



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos
Departamento de Engenharia de Alimentos

ZEА – 0561 – BIOQUÍMICA DE ALIMENTOS



APLICAÇÕES DE ENZIMAS NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS –

Uma visão geral!

Prof. Marta Mitsui Kushida

1S2019

Introdução

O QUE É BIOTECNOLOGIA?

- É o uso de
 - processos naturais (por exemplo: fermentações) ou
 - produtos dos organismos vivos (por exemplo: enzimas),
- ou seja utilizamos os organismos vivos na síntese, degradação ou produção de substâncias visando o benefício humano.



- > vamos falar aqui apenas da "biotecnologia tradicional" utilizada para fins alimentícios, mais especificamente relacionado aos microrganismos e/ou seus subprodutos

TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

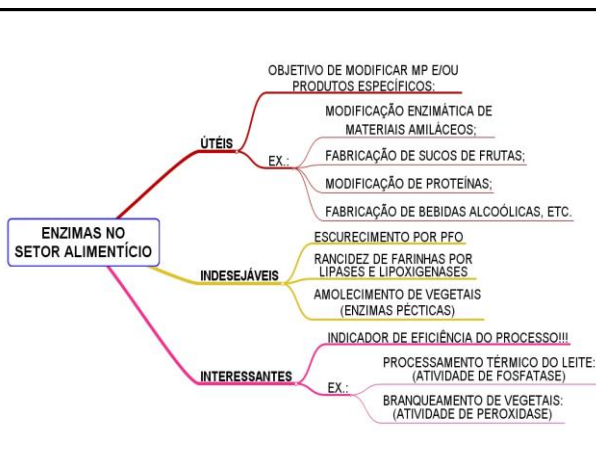


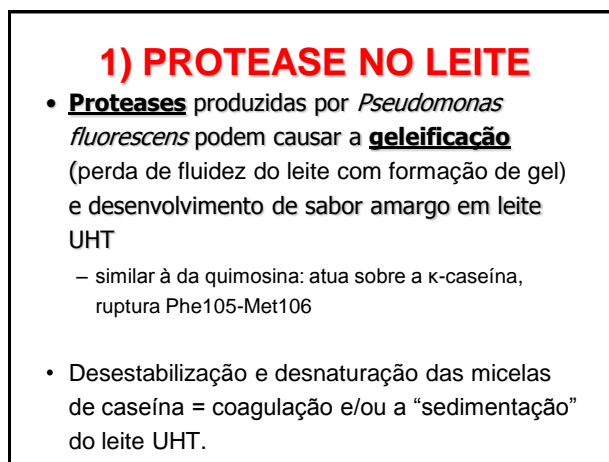
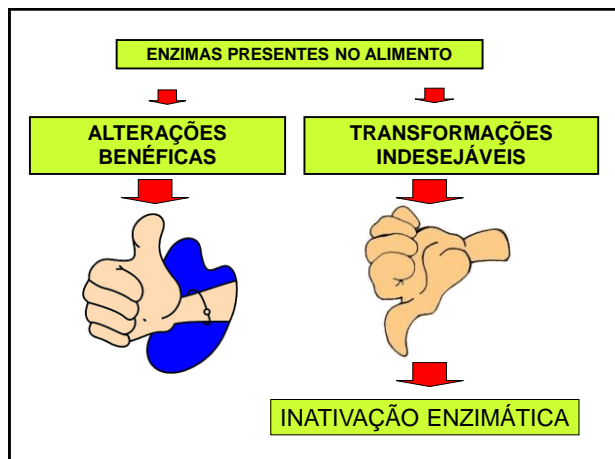
MELHORIA NA PRODUÇÃO?

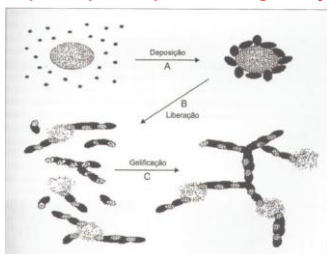
- Melhoria na matéria prima;
 - Técnicas de melhoramento agropecuário;
 - Técnicas biotecnológicas (ex.: DNA recombinante)
- Melhoria níveis de processamento;
 - Intervenção em equipamentos;
 - **Uso de enzimas (biotecnologia tradicional)**

Por que as enzimas ocupam posição de destaque no setor alimentício?

