

# Bioacumulação de selênio em células de bactérias ácido lácticas: uma alternativa para a produção animal<sup>1</sup>

Simone Pieniz<sup>2</sup>, Robson Andreazza<sup>3\*</sup>, Adriano Brandelli<sup>4</sup>,  
Flávio A. de Oliveira Camargo<sup>5</sup>

**Resumo** – O selênio é um micronutriente essencial a todos os seres vivos. Esse elemento, quando em baixas concentrações, nos animais pode comprometer a capacidade imunológica, produtiva e até mesmo a capacidade reprodutiva dos mesmos. As bactérias ácidas lácticas (BAL) provenientes do trato gastrintestinal, e da mesma forma, quando presentes nos alimentos, apresentam diversos aspectos benéficos ao seu hospedeiro como: atividade antimicrobiana, controle de patógenos e contaminações microbiológicas nos alimentos, atividade antioxidante, proteção da mucosa do trato gastrintestinal, entre outros benefícios. Devido à grande necessidade mundial da produção de alimentos, estudos com o enriquecimento de BAL com selênio podem ser promissores na produção de carne no setor agropecuário e, ainda, reduzir custos com doenças e patógenos naturais existentes no cenário agroindustrial. Desta forma, a bioacumulação de selênio por BAL pode ser uma alternativa eficiente na melhoria e no incremento da produção animal.

**Palavras-chave:** selênio, bactérias ácido lácticas, bioacumulação, enriquecimento.

## Selenium bioaccumulation by lactic acid bacterial: An alternative to animal production

**Abstract** – The selenium is an essential micronutrient for all living organisms. Low concentrations of this element in the animals can reduce the immunological, production and reproduction capacity of the animals. Lactic acid bacteria (LAB) from gastrointestinal and even in the food have shown many beneficial aspects to the host such as: antimicrobial activity, antioxidant activity, control pathogens and microbial contamination, mucous protection of the gastrointestinal system, and other benefits. Due to the high world production necessity, studies with the LAB enrichment with selenium can promote the meat production, and still can reduce the costs with diseases and natural pathogens present in the agriculture. Thus, the selenium bioaccumulation by LAB can be an efficient alternative in increasing animal production.

**Key words:** Bioaccumulation, selenium, enrichment, acid lactic bacteria.

### Introdução

As bactérias ácido lácticas (BAL) têm sido foco de intensivas pesquisas nacionais e internacionais pelo seu papel essencial na produção de derivados lácteos e fermentados, devido a sua capacidade de produzir compostos antimicrobianos, bem como apresentar atividade antitumoral, redução do coles-

terol, redução da intolerância à lactose, estimulação do sistema imunológico, estabilização da microflora intestinal, bem como propriedades probióticas (ISO-LAURI et al., 2001; JACKSON et al., 2002; HILDE et al., 2003; KHEDID et al., 2009; NUENO-PALOP e NARBAD, 2011; RIPAMONTI et al., 2011). Basicamente, o termo probiótico refere-se a microrganismos vivos, que melhoram o equilíbrio microbiano do

<sup>1</sup> Parte da Tese de Doutorado da primeira autora. Manuscrito submetido em 25/04/2011 e aceito para publicação em 24/08/2011.

<sup>2</sup> Nutricionista, Doutoranda do Curso de Pós-Graduação em Microbiologia Agrícola e do Ambiente. Bolsista CAPES. E-mail: nutrisimone@yahoo.com.br.

<sup>3</sup> Eng. Agrônomo, Dr., Pós-Doutorando do Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia, UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 7712 – 91540-000 – Porto Alegre, RS, Brasil. Bolsista REUNI. \*Autor para correspondência: robsonandreazza@yahoo.com.br.

<sup>4</sup> Químico, Dr., Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Departamento de Ciência dos Alimentos, UFRGS. Bolsista CNPq.

<sup>5</sup> Eng. Agrônomo, Dr., Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia, UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 7712. 91540-000 Porto Alegre, RS, Brasil. Bolsista CNPq.

intestino e possuem efeitos benéficos para a saúde do hospedeiro (LÓPEZ-BREA e DOMINGO, 2007).

Os efeitos benéficos dos probióticos na saúde humana e na nutrição estão sendo cada vez mais reconhecidos. Pesquisadores que estudam as propriedades e a funcionalidade dos microrganismos vivos na dieta sugerem que os probióticos desempenham um papel importante nas funções digestivas, imunológicas e respiratórias, assim, poderiam ter um efeito significativo no tratamento das enfermidades infecciosas, especialmente em crianças e em populações de alto risco (LÓPEZ-BREA e DOMINGO, 2007). Desta forma, existe a legislação da União Europeia (UE) que regula a comercialização e uso dos probióticos, suplementos dietéticos e alimentos funcionais (LÓPEZ-BREA e DOMINGO, 2007). No Brasil, o uso de probióticos foi regulamentado pela Resolução RDC nº 2, de 07 de janeiro de 2002, que aprova o regulamento técnico de substâncias bioativas e probióticos isolados com alegação de propriedades funcional e/ou de saúde (BRASIL, 2002).

