lactose e grande quantidade de soro dispensado em rios, colaborando para a poluição dos mesmos (YANG & SILVA, 1995).

Muitos caminhos são possíveis para tornar a lactose um produto mais interessante. Por exemplo, galactooligosacarídeos podem ser produzidos através de tratamento enzimático da lactose e podem ser usa-

dos como ingredientes em alimentos probióticos. Ácidos orgânicos ou goma xantana podem ser produzidos através da fermentação do soro e podem ser usados como ingredientes de alimentos com especial funcionalidade (YANG & SILVA, 1995).

Fundamentados no fato de que a hidrólise da lactose promove uma redução no ponto de congelamento, MARTINEZ & SPECKMAN (1988) otimizaram a utilização do soro em produtos congelados derivados do leite. O tratamento com β -galactosidase de sorvetes, leite gelado, leite batido e sobremesas geladas de baixa caloria contendo soro, resultou em produtos de boas características físicas e qualidade organoléptica. Segundo esses pesquisadores, a β -galactosidase reduz o problema associado com a cristalização da lactose, aumenta a doçura, permite a redução da sacarose ou xarope de milho nas formulações e pode melhorar as características de qualidade, tal como consistência.

PATOCKA & JELEN (1988), preocupados em reduzir o problema de arenosidade provocada pela lactose presente no soro quando este é acrescentado ao queijo ou manteiga durante a fabricação dos mesmos, promoveram a hidrólise enzimática da lactose. Concluíram que 30% de hidrólise é suficiente para evitar a arenosidade e melhorar a textura do produto.

Desde que o uso do leite em pó desnatado para a fabricação de pães tornou-se costumeiro e tecnicamente praticável, devido às proteínas do leite que fornecem maior elasticidade, maciez, volume e cor ao pão, a presença de lactose hidrolisada neste leite trouxe vantagens adicionais. A glucose e galactose, obtidas com a hidrólise da lactose, servem de substrato para a fermentação das leveduras durante o processo de fabricação do pão, além de auxiliarem na formação da crosta do produto final (SHUKLA, 1975).

Ainda com relação à panificação, o xarope de soro com lactose hidrolisada tem permitido redução na quantidade de proteína de ovos e açúcar adicionados. Na produção de confeitos, o xarope de soro hidrolisado pode substituir grande quantidade de leite condensado, sem o aparecimento de cristais e granulações, e possibilita melhor caramelização. Em sorvetes e sobremesas, este xarope pode substituir tanto o açúcar quanto o leite, e nenhuma arenosidade ocorre durante uma estocagem prolongada (NIJPELS, 1982; MACIUNSKA *et al.*, 1998).

WHALEN *et al.* (1988) demonstraram as vantagens da lactose hidrolisada na fabricação do

iogurte. Segundo eles, a adição da lactose antes da fermentação proporciona um aumento na doçura do produto final e permite uma redução da sacarose que sempre é adicionada. Este iogurte é caracterizado por melhor aroma, excelente corpo e textura, desenvolvimento mais rápido da acidez com menor tempo de coagulação, e maior digestibilidade por pessoas sensíveis à lactose.

A adição de lactose hidrolisada durante a produção de queijo fresco, resulta em uma redução no tempo de coagulação e proporciona um coágulo mais firme e elástico. Também ocorre uma redução na perda de finos, o que permite um aumento de 10% na produção. O soro obtido por este processo, normalmente terá um conteúdo de lactose hidrolisada de 55-60%, tendo adicional valor econômico e funcional em outros produtos derivados do leite, tal como o sorvete.

A vantagem resultante é a ausência da cristalização e o aumento da doçura. Em queijo maturado, o uso de lactose hidrolisada resulta em maior acidificação, o que resulta numa maior contagem bacteriana, e, conseqüentemente, uma velocidade inicial de proteólise maior. Em queijo Cheddar, ocorre o desenvolvimento mais rápido de textura com formação de ácidos graxos e aminoácidos livres, contribuindo para o desenvolvimento mais rápido do sabor e aroma (NIJPELS, 1982).

A utilização do soro como substrato para a fermentação tem sido muito estudada (MACIUNSKA *et al.*, 1998). O principal problema do uso do soro como substrato para a fermentação na produção da cerveja e vinho, se deve ao fato que poucos microrganismos são capazes de hidrolisar a lactose. *Kluyveromyces fragilis* é o mais eficiente fermentador, mas consegue converter apenas 55% da lactose em álcool. O soro, tendo sua lactose hidrolisada, permite a utilização de outros microrganismos não fermentadores da lactose, como *Saccharomyces cerevisiae*, que toleram altas concentrações de álcool (TURINI, 1982).