- As enzimas são substâncias **naturais** e atóxicas
- Possuem **especificidade** de ação
- Atuam em **condições brandas** de temperatura e pH
- Eficientes em **baixas concentrações**





Modelo Proposto para explicar o processo de gelificação do leite UHT

Fonte: Dados básicos: Datta e Deeth (2001)

- A – Deposição de β -lactoglobulina sobre κ -caseína durante o aquecimento UHT e formação do complexo $\beta\kappa$;
- B – Dissociação do complexo β -lactoglobulina- κ -caseína das micelas durante a estocagem do leite UHT;
- C – Gelificação do leite pela formação de ligações cruzadas entre o complexo β -lactoglobulina- κ -caseína.

Claudia Lúcia de Oliveira Pinto; Maurílio Lopes Martins; Maria Cristina Vanetti. Informe Agropecuário v.28, n. 238, 2007. <http://www.universidadedoleite.com.br/artigo-fatores-que-influenciam-a-qualidade-do-leite-ugt>

2) LIPASE NO LEITE

- Rancidez hidrolítica
- Redução da estabilidade de leite longa vida
 - Ácidos graxos livres
 - Produção de *off-flavors*
 - Alterações de sabor e odor de ranço

LIPOPROTEINA LIPASE

- EC 3.1.1.34 = encontra-se unida às micelas de caseína

Liberação de:**Ácidos graxos de cadeia curta**

Ácido butírico, ácido caproico e ácido caprílico

Gosto forte e picante.

Ácidos graxos de cadeia média

Ácido cáprico e ácido láurico

Sabor de sabão.

RANCIDEZ HIDROLÍTICA**LIPASES DO LEITE:**

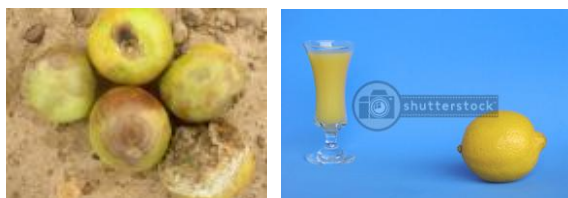
- Promovem a liberação dos AG.
- Atuam no leite cru;
- São destruídas na pasteurização;
- Não agem em leites processados

**Lipases no leite:**

- Importantes na maturação de queijos

3) ENZIMAS PÉCTICAS

- Amaciamento excessivo de frutas
- Separação de substâncias pécticas em sucos cítricos

**Pectinaesterase e Poligalacturonase:**

Tomate; alto teor de enzimas pectinolíticas – causa rápido amolecimento pós-colheita

TOMATE LONGA-VIDA: variedade geneticamente modificada, para menor produção de enzimas (poligalacturonase e pectinesterase) e de etileno

- Maior "tempo de prateleira".



3) PEROXIDASE EM SUCOS

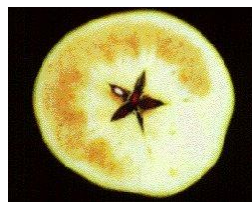


(A) água de coco recém-processada

(B) 93 dias de estocagem temperatura ambiente

4) POLIFENOLOXIDASE

- Escurecimento enzimático
- Perdas de vitaminas



5) LIPOXIGENASE

- Destruição de ácidos graxos essenciais
- Destruição de vitamina A



6) ÁCIDO ASCÓRBICO OXIDASE

- Destruição de vitamina C



CAMU-CAMU

7) TIAMINASE

- Destruição de tiamina
vitamina B₁



Aceito sugestões
para solução do efeito
indesejável das enzimas.

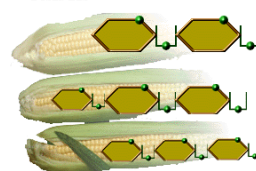
EFEITOS DESEJÁVEIS



1. Modificação de amido
2. Processamento de sucos
3. Modificação de proteínas
4. Laticínios
5. Bebidas alcoólicas
6. Alimentos fermentados