A utilização de probióticos também tem sido aplicada em ração animal. Os probióticos são produtos constituídos por organismos vivos ou em suas *L-formas* (sem parede celular). Uma vez introduzidos no organismo animal, podem colonizar o novo ambiente, promover um melhor equilíbrio microbiano intestinal, produzir enzimas digestivas e, ainda, estimular a imunidade da mucosa intestinal, protegendo-a contra toxinas pré-formadas por microrganismos patogênicos (TOMA e POKROTNIKES, 2006).

Juntamente com os probióticos têm sido utilizados micronutrientes que beneficiam a saúde dos homens e dos animais. O selênio, considerado um micronutriente essencial, tem sido utilizado na elaboração de suplementos probióticos. Este elemento tanto na sua forma inorgânica (selenito de sódio ( $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ ) e selenato de sódio ( $\text{Na}_2\text{SeO}_4$ )) ou na sua forma orgânica (selenometionina (SeMet) e selenocisteína (SeCis)), através de leveduras enriquecidas, tem recebido atenção especial recentemente com relação ao seu papel na prevenção de várias doenças, entre elas o câncer (NOGUEIRA et al., 2003).

As BAL têm sido utilizadas em pesquisas visando à produção de biomassa com consequente utilização em produtos alimentícios, bem como em ração animal. A biomassa produzida por este tipo de bactérias tem sido utilizada como fonte de micronutrientes, em especial de selênio. Em comparação com as plantas, como fonte de selênio, a biomassa bacteriana apresenta maior teor de proteína,

consequentemente, maiores concentrações desse elemento podem ser incorporadas na biomassa, devido à substituição do enxofre participante na formação da proteína (PONCE de LEON et al., 2002). Além disso, o estudo da suplementação de probióticos associado com micronutrientes utilizados para a alimentação animal tem despertado o interesse de diversas pesquisas, visando à substituição de antibióticos por culturas probióticas (GUERRA et al., 2007).

Assim, a bioacumulação de selênio na biomassa bacteriana pode ser de grande contribuição à alimentação, bem como, ser uma alternativa eficaz para a obtenção de maior ganho de peso, melhor índice de conversão alimentar, maior rendimento de carcaça, melhor palatabilidade da carne, dentre outros benefícios. Por este motivo, justifica-se a importância deste trabalho de revisão bibliográfica, abordando os principais benefícios do enriquecimento de BAL com selênio, e, desta forma, contribuindo com estudos futuros, utilizando a biomassa bacteriana na elaboração de suplemento probiótico enriquecido com selênio para uso em ração animal.

### **Bactérias ácido lácticas (BAL)**

As BAL compreendem um grupo amplo de microrganismos, dentre os principais destacam-se *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Enterococcus*, *Streptococcus*, *Leuconostoc* e *Pediococcus*. São microrganismos Gram positivos, não formadores de esporos, anaeróbios, aerotolerantes, fastidiosos, ácido tolerantes, com metabolismo estritamente fermentativo, apresentando o ácido láctico como principal produto da fermentação dos carboidratos (DE MARTINIS et al., 2002). São bactérias acidófilas, sendo que a principal função das BAL nos alimentos é a acidificação dos produtos alimentares em um pH próximo a 4,0, o que impede o desenvolvimento de bactérias indesejáveis pela produção de ácidos orgânicos. Isso permite que o período de conservação dos produtos fermentados seja muito maior que o dos produtos onde a matéria-prima não seja fermentada (BROMBERG et al., 2006).

As BAL constituem um grupo de microrganismos amplamente distribuídos nos alimentos, sendo produtoras de uma variedade de compostos antimicrobianos, incluindo: ácidos, diacetil, peróxido de hidrogênio, dióxido de carbono, álcool, aldeído e substâncias antimicrobianas de natureza proteica, denominadas bacteriocinas. Todos esses compostos podem antagonizar o crescimento de bactérias deterioradoras e patogênicas presentes nos alimentos (LEROY e DE VUYST, 2004; BROMBERG

et al., 2006). Isso explica a ampla utilização das BAL em produtos alimentícios, sendo suas propriedades utilizadas na elaboração de queijos, iogurtes, leites fermentados, bebidas, salsichas e outros produtos cárneos. Mais recentemente, com o desenvolvimento dos produtos probióticos, as BAL têm sido fonte de várias pesquisas devido aos possíveis benefícios à saúde que advêm de seu consumo (FEORD, 2002).

Kinouchi (2006) demonstrou recentemente em seu trabalho que ao suplementar fêmeas de camundongos com câncer de mama biologicamente induzido, com uma dieta contendo um produto à base de soja fermentado com *Enterococcus faecium* CRL 183 e *Lactobacillus helveticus* ssp *jugurti* 416, estes apresentaram atividade anticarcinogênica. Os animais que consumiram este produto apresentaram um volume menor do tumor, comparados aos demais grupos. Ainda com relação à atividade anticarcinogênica do *E. faecium*, Sivieri et al. (2007) observaram uma redução de 40 % na incidência de tumores de cólon em ratos quimicamente induzidos e que ingeriram uma suspensão oral desse microrganismo em uma concentração diária de  $10^8$  UFC mL<sup>-1</sup>.

## Selênio

O selênio pertence ao grupo 16 da tabela periódica, localizado entre o enxofre e o telúrio, podendo ser encontrado em quatro estados de valência que são II, 0, IV e VI (PAPP et al., 2007). Este micronutriente é considerado essencial em muitos processos bioquímicos e fisiológicos, podendo ser encontrado no solo, nas plantas, no corpo humano e nos animais, e sua principal fonte para humanos e animais é a dieta (HILL et al., 2003; MENON et al., 2011; REN et al., 2011; VISSER et al., 2011). No corpo humano está presente em quase todas as células, sendo mais abundante nos rins, fígado, baço, pâncreas, glândula tireoide e testículos (NYMAN et al., 2004).