A ingestão oral direta da β -galactosidase por pessoas intolerantes à lactose é uma forma diferente de aplicação da β -galactosidase, visando a remoção da lactose do leite e seus derivados. A vantagem deste método é a flexibilidade: não é necessária a hidrólise da lactose no produto e não há nenhuma demora na hidrólise em nível intestinal (NIJPELS, 1982; PALUMBO *et al.*, 1995; SUAREZ & SAVAIANO, 1997). Barillas & Solomons *apud* PALUMBO *et al.*, 1995 demonstraram que β -galac-

tosidase derivada de *Aspergillus oryzae*, oralmente administrada, foi efetiva na prevenção da má absorção da lactose em crianças. Segundo SUAREZ & SAVAIANO (1997) existe uma variedade de preparações comerciais de β -galactosidase para administração oral, contudo, o tratamento não é indicado para os indivíduos que ingerem a lactose equivalente a um copo de leite ou menos por refeição.

Considerações Finais

O desenvolvimento da tecnologia baseada no uso da β -galactosidase oferece soluções para os três grandes problemas do açúcar do leite: a) saúde – devido aos intolerantes à lactose, b) poluição de rios – relacionada com o soro não utilizado disponível nas indústrias de laticínios, e, c) processamento de produtos derivados do leite tais como queijo e iogurte. Além disso a lactose pode ser utilizada como adoçante na indústria de alimentos. As preparações enzimáticas para uso industrial têm sido obtidas principalmente de mofos e leveduras.

A terapia para indivíduos sintomáticos que desejam consumir grandes quantidades de produtos contendo lactose, inclui o consumo de iogurte com culturas viáveis ou leite com lactose hidrolisada. Contudo, há evidências de que o consumo crônico de lactose provoca adaptação da microflora do cólon, aumentando a tolerância. Também a elaboração de derivados de leite fermentados usando cepas de bactérias com alta atividade de β -galactosidase em pH ácido e células microbianas mais resistentes à digestão gástrica, proporciona a hidrólise da lactose no trato intestinal proximal, evitando a fermentação da lactose pela microflora natural do trato intestinal distal, que é a responsável pelos sintomas dos intolerantes à lactose.

A indústria de derivados do leite tem o problema de excesso de soro, que é dispensado em rios. O desenvolvimento de novos produtos e a expansão do mercado da lactose do soro, bem como uma tecnologia que possibilite o processamento econômico do soro e fabricação de produtos com lactose hidrolisada, serão críticos para converter os gastos no tratamento de rios poluídos com o soro em produtos benéficos para a indústria de derivados do leite.

Referências Bibliográficas

- BURTON, J. P.; TANNOCK, G. W. Properties of porcine and yogurt lactobacilli in relation to lactose intolerance. *Journal Dairy Science*, 80: 2318-2324, 1997.
- GEKAS, V.; LOPEZ-LEIVA, M. Hydrolysis of lactose: a literature review. *Process Biochemistry*, 20: 2-12, 1985.