1) Enzimas na modificação do amido

Polysaccharides:
starch

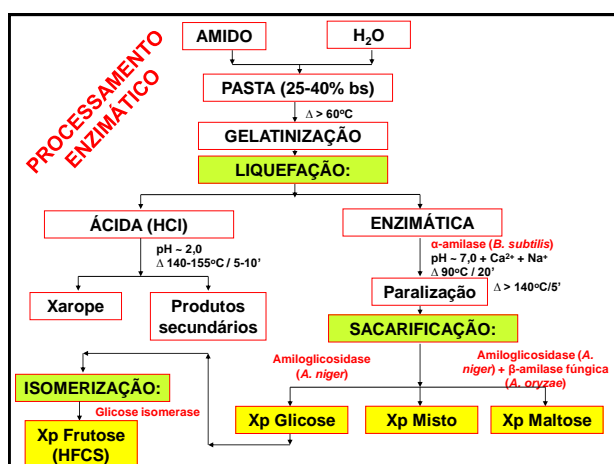


AMILASE

- Hidrólise do amido durante o amadurecimento de vegetais
- Mudanças de textura em frutas e hortaliças

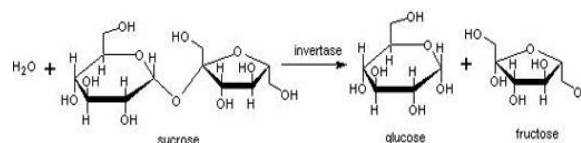
Enzimas de maior interesse na modificação do amido

- α -amilase
- β -amilase
- Glicoamilase
- Isomerase
- Glucanase
- Pululanase
- Isoamilase



INVERTASE (β -frutofuranosidase) EC 3.2.1.26)

- Conversão de sacarose em glicose e frutose
- Produção de açúcar invertido = xarope de glicose+frutose



A frutose é mais doce que a sacarose (cerca de 40%) e não cristaliza tão facilmente melhorando a textura de doces e sorvetes.

Fontes e principais características das invertases

- Amplamente distribuídas na natureza – vegetais, microrganismos e animais.
- Industrialmente as mais importantes – *Saccharomyces sp* e *Kluyveromyces sp* – leveduras
- Fungos filamentosos: *Aspergillus sp*
- Fontes vegetais: aspargos, beterraba, chicória

Além da atividade hidrolítica podem apresentar atividade de **transferases** – removem uma unidade de frutose do substrato e ligam a diferentes aceptores em diferentes posições.

Aplicação industrial das invertases

- Na obtenção de açúcar comercial não é muito difundido – hidrólise ácida com resinas catalíticas, já que a sacarose utilizada é bastante pura.
- Principal aplicação: atividade de transferase - obtenção de oligossacarídeos bifidogênicos

VAMOS VER MAIS ABAIXO!

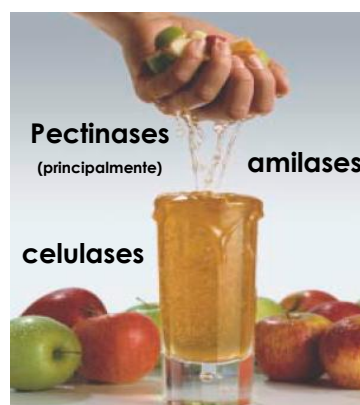
Produtos resultantes da hidrólise do amido

| PRODUTO | APLICAÇÃO |
|--|------------------------------------|
| Maltodextrina | estabilizantes, espessantes, gomas |
| Xarope misto (glicose, maltose, maltotriose) | confeitaria, refrigerantes |
| Xarope de maltose | confeitaria |
| Xarope de glicose | refrigerantes, balas, caldas |
| Xarope de frutose | refrigerantes, conservas, caldas |

Etapas da conversão enzimática do amido

| Enzima | Transformação | Produto |
|---|---|---|
| α -amilase bacteriana | Pasta de amido dextrinizada, liquefeita e viscosidade baixa | Maltodextrinas |
| β -amilase fúngica e glicoamilase | Oligossacarídeos hidrolisados (sacarificação) | Xaropes de maltose, de glicose e mistos |
| Glicose-isomerase | Isomerização da mistura sacarificada | Xarope com alto teor em frutose (HFCS) |
| | Refino do resíduo resultante da isomerização | Oligossacarídeos residuais e glicose |

2) Enzimas na indústria de sucos de frutas e vegetais



Vantagens importantes

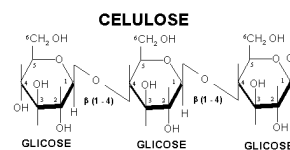
- Aumento do rendimento
- Alta qualidade
- Redução no custo do processo