Em algumas áreas do mundo há certa deficiência de selênio em humanos, isto porque algumas populações possuem o hábito de se alimentar com alimentos de origem vegetal, como na China, sendo que o solo deste país possui deficiência de selênio. Portanto, torna-se indispensável a ingestão de alimentos fonte de selênio como frutos do mar, peixes, cereais, carne, nozes, cogumelos e ovos (MUNIZ-NAVEIRO et al., 2005) ou mesmo na forma de suplemento dietético.

Na alimentação humana, existem algumas recomendações que foram sumarizadas pelo Comitê sobre Aspectos Médicos da Política Alimentar

- COMA (1991): 0,060 a 0,075 mg Se dia<sup>-1</sup> para homens e mulheres, respectivamente; 0,075 mg dia<sup>-1</sup> para mulheres gestantes; 0,45 mg dia<sup>-1</sup> consumo máximo. Valores acima de 0,91 mg dia<sup>-1</sup> (0,015 mg kg<sup>-1</sup> de peso corpóreo para um adulto de 60 kg) indicam efeito de toxicidade. A dosagem nutricional e segura recomendada tem sido de 0,35 a 0,40 mg dia<sup>-1</sup>, baseada em um humano com 70 kg, subsistindo em uma dieta normal e 0,2 mg Se adicional dia<sup>-1</sup> na forma de suplemento nutricional.

O selênio possui três níveis de atividade biológica: 1) pequenas concentrações são requeridas para o crescimento e desenvolvimento normais; 2) concentrações moderadas que podem ser estocadas para manutenção das funções homeostáticas; e 3) concentrações elevadas que podem resultar em efeitos tóxicos (HAMILTON, 2004). Do mesmo modo, Zuberbuehler et al. (2006) e Ren et al. (2011), relatam que o Se(IV) (selenito de sódio) pode ser tanto um elemento essencial quanto tóxico, dependendo da concentração utilizada. Tanto os sinais de deficiência quanto os efeitos tóxicos do excesso de selênio incluem: redução do crescimento, letargia, diminuição das funções hepáticas, diminuição do peso do fígado, diminuição no desempenho reprodutivo, catarata, diminuição dos níveis de hemoglobina e aumento na incidência de câncer.

Níveis reduzidos de selênio nas células e tecidos têm como consequência concentrações menores da enzima antioxidante glutatona peroxidase, resultando em maior suscetibilidade das células e do organismo aos danos oxidativos induzidos pelos radicais livres (MONTEIRO et al., 2007). Dados epidemiológicos também mostraram que o selênio pode interagir com as vitaminas A e E na prevenção do desenvolvimento de tumores e na terapia da Síndrome de Imunodeficiência Adquirida (AIDS). Entretanto, outros resultados mostraram que a suplementação com esse mineral antioxidante pode aumentar os processos de carcinogênese, recomendando cautela na administração de selênio para os seres humanos (RAYMAN, et al., 2002; BOREK, 2004).

Sabe-se que nos tecidos o selênio está presente em duas formas: SeMet e SeCis. A SeMet não pode ser sintetizada no organismo e deve ser fornecida pela dieta. Esta forma pode substituir a metionina em uma variedade de proteínas (BURTIS e ASHWOOD, 2001). A SeMet é considerada como uma forma de depósito de selênio no organismo, ou seja, quando o suporte deste elemento da dieta é interrompido, este aminoácido é movimentado e repõe o selênio no organismo. O selênio constituinte de proteínas, denominadas selenoproteínas,

algumas das quais tem funções enzimáticas importantes, está na forma de SeCis, sendo a forma biológica ativa do selênio (HILL et al., 2003).

O selênio entra para a cadeia alimentar animal através do consumo de vegetais, que o absorvem a partir do solo na forma inorgânica. Nas plantas, o selênio é convertido em formas orgânicas, como o aminoácido SeMet e SeCis. SeMet é considerado o principal composto de selênio em cereais, grãos, legumes e soja, e serve de precursor para a síntese de SeCis em animais. O aminoácido SeCis é encontrado no sítio de pelo menos 25 diferentes selenoproteínas, todas com importantes funções biológicas. SeCis é estruturalmente similar ao aminoácido cisteína, entretanto, o selênio é um melhor nucleófilo do que o enxofre (CHEN e BERRY, 2003; PAPP et al., 2007; NAVARRO-ALARCON e CABRERA-VIQUE, 2008).

São exemplos de selenoproteínas que contêm SeCis: glutatona peroxidase, tioredoxina redutase, iodotironina deiodinase, selenoproteína P, selenoproteína W e metionina sulfóxido redutase, e várias destas selenoproteínas estão envolvidas nas defesas antioxidantes e regulações redox. O selênio nestas enzimas pode atuar como centro redox, por exemplo, quando a selenoenzima, tioredoxina redutase, reduz nucleotídeos na síntese do DNA e ajuda a controlar o estado redox intracelular (ANGSTWURM e GAERTENER, 2006).