- GREENBERG, N. A.; MAHONEY, R. R. Production and characterization of β -galactosidase the *Streptococcus thermophilus*. *Journal of Food Science*, 47: 1824-1828, 1982.
- HERNANDEZ, R.; ASENJO, J. A. Production and characterization of an enzymatic hydrolysate of skim milk lactose and proteins. *Journal of Food Science*, 47: 1895-1898, 1982.
- JIANG, T.; MUSTAPHA, A.; SAVAIANO, D. A. Improvement of lactose digestion in humans by ingestion of unfermented milk containing *Bifidobacterium longum*. *Journal Dairy Science*, 79: 750-757, 1996.
- KIM, S. H.; LIM, K. P.; KIM, H. S. Differences in the hydrolysis of lactose and other substrates by β -D-galactosidase from *Kluyveromyces lactis*. *Journal Dairy Science*, 80: 2264-2269, 1997.
- KOTZ, C. M. *et al.* Factors affecting the ability of a high β -galactosidase yogurt to enhance lactose absorption. *Journal Dairy Science*, 77: 3538-3544, 1994.
- KRETCHNER, N.; RANSOMEKUTI, O. Digestão intestinal da lactose. *Anais Nestlé*, 93: 5-7, 1974.
- MACIUNSKA, J.; CZYZ, B.; SYNOWIECKI, J. Isolation and some properties of β -galactosidase from the thermophilic bacterium *Thermus thermophilus*. *Food Chemistry*, 63(4): 441-445, 1998.
- MARTINEZ, S. B.; SPECKMAN, R. A. β -galactosidase treatment of frozen dairy product mixes containing whey. *Journal Dairy Science*, 71: 893-900, 1988.
- MATIOLI, G. *Hidrólise da Lactose com a Enzima β -galactosidase - Modelagem Cinética*. Londrina: UEL, 1991. 220p. Dissertação (Mestrado em Ciências de Alimentos), Centro de Ciências Agrárias - Universidade Estadual de Londrina, 1991.
- MONTES, R. G. *et al.* Effect of milks inoculated with *Lactobacillus acidophilus* or a yogurt starter culture in lactose-maldigesting children. *Journal Dairy Science*, 78: 1657-1664, 1995.
- MOZAFFAR, Z.; NAKANISHI, K.; MATSUNO, R. Formation of oligosaccharides during hydrolysis of lactose in milk using β -galactosidase from *Bacillus circulans*. *Journal of Food Science*, 50: 1602-1606, 1985.
- MUSTAPHA, A.; JIANG, T.; SAVAIANO, D. A. Improvement of lactose digestion by humans following ingestion of unfermented acidophilus milk: influence of bile sensitivity, lactose transport, and acid tolerance of *Lactobacillus acidophilus*. *Journal Dairy Science*, 80: 1537-1545, 1997.
- NIJPELS, H. H. Lactases and their applications. In: BIRCH, G. G.; BLAKEBROUGH, N.; PARKER, K. J. *Enzymes and food processing*. London: Applied Science Publishers Ltd, 1981. p. 89-104.
- NIJPELS, H. H. Lactases. In: LEE, C. K.; LINDLEY, M. G. *Developments in food carbohydrate*. London: Applied Science Publishers Ltd, 1982. p. 23-48.
- NOVO A/S. Application of yeast lactases: a review. Novo's file number A 5489, 1979. 28 p.
- PALUMBO, M. S. *et al.* Stability of β -galactosidase from *Aspergillus oryzae* and *Kluyveromyces lactis* in dry milk powders. *Journal of Food Science*, 60(1): 117-119, 1995.
- PATOCKA, J.; JELEN, P. Enzymatic lactose hydrolysis for prevention of lactose crystallization in a whey spread. *Journal of Food Science*, 53(5): 1370-1372, 1988.
- PRENOSIL, J. E.; STUKER, E.; BOURNE, J. R. Formation of oligosaccharides during enzymatic lactose: part I: state of art. *Biotechnology and Bioengineering*, 30: 1019-1025, 1987.
- ROODPEYMA, S.; HILL Jr., C. G.; AMUDSON, C. H. Use of immobilized lactase in processing cheese whey ultrafiltrate. *Journal Food Process Engineering*, 6: 113-114, 1983.
- ROSADO, J. L. *et al.* Lactose maldigestion and milk intolerance: a study in rural and urban Mexico using physiological doses of milk. *Journal of Nutrition*, 124: 1052-1059, 1994.
- SHUKLA, T. P. β -galactosidase technology: a solution to the lactose problem. *Critical Reviews Food Technology*, 5: 325-356, 1975.
- SPECKMANN, E. W. Dairy foods in nutrition and health. *Journal Dairy Science*, 64(6): 1008-1016, 1981.
- SUAREZ, F. L.; SAVAIANO, D. A. Diet, genetics, and lactose intolerance. *Food Technology*, 51(3): 74-76, 1997.
- TURINI, C. A. *Produção e caracterização da β -galactosidase de Cladosporium cladosporioides (Fres.) de Vr*. Londrina: UEL, 1982. 90 p. Dissertação (Mestrado em Ciências de Alimentos), Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual de Londrina, 1982.
- WEETALL, H. H.; SUZUKI, S. Immobilized enzyme technology. New York: Plenum Press, 1975. p. 178-183.
- WHALEN, C. A. *et al.* Yogurt manufactured from whey-caseinate blends and hydrolysed lactose. *Journal Dairy Science*, 71: 299-305, 1988.
- YANG, S.; OKOS, M. R. A new graphical method for determining parameters in Michaelis-Menten type kinetics for enzymatic lactose hydrolysis. *Biotechnology and Bioengineering*, 34: 763-773, 1989b.
- YANG, S. T.; SILVA, E. M. Novel products and new technologies for use of a familiar carbohydrate, milk lactose. *Journal Dairy Science*, 78: 2541-2562, 1995.
- ZADOW, J. G. Lactose: properties and uses. *Journal Dairy Science*, 67(11): 2654-2679, 1984.

 Recebido em: 14/06/2000

Aceito em: 19/11/2000