Aplicações

- Clarificação
- Lavagem de polpa
enzimas pectinolíticas
Redução da viscosidade
Aumento da eficiência na extração
- Extração de óleos essenciais

CELULASE

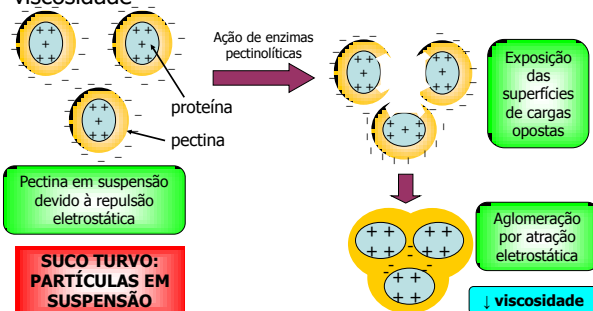
- Descascamento de frutas
- Hidrólise de carboidratos de paredes celulares
fabricação de cerveja
- Conversão de celulose em açúcares de baixo peso molecular



Pectinases

Clarificação de sucos e frutas:

Sucos após a extração: turvação e alta viscosidade



ENZIMAS PÉCTICAS

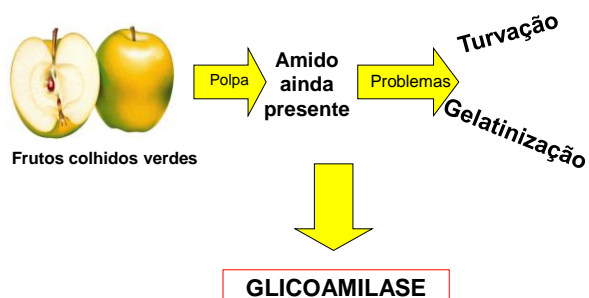
- Mudança de textura no armazenamento de frutas
- Clarificação de sucos e vinhos
- Filtração
- Aumento do rendimento



suco de pêra



INDÚSTRIA DE SUCOS



SUCOS CÍTRICOS



PROCESSAMENTO →

SUCO
+
CASCA
+
POLPA

POLPA

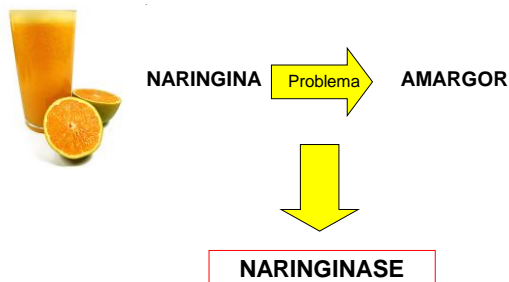
Extração do suco restante

Pectinase (30')

Lavagem com água

SOLUÇÃO 60°Brix
Importante permanecer turbidez

SUCOS CÍTRICOS



PEROXIDASE

- Determinação da eficiência do branqueamento de vegetais



POLIFENOLOXIDASE

- Desenvolvimento de reações de escurecimento durante a fermentação de café e cacau



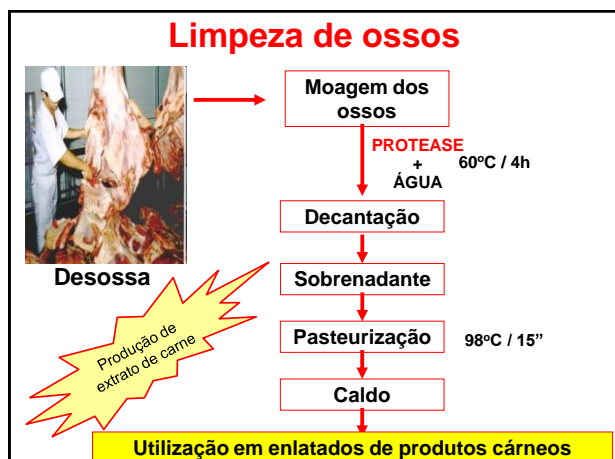
3) Enzimas na modificação de proteínas



Substratos protéicos

- Soja
- Leite
- Soro de leite
- Carne residual em ossos
- Peixes
- Gelatina

Atuação de proteases



Potencialização de sabor

- Produtos da hidrólise de proteínas contribuem para o sabor:
 - Aminoácidos e peptídeos reagem com açúcares e gorduras produzindo sabores específicos