O melhor exemplo da função redox é a redução do peróxido de hidrogênio a produtos inócuos, como água e alcoóis, pela família das enzimas peroxidases, selênio-dependentes tais como glutatona peroxidase (RAYMAN, 2000). Estas enzimas ajudam a manter a integridade da membrana, reduzem a probabilidade de propagação de danos oxidativos de biomoléculas, como lipídeos, lipoproteínas e DNA, que estão associados com o aumento de câncer e aterosclerose (BURTIS e ASHWOOD, 2001). O maior papel na defesa antioxidante é atribuído à enzima glutatona peroxidase. Ela reduz o peróxido de hidrogênio, lipídeos e fosfolipídeos hidroperóxidos impedindo que ocorra propagação dos radicais livres (ANGSTWURM e GAERTENER, 2006).

A tioredoxina é uma proteína pequena (12 kDa), com dois resíduos de cisteína, que é regulada e contribui para a tolerância de endotoxinas. A tioredoxina reduz a glutatona peroxidase, bem como outros peróxidos lipídicos, sendo sua forma oxidada regenerada por diferentes subtipos de tioredoxinas redutases selênio-dependentes. Estudos em ratos demonstram que a atividade desta enzima aumenta com a atividade da glutatona peroxidase após a suplementação com selênio, indicando uma

hierarquia na síntese de seleno-enzimas (HILL et al., 2003). A metionina sulfóxido redutase, que repara resíduos de metionina oxidada em proteínas, requer tioredoxina para sua subsequente redução (MOSKOVITZ et al., 2002).

Aproximadamente 60 % do selênio no plasma é incorporado em selenoproteína P, a qual contém 10 átomos de selênio por molécula de selenocisteína. A glutatona peroxidase extracelular e a selenoproteína P representam mais de 90 % do selênio no plasma e ambas podem servir como proteína transporte para o selênio. No entanto, a selenoproteína P também é expressa em muitos tecidos e tem sido associada com membranas celulares, o que sugere que embora possa facilitar o transporte de selênio para todo o corpo, esta pode não ser sua única função, pois pode atuar também como uma enzima antioxidante (BROWN e ARTHUR, 2001).

Em estudos com animais, os efeitos do consumo de selênio na concentração da selenoproteína W nos tecidos têm sido relatados como sendo necessários para o metabolismo muscular. A calcificação nos músculos esqueléticos ovinos e bovinos, conhecida como distrofia muscular nutricional ou doença do músculo branco, uma afecção miodegenerativa hiperaguda, aguda ou subaguda dos músculos cardíaco e/ou esquelético, é prevenida pela suplementação de selênio e vitamina E. A doença é caracterizada por necrose segmentar com calcificação de segmentos necróticos das fibras musculares. A importância da selenoproteína W para o metabolismo muscular esquelético humano ainda não é totalmente compreendida, mas a recente clonagem do seu cDNA vem reforçando pesquisas sobre distrofias musculares em humanos, que têm demonstrado resposta à suplementação de selênio (BROWN e ARTHUR, 2001).

Dentre os órgãos do corpo humano, a glândula tireoide é a que apresenta maior concentração de selênio. Neste órgão, o selênio está envolvido no metabolismo hormonal pela ação catalisadora da selenoenzima iodotironina deiodinase, na conversão do hormônio da tireoide (tiroxina –  $T_4$ ) para a sua forma ativa (triiodotironina –  $T_3$ ) produz o hormônio da tireoide ativo a partir do precursor inativo (COMBS et al., 2009).

Estudos epidemiológicos em humanos têm demonstrado relação inversa entre a ingestão de selênio e a incidência de câncer (FELIX et al., 2004; SONN et al., 2005). O aumento de evidências experimentais em estudos sugere que a suplementação com selênio na dieta poderia inibir tumores induzidos quimicamente em várias espécies de animais, como também inibir cânceres provocados

por vírus (WHANGER, 2004). Animais que receberam dieta suplementada com selênio mostram uma redução na incidência e no tamanho dos tumores. Contudo, o mecanismo responsável por este fenômeno ainda não é conhecido, mas se acredita que a ação do selênio em inibir o crescimento tumoral possa incluir os seguintes processos: atividade antioxidante sobre as selenoproteínas, efeito anti-inflamatório derivado de interações com o sistema imune e a via de ciclooxigenase-lipoxigenase, e também mudanças na expressão global de genes, que podem bloquear a progressão do ciclo celular ou induzir a apoptose em ambos precursores tumorais ou células estromais (FELIX et al., 2004; SONN et al., 2005).

O reconhecimento do papel das selenoproteínas no metabolismo ajuda a explicar os efeitos adversos da deficiência de selênio na saúde humana e animal. A manutenção da concentração ótima de selênio no organismo, bem como da atividade das selenoproteínas, torna-se imprescindível para a prevenção de doenças. Algumas destas doenças estão relacionadas à ingestão de baixa concentração de selênio, como na incidência de infarto do miocárdio, aumento do risco de câncer (RAYMAN, 2000; BURTIS e ASHWOOD, 2001), complicações em pacientes com doença renal, agravamento do quadro de indivíduos infectados com o vírus HIV do tipo I. Outros estudos de relevância clínica do selênio têm sido relatados, como a sua importância na reprodução. Estudos realizados com homens inférteis suplementados com selênio e vitamina E mostraram melhora na morfologia do esperma. Indivíduos tratados com selenito de sódio mostraram aumento dos níveis de selênio no fluido seminal, e aqueles que receberam selênio na forma de levedura enriquecida tiveram um aumento também na atividade da glutatona peroxidase (RAYMAN, 2000).

A importância do selênio na alimentação animal e nos processos fisiológicos tem sido relatada na literatura. Lacetera et al. (1996) e Givens et al. (2004) verificaram aumentos significativos na produção de leite em vacas suplementadas com 5 mg de selenito de sódio para cada 100 Kg<sup>-1</sup> de peso vivo. De acordo com estudo realizado por Wang et al. (2009), o selenito e selenato de sódio podem ser reduzidos a selênio elementar (Se<sup>0</sup>) pelos microrganismos ruminantes como um meio de detoxificação. Os microrganismos podem também incorporar selênio na biomassa microbiana e, desse modo, o selênio presente na ração na forma inorgânica se transformaria na forma orgânica, podendo ser absorvido no intestino delgado.

## Propriedades probióticas das BAL

Considera-se como probiótico as cepas de microrganismos que possuem a capacidade de resistir às condições ácidas, à ação da bile e lisozima e de colonizar o trato intestinal humano, ao menos temporariamente, mediante a adesão às células intestinais. Além dessas características, somam-se outras condições complementares necessárias às culturas probióticas: capacidade de ativação, rápido crescimento, resistência aos antibióticos normalmente presentes nos alimentos e ausência de propriedades patogênicas, tóxicas, alérgicas, mutagênicas ou carcinogênicas (HOLZAPFEL et al., 2001).

Os maiores benefícios à saúde humana atribuídos à ingestão de culturas probióticas são: controle e estabilização da microbiota intestinal; promoção da resistência gastrointestinal à colonização por patógenos; diminuição da população de patógenos através da produção de ácido acético e láctico e de outros compostos antimicrobianos; promoção da digestão da lactose em indivíduos intolerantes à lactose; estimulação do sistema imune; alívio da constipação; aumento da absorção de minerais e produção de vitaminas. Outros efeitos atribuídos a essas culturas são a diminuição do risco de câncer de cólon e de doença cardiovascular. É sugerida também a diminuição das concentrações plasmáticas de colesterol, efeitos anti-hipertensivos e antitumorais, redução da atividade ulcerativa de *Helicobacter pylori*, controle da colite induzida por rotavírus e por *Clostridium difficile*, prevenção de infecções urogenitais, além de efeitos inibitórios sobre a mutagenicidade (KAUR et al., 2002; PUUPPONEN-PIMIÄ et al., 2002; SERVIN et al., 2003; TUOHY et al., 2003; SAAD, 2006).

Pesquisas com probióticos também têm sido realizadas em animais por dois aspectos complementares. A demanda crescente por métodos mais conservacionistas para o tratamento e a prevenção de infecções, fruto da maior conscientização ecológica da população leiga. Por outro lado, a preocupação da comunidade científica com o surgimento de cepas de microrganismos resistentes e com o uso indiscriminado de agentes antimicrobianos. Em função disso, uma área que tem se mostrado bastante promissora é a da utilização de probióticos como promotores de crescimento e de sanidade de animais de produção, em substituição às doses subterapêuticas de antibióticos, comumente utilizadas nas rações de animais criados intensivamente, como aves e suínos (GUERRA et al., 2007). O uso indiscriminado dos antibióticos na alimentação animal pode ter resultado no desenvolvimento de

populações bacterianas resistentes (GUNDOGAN et al., 2005).

Torna-se evidente a necessidade de estudos de produtos alternativos que possam substituir os antibióticos na alimentação animal, sem causar perdas na produtividade e na qualidade dos produtos finais. Os prováveis substitutos promotores de crescimento devem manter as ações benéficas dos antibióticos e eliminar as indesejáveis, como a resistência bacteriana (PELÍCIA et al., 2004).

## Bioacumulação de selênio e BAL

A bioacumulação de metais por bactérias é uma ferramenta que tem sido amplamente utilizada em várias técnicas, como a biorremediação de locais contaminados com metais pesados (ANDREAZZA et al., 2010). Além disso, normalmente a bioacumulação de metais por bactérias pode ser realizada via a sorção na parede celular e, também, estes metais podem ser reduzidos e, posteriormente, bombeados para dentro da célula bacteriana pelas ATPases, envolvendo gasto de energia (ANDREAZZA et al., 2011).

Em estudo realizado por Pieniz (2010), BAL, mais especificamente algumas espécies do gênero *Enterococcus*, demonstraram possuir propriedade antioxidante e atividade antimicrobiana e, além disso, capacidade em acumular Se(IV) na biomassa bacteriana. Deste modo, a aplicação de BAL enriquecidas com selênio pode proporcionar melhor qualidade à ração animal, pois estas podem ser utilizadas, além de fonte protéica e potencial probiótico, como fonte de micronutrientes para a dieta animal (PIENIZ, 2010).

Resultados obtidos em estudo prévio demonstraram alto potencial de bioacumulação de selênio por espécies de *Enterococcus faecium* e *Enterococcus faecalis* (PIENIZ et al., 2011), contudo necessita-se de uma continuidade de estudos nesta área. Assim, pode-se dizer que as BAL podem ser consideradas como uma fonte promissora de micronutrientes como o selênio e podem ser uma alternativa eficiente na melhoria das características bioalimentares, desta forma, promovendo efeitos benéficos à saúde animal.