Produção de hidrolisado proteico de pescado



Amaciamento de carne

- Utilização de enzimas proteolíticas
 - Papaína
 - Ficina
 - Bromelina



- Amaciamento de carnes
 - Injeção *ante mortem*
 - Injeção na carcaça
 - Aplicação nos cortes

4) Enzimas na indústria de laticínios



Enzimas presentes no leite

- α -amilase
- Catalase
- Lipase
- Fosfatase

Enzimas de maior interesse para a indústria de laticínios

- Renina (quimosina)
- Lipase
- Lactase

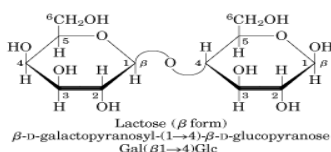
Microrganismos utilizados na indústria de laticínios

| Microrganismo | Produto laticínio |
|--------------------------|---|
| <i>Lactobacillus</i> | Queijos (pamesão, provolone, mussarela), manteiga de leite, coalhada, iogurte. |
| <i>Streptococcus</i> | Queijos (pamesão, cheddar, colby, azuis) queijo cottage, edam, iogurte, manteiga. |
| <i>Penicillium</i> | Queijos (camembert, roqueforti, azuis). |
| <i>Propionibacterium</i> | Queijos (suíços) |

Enzimas utilizadas na indústria de laticínios

| Enzima | Produto Laticínio | Finalidade |
|-----------------|---------------------------|---|
| Proteases | Queijos | Melhorar textura e sabor e coagulação |
| Lipase | Queijos | Melhorar sabor, textura e produtos dietéticos |
| Glucose oxidase | Queijos, leite em pó | Eliminação de oxigênio |
| Catalase | Leite e produtos do leite | pasteurização, melhorar sabor e textura |
| Lactase | Leite | Leite com baixo teor de lactose. |

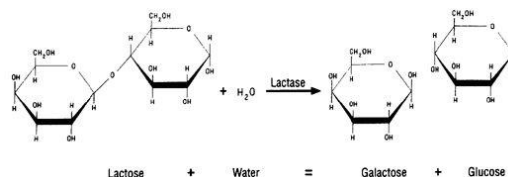
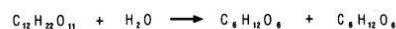
LACTASES (EC 3.2.1.23)



- Ou β -galactosidasas são enzimas que reconhecem e hidrolisam ligações glicosídicas do tipo β que envolvem galactoses e arabinoses;
- Principal substrato: lactose

LACTASE (β - GALACTOSIDASE)

- Conversão da lactose em galactose e glicose



Aplicações industriais das lactases

PRÉ-TRATAMENTO DO LEITE PARA OBTENÇÃO DE DIVERSOS PRODUTOS

• Leite congelado:

- ✓ hidrólise da lactose diminui desestabilização do leite pois não forma cristais de lactose que rompem o glóbulo de gordura.

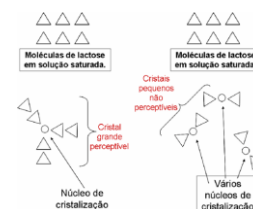


Aplicações industriais das lactases

PRÉ-TRATAMENTO DO LEITE PARA OBTENÇÃO DE DIVERSOS PRODUTOS

- Doce de leite, leite condensado e sorvete
- ✓ Diminuição da arenosidade causada pela lactose

- Prevenção da cristalização da lactose



Aplicações industriais das lactases

PRÉ-TRATAMENTO DO LEITE PARA OBTENÇÃO DE DIVERSOS PRODUTOS

- **logurte:**
 - ✓ hidrólise da lactose aumenta a doçura do produto final sem aumentar valor calórico.
 - ✓ Redução tempo fermentação
 - ✓ Melhoria da textura
 - ✓ Redução dessora
- **Queijo**
 - ✓ Queijo Cheddar- redução tempo de produção e maturação

Aplicações industriais das lactases



PRODUTOS PARA INTOLERANTES À LACTOSE

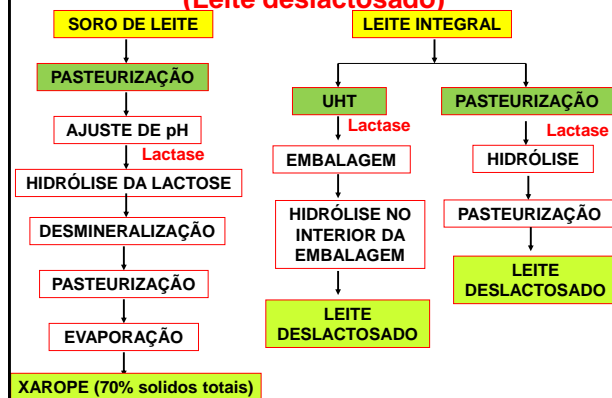
- **Ingestão ou aplicação doméstica:** cápsulas de lactase (ingestão das cápsulas ou adicionar ao leite ou produto lácteo antes da ingestão)



- **Leites com baixo teor de lactose**
 - para intolerantes à lactose
 - leite tipo UHT
 - lactase comercial de *Kluyvermyces lactis*

- Aumenta a doçura do leite (glicose + galactose é cerca de 4 a 5 vezes mais doce que a lactose)

HIDRÓLISE DA LACTOSE (Leite deslactosado)



Oligossacarídeos bifidogênicos

- Compostos que não são digeridos no trato digestório humano, capazes de atingir o cólon sem alterações.
- Favorecem o crescimento de populações microbianas benéficas (*Bifidobacterium*) em detrimento de bactérias putrefativas (*Enterobacteriaceae*)



PRÉ-BIÓTICOS

Oligossacarídeos bifidogênicos

- **Lactossacarose:**
 - transferência de uma frutose para o aceptor lactose (frutose se liga à glicose da lactose por ligação β -1,2).

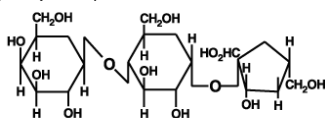


FIGURA 1. Estrutura de Lactosacarose.

- catalisada pela β -frutofuranosidase (E.C. 3.2.1.26, β -D-frutofuranosídeo frutohidrolase) microbianas.
- Este açúcar possui baixo teor calórico e também estimula o crescimento seletivo de Bifidobacterias no intestino humano

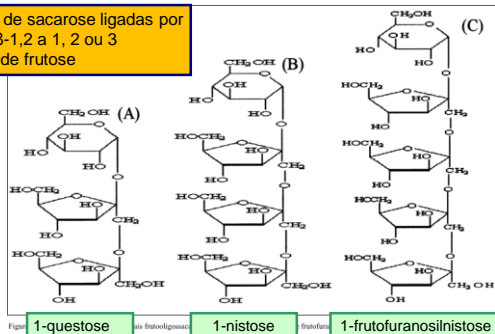
Oligossacarídeos bifidogênicos

- **Frutoligossacarídeos:**
 - ✓ Produzidos por empresas europeias e japonesas – 12.000 ton/ano



Frutoligosacarídeos: transfrutosilação por invertases

Unidades de sacarose ligadas por ligações β -1,2 a 1, 2 ou 3 unidades de frutose



Frutoligosacarídeos: transfrutosilação por invertases

- Comercializadas no Japão com o nome de “Neosugar” e “Meioligo” – marca registrada
- Invertase de *Aspergillus niger* – pH 5,0, tpt= 40° C por 72 horas

株式会社 明治フードマテリア
Meiji Food Material Co., Ltd.



Main Items of New Materials Division

- DE MEIOLIGO (fructooligosaccharide)
- DE Meiji CPP (casein phosphopeptide)
- DE Meiji Cassis Polyphenol (blackcurrant polyphenol)
- DE Meiji Beet Oligo (raffinose)
- DE Meiji Guar Fiber (food fiber processing enzymes)
- DE Meiji Coral Calcium (uncalcined)



| Informação Nutricional Porção de 130g (1 Unidade) | | |
|--|----------|-------|
| Quantidade por porção | | % VD* |
| Valor Energético | 132 Kcal | 7 |
| Carboidratos | 18g | 6 |
| Açúcares | 15g | ** |
| Proteínas | 3,4g | 10 |
| Gorduras totais | 5,0g | 9 |
| Gorduras saturadas | 4,0g | 18 |
| Gorduras trans | 0 | ** |
| Fibra alimentar | 2,3g | 15 |
| Frutoligosacarídeos | 2,3g | ** |
| Inulina | 0,9g | ** |
| Cálcio | 170mg | 24 |
| Sódio | 60mg | 3 |

(*) Valores Diários de Referência com base em uma dieta de 2.000 calorias.
(**) Valor Não Estabelecido.

Utilização de proteases

- Aceleração da maturação de queijo
- Modificação de proteínas do leite
- Redução de propriedades alergênicas de produtos lácteos
- Aumento de digestibilidade

Lipases e proteases

- Modificação das propriedades funcionais das proteínas do leite
- Desenvolvimento de sabores característicos
- Alterações na gordura para produção de requeijão

LIPASES

- Maturação de queijos
- Conversão de lipídios em ácidos graxos e glicerol
- Aumento da lipólise com a idade

A hidrólise da gordura do leite no queijo contribui para um sabor agradável



PROTEASES

> Maturação de queijos



Roquefort (Penicillium roqueforti)



Camembert
(Penicillium candidum)



Stilton (Penicillium glaucum)



Brie (Penicillium candidum)



Danish blue

Lembrem-se são fungos na ingestão direta!



Brie



Camembert



Penicillium candida
ou
P. camemberti



Gorgonzola



Roquefort



Stilton



Penicillium roqueforti
Ou
Penicillium glaucum

FOSFATASE

- Detecção da eficiência da pasteurização do leite



FOSFATASE ALCALINA

- EC 3.1.3.1 = encontrada principalmente na membrana dos glóbulos de gordura.
- Catalisa a hidrólise de monoésteres de fosfato;
- Determinação da atividade enzimática = controle da pasteurização
- Sua inativação garante que microrganismos patogênicos sejam destruídos durante o tratamento térmico.

6. Enzimas na produção de bebidas alcoólicas



Leveduras na produção de cervejas

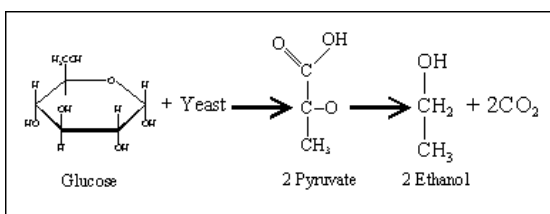


Brettanomyces Uvarum Cerevisae
Todas da família Saccharomyces

A hidrólise do amido presente no cereal é crucial para a elaboração de bebidas alcoólicas



... porque favorece a atuação de leveduras convertendo glicose em álcool



Vinhos



Enzimas da uva

- Principais enzimas encontradas na uva: pectinesterase e poligalacturonase
- Ação limitada na degradação de substâncias pectínicas



Vantagens do tratamento com pectinase na produção de vinho

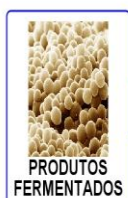
- Facilidade de prensagem
- Aumento dos teores de açúcares fermentáveis, aromas, ácidos e minerais do suco
- Fermentação mais rápida
- Maior facilidade na extração do pigmento
- Redução no tempo de processo
- Melhoria da qualidade do vinho
- Aumento da eficiência

Vantagens do tratamento do macerado com pectinase na produção de vinho

- Filtração facilitada
- Clarificação mais rápida
- Obtenção de vinhos com *bouquet* mais aprimorado
- Redução do período de envelhecimento
- Maior volume de suco extraído

6) PRODUTOS FERMENTADOS

ASPECTOS DA TECNOLOGIA DE PRODUTOS FERMENTADOS



substratos alimentares sobre os quais houve o desenvolvimento de microrganismos

leva a produtos com sabor, aroma e textura adequada e prazerosa ao consumo humano.

ação enzimática

Pode aumentar a qualidade nutricional do alimento, seja por aumento em sua digestibilidade, seja por redução da toxicidade de certas substâncias

As enzimas produzidas são principalmente amilases, proteases e lipases.

ALGUNS PRODUTOS FERMENTADOS

Carnes fermentadas

- Linguiças e salames:
 - fermentação láctica de uma mistura de carne condimentada com gordura, sal, agentes de cura (nitrito/nitrato), açúcar e especiarias.
 - A atividade enzimática de certos microrganismos é fundamental na transformação da carne crua.



Classificação de carnes fermentadas

- a) **secas**
 - $A_w < 0,90$
 - não são defumadas
 - não sofrem processamento térmico
 - consumidas sem aquecimento
- b) **semi-secas**
 - $A_w \sim 0,90$ a $0,95$
 - Recebem tratamento térmico de $60 - 68^\circ\text{C}$ durante a defumação.

cultura "starter" - bactérias do ácido láctico

- pH final gira em torno de 4,0 a 4,5;
- Reduzem o tempo de fermentação
- Asseguram um baixo conteúdo de nitrato ou nitrito residual, minimizando a formação de nitrosaminas (cancerígeno).
- O pH baixo impede o crescimento de patógenos como *Salmonella* e *Staphylococcus aureus*.

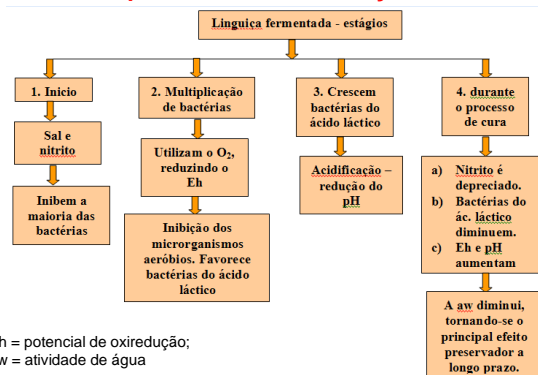
cultura "starter"

- Cultura mista de:
 - bactérias do ácido láctico (*Lactobacillus* e *Pediococcus*) e
 - uma cepa de *Staphylococcus carnosus* e/ou *Micrococcus varians* (ambos catalase positivo).
- Quando as salsichas são produzidas com:
 - **nitrito**, a cultura "starter" normalmente consiste de bactérias do ácido láctico e *Staphylococcus*.
 - **nitrato**, a cultura "starter" consiste de bactérias do ácido láctico, *Staphylococcus* e *Micrococcus* (que possuem atividade de nitrato redutase).
- As bactérias lácticas predominantes durante a fermentação são *Lactobacillus sake* e *Lactobacillus curvatus* (ambas psicrotólicas).

Microrganismos utilizados em culturas "starter" para produção de linguiças

| Classe microbiana | Espécies | Usos |
|----------------------------|---|---|
| Fungos | <i>Penicillium chrysogenum</i> <i>Penicillium nalgiovense</i> | 1.Sabor 2.Cor 3.Redução de riscos por patógenos |
| Bactérias do ácido láctico | <i>Lactobacillus curvatus</i> <i>Lactobacillus plantarum</i> <i>Lactobacillus sake</i> <i>Pediococcus acidilactici</i> <i>Pediococcus pentosaceus</i> | 1.Sabor 2.Cor 3.Vida de prateleira 4.Redução de riscos por patógenos 5.Suculência |
| Micrococaceae | <i>Micrococcus varians</i> <i>Staphylococcus carnosus</i> <i>Staphylococcus xylosum</i> | 1.Sabor 2.Cor |
| Streptomycetaceae | <i>Streptomyces griseus</i> | 1.Sabor |
| Leveduras | <i>Candida formata</i> <i>Debaryomyces hansenii</i> | 1.Sabor 2.Cor |

Efeito de preservação de carnes através do processo de fermentação

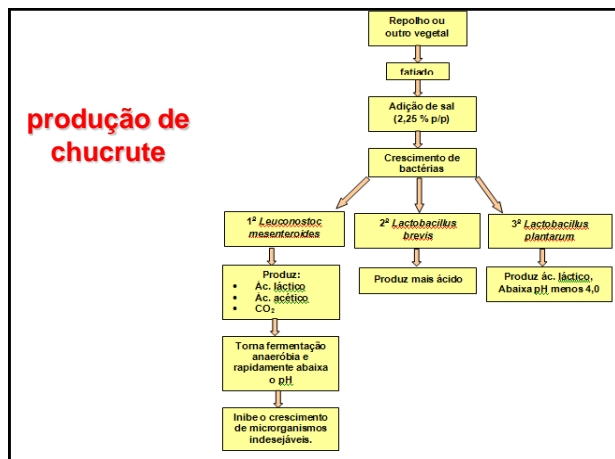


Vegetais fermentados

- picles (fermentação de pepino),
- chucrute (fermentação de repolho),
- azeitonas
- Bactérias do ácido láctico são as principais responsáveis pela fermentação