## Considerações Finais

A utilização de BAL enriquecidas com selênio pode proporcionar vários benefícios à alimentação animal, com incrementos na produção, tanto de carne quanto reprodutiva, aumentando a resistência às doenças, dentre outros benefícios como citados

anteriormente. Além disso, altas concentrações de selênio são incorporadas em células de *Enterococcus*, sendo um probiótico de baixo custo e de grande potencial na utilização da alimentação de aves, suínos e bovinos. Sabe-se que a pesquisa nesta área é importante, porém os estudos ainda são insuficientes para a implementação em grande escala destas técnicas. Deste modo, estudos com o isolamento, caracterização e aplicação de BAL enriquecidas com selênio são determinantes para melhorias no desenvolvimento da produção animal, não somente em termos de pesquisas laboratoriais, mas também para a aplicação em nível de propriedade rural.

## Agradecimentos

À CAPES e ao CNPq pela concessão de bolsas e auxílio financeiro.

## Referências

- ANDREAZZA, R.; PIENIZ, P.; WOLF, L.; LEE, M.; CAMARGO, F. A. O.; OKEKE, B. C. Characterization of copper biosorption and bioreduction by a highly copper resistant bacterium isolated from copper-contaminated vineyard soil. *Science of the Total Environment*, v. 408, p. 1501-1507, 2010.
- ANDREAZZA, R.; OKEKE, B. C.; PIENIZ, P.; BRANDELLI, A.; LAMBAIS, M. R.; CAMARGO, F. A. O. Bioreduction of Cu(II) by cell-free copper reductase from a copper resistant *Pseudomonas* sp. NA. *Biological Trace Element Research*, 2011. doi:10.1007/s12011-010-8899-3.
- ANGSTWURM, M. W. A.; GAERTENER, R. Practicalities of selenium supplementation in critically ill Patients. *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*, v. 9, p. 233-238, 2006.
- BOREK, C. Dietary antioxidants and human cancer. *Integrative Cancer Therapies*, v. 3, p. 333-341, 2004.
- BRASIL. Resolução RDC n.º 2, de 7 de janeiro de 2002. Regulamento técnico de substâncias bioativas e probióticos isolados com alegação de propriedades funcional e ou de saúde. *Diário Oficial da União, Brasília*, 17 de julho de 2002.
- BROMBERG, R.; MORENO, I.; DELBONI, R. R.; CINTRA, H. C. Características da bacteriocina produzida por *Lactococcus lactis* ssp. *hordniae* CTC 484 e seu efeito sobre *Listeria monocytogenes* em carne bovina. *Ciência e Tecnologia dos Alimentos*, v. 26, p. 135-144, 2006.
- BROWN, K.M.; ARTHUR, J.R. Selenium, selenoproteins and human health: a review. *Public Health Nutrition*, v. 4, p. 593-599, 2001.
- BURTIS, C. A.; ASHWOOD, E. R. In: *Tietz Fundamental of Clinical Chemistry*, 5ª Ed, W. B. Company, USA, 2001.
- CHEN, J.; BERRY, M. J. Selenium and selenoproteins in the brain and brain diseases. *Journal of Neurochemistry*, v. 86, p. 1-12, 2003.

- COMA. Dietary Reference Values for Food Energy and Nutrients for the United Kingdom. Report of the panel on Dietary Reference Values of the Committee on Medical Aspects of Food Policy (COMA). Department of Health RHSS 41. 1991.
- COMBS JR, G.F.; MIDTHUNE, D.N.; PATTERSON, K.Y.; CANFIELD, W.K.; HILL, A.D.; LEVANDER, O.A.; TAYLOR, P.R.; MOLER, J.E.; PATTERSON, B.H. Effects of selenomethionine supplementation on selenium status and thyroid hormone concentrations in healthy adults. *American Journal of Clinical Nutrition*, v. 89, p. 1808-1814, 2009.
- De MARTINIS, E. C. P.; ALVES, V. F.; FRANCO, B. D. G. M. Fundamentals and perspectives for the use of bacteriocins produced by lactic acid bacteria in meat products. *Food Reviews International*, v. 18, p. 191-208, 2002.
- FELIX, K.; GERSTMEIER, S.; KYRIAKOPOULOS, A.; HOWARD, O. M. Z.; DONG, H. F.; ECKHAUS, M.; BEHNE, D.; BORNKAMM, G. W.; JANZ, S. Selenium deficiency abrogates inflammation-dependent plasma cell tumors in mice. *Cancer Research*, v. 64, p. 2910-2917, 2004.
- FEORD, J. Lactic acid bacteria in a changing legislative environment. *Antonie van Leeuwenhoek*, v. 82, p. 353-360, 2002.
- GUERRA, N. P.; BERNÁRDEZ, P. F.; MÉNDEZ, J.; CACHALDORA, P.; CASTRO, L. P. Production of four potentially probiotic lactic acid bacteria and their evaluation as feed additives for weaned piglets. *Animal Feed Science and Technology*, v. 134, p. 89-107, 2007.
- GIVENS, D. I.; ALLISON, R.; COTTRILL, B. R.; BLAKE, J. S. Enhancing the selenium content of bovine milk through alteration of the form and concentration of selenium in the diet of the dairy cow. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 84, p. 811-817, 2004.
- GUNDOGAN, N.; CITAK, S.; YUCEL, N.; DEVREN, A. A note on the incidence and antibiotic resistance of *Staphylococcus aureus* isolated from meat and chicken samples. *Meat Science*, v. 69, p. 807-810, 2005.
- HAMILTON, S. J. Review of selenium toxicity in the aquatic food chain. *Science of the Total Environment*, v. 326, p. 1-31, 2004.
- HILDE, M.; OSTILE, M. H. H.; JUDITH, N. A. Growth and metabolism of selected strains of probiotic bacteria in milk. *International Journal of Food Microbiology*, v. 87, p. 17-27, 2003.
- HIIL, K.; ZHOU, J.; MACMAHAN, W. J.; MOTLEY, A. K.; ATKINS, J. F.; GESTELAND, R. F.; BURK, R. F. Deletion selenoprotein P alters distribution of selenium in the mouse. *The Journal of Biological Chemistry*, v. 278, p. 13640-13646, 2003.
- HOLZAPFEL, W. H.; HABERER, P.; GEISEN, R.; BJÖRKROTH, J.; SCHILLINGER, U. Taxonomy and important features of probiotic microorganisms in food and nutrition. *American Journal of Clinical Nutrition*, v. 73, n. 2, p. 365-373, 2001.
- ISOLAURI, E.; SÜTAS, Y.; KANKAAPÄÄ, P.; ARVILOMMI, H.; SALMINEN, S. Probiotics: effects of immunity. *American Journal of Clinical Nutrition*, v. 73, p. 444-450, 2001.
- JACKSON, M. S.; BIRD, A. R.; MCORIST, A. I. Comparison of two selective media for the detection and enumeration of lactobacilli in human faeces. *Journal of Microbiological Methods*, v. 51, p. 313-321, 2002.
- KAUR, I. P.; CHOPRA, K.; SAINI, A. Probiotics: potential pharmaceutical applications. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, v. 15, p. 1-9, 2002.
- KINOUCI, F. L. "Iogurte" de soja como coadjuvante no tratamento de câncer de mama. 2006. 85f. Tese (Doutorado em Análises Clínicas) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2006.
- KHEDID, K.; FAID, M.; MOKHTARI, A.; SOULAYMANI, A.; ZINEDINE, A. Characterization of lactic acid bacteria isolated from the one humped camel milk produced in Morocco. *Microbiological Research*, v. 164, p. 81-91, 2009.
- LACETERA, N.; BERNABUCCI, U.; RONCHI, B.; NARDONE, A. Effects of selenium and vitamin E administration during a late stage of pregnancy on colostrum and milk production in dairy cows, and on passive immunity and growth of their offspring. *American Journal of Veterinary Research*, v. 57, p. 1776-1780, 1996.
- LEROY, F.; De VUYST, L. Lactic acid bacteria as functional starter cultures for the food fermentation industry. *Trends in Food Science & Technology*, v. 15, p. 67-78, 2004.
- LÓPEZ-BREA, M.; DOMINGO, D. Antibioticoterapia con probióticos. *Revista Española de Quimioterapia*, v. 20, p. 170-181, 2007.
- MENON, K. C.; SKEAFF, S. A.; THOMSON, C. D.; GRAY, A. R.; FERGUSON, E. L.; ZODPEY, S.; SARAF, A.; DAS, P. K.; TOTEJA, G. S.; PANDAV, C. S. Concurrent micronutrient deficiencies are prevalent in nonpregnant rural and tribal women from central India. *Nutrition*, v. 27, p. 496-502, 2011.
- MONTEIRO, D. A.; RANTIN, F. T.; KALININ, A. L. Uso do selênio na dieta de matrinxã, *Brycon cephalus*. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v. 8, n. 1, p. 32-47, 2007.
- MUNIZ-NAVEIRO, O.; DOMINGUEZ-GONZALEZ, R.; BERMEO-BARRERA, A.; COCHO, J. A.; FRAGA, J. M.; BERMEO-BARRERA, P. Determination of total selenium and selenium distribution in the milk phases in commercial cow's milk by HG-AAS. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, v. 381, p. 1145-1151, 2005.
- MOSKOVITZ, J.; SINGH, V.K.; REQUENA, J.; WILKINSON, B.J.; JAYASWAL, R.K.; STADTMAN, E.R. Purification and characterization of methionine sulfoxide reductases from mouse and *Staphylococcus aureus* and their substrate stereospecificity. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, v. 290, p. 62-5, 2002.
- NAVARRO-ALARCON, M.; CABRERA-VIQUE, C. Selenium in food and the human body: a review. *Science of the Total Environment*, v. 400, p. 115-141, 2008.
- NOGUEIRA, C. W.; QUINHONES, E. B.; JUNG, E. A. C.; ZENI, G.; ROCHA, J. B. T. Antiinflammatory and antinociceptive activity of diphenyl diselenide. *Inflammation Research*, v. 52, p. 56-63, 2003.
- NUENO-PALOP, C.; NARBAD, A. Probiotic assessment of *Enterococcus faecalis* CP58 isolated from human gut. *International Journal of Food Microbiology*, v. 145, p. 390-394, 2011.
- NYMAN, D. W.; STRATON, N. S.; KOPLLIN, M. J. Selenium and selenomethionine levels in prostate cancer patients. *Cancer Detection and Prevention*, v. 28, p. 8-16, 2004.

- PAPP, L. V., LU, J., HOLMGREN, A.; KHANNA, K. K. From selenium to selenoproteins: synthesis, identity, and their role in human health. *Antioxidants and Redox Signaling*, v. 9, p. 775-806, 2007.
- PELÍCIA, K.; MENDES A. A.; SALDANHA, E. S. P. B.; PIZZOLANTE, C. C.; TAKAHASHI, S. E.; GARCIA, R. G.; MOREIRA, J.; PAZ, I. C. L. A.; QUINTEIRO, R. R.; KOMIYAMA, C. M. Probiotic and prebiotic utilization in diets for free-range broiler chickens. *Brazilian Journal of Poultry Science*, v. 6, n. 2, p. 99-104, 2004.
- PIENIZ, S. Avaliação das atividades antimicrobianas, antioxidante e capacidade de bioacumulação de selênio em células de *Enterococcus*. 2010. 108f. (Dissertação de Mestrado) – Instituto de Ciência e Tecnologia dos Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.
- PIENIZ, S.; OKEKE, B.C.; ANDREAZZA, R.; BRANDELLI, A. Evaluation of selenite bioremoval from liquid culture by *Enterococcus* species. *Microbiological Research*, v. 166, p. 176-185, 2011.
- PONCE de LEON, C. A.; BAYON, M. M.; PAQUIN, C.; CARUSO, J. A. Selenium incorporation into *Saccharomyces cerevisiae* cells: A study of different incorporation methods. *Journal of Applied Microbiology*, v. 92, p. 602-610, 2002.
- PUUPPONEN-PIMIÄ, R.; AURA, A. M.; OKSMAN-CALDEN-TEY, K. M.; MYLLARINEN, P.; SAARELA, M.; MATTILA-SANDHOLM, T.; POUTANEN, K. Development of functional ingredients for gut health. *Trends Food Science and Technology*, v. 13, p. 3-11, 2002.
- RAYMAN, M. P. The importance of selenium to human health, review. *The Lancet*, v. 356, p. 233-241, 2000.
- RAYMAN, M. P. The argument for increasing selenium intake. *Proceedings of the Nutrition Society*, v. 61, p. 203-240, 2002.
- REN, Y.; WANG, Q.; SHI, L.; YUE, W.; ZHANG, C.; LEI, F. Effects of maternal and dietary selenium (Se-enriched yeast) on the expression of p34cdc2 and CyclinB1 of germ cells of their offspring in goats. *Animal Reproduction Science*, v. 123, p. 187-191, 2011.
- RIPAMONTI, B.; AGAZZI, A.; BERSANI, C.; DEA, P.; PECORINI, C.; PIRANI, S.; REBUCCI, R.; SAVOINI, G.; STELLA, S.; STENICO, A.; TIRLONI, E.; DOMENEGHINI, C. Screening of species-specific lactic acid bacteria for veal calves multi-strain probiotic adjuncts. *Anaerobe*, v. 17, p. 97-105, 2011.
- SAAD, S. M. I. Probióticos e prebióticos: o estado da arte. *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas*, v. 42, p. 1-16, 2006.
- SERVIN, A. L.; COCONIER, M. Adhesion of probiotic strains to the intestinal mucosa and interaction with pathogens. *Best Practice and Research*, v. 17, p. 741-754, 2003.
- SIVIERI, K.; CANO, V. P. S.; VALENTINI, S. R. ROSSI, E. A. Demonstration of the cellular viability and safety of *Enterococcus faecium* CRL 183 in long-term experiments. *Le Lait - Dairy Science and Technology*, v. 87, p. 59-69, 2007.
- SONN, G. A.; ARONSON, W.; LITWIN, M. S. Impact of diet on prostate cancer: a review. *Prostate Cancer and Prostatic Diseases*, v. 8, p. 304-310, 2005.
- TOMA, M. A M.; POKROTNIEKS, J. Probiotics as functional food: microbiological and medical aspects. *Acta Universitatis Latviensis*, v. 710, p. 117-129, 2006.
- TUOHY, K.M.; PROBERT, H. M.; SMEJKAL, C. W.; GIBSON, G. R. Using probiotics and prebiotics to improve gut health. *Drug Discovery Today*, v. 8, p. 692-700, 2003.
- VISSER, J.; LABADARIOS, D.; BLAAUW, R. Micronutrient supplementation for critically ill adults: A systematic review and meta-analysis. *Nutrition*, v. 27, p. 745-758, 2011.
- WANG, C.; LIU, Q.; YANG, W. Z.; DONG, Q.; YANG, X. M.; HE, D. C.; ZHANG, P.; DONG, K. H.; HUANG, Y. X. Effects of selenium yeast on rumen fermentation, lactation performance and feed digestibilities in lactating dairy cows. *Livestock Science*, v. 126, n. 1, p. 239-244, 2009.
- WHANGER, P. D. Selenium and its relationship to cancer: an update. *British Journal of Nutrition*, v. 91, p. 11-28, 2004.
- ZUBERBUEHLER, C. A.; MESSIKOMMER, R. E.; ARNOLD, M. M.; FORRER, R. S.; WENK, C. Effects of selenium depletion and selenium repletion by choice feeding on selenium status of young and old laying hens. *Physiology & Behavior*, v. 87, p. 430-440, 2006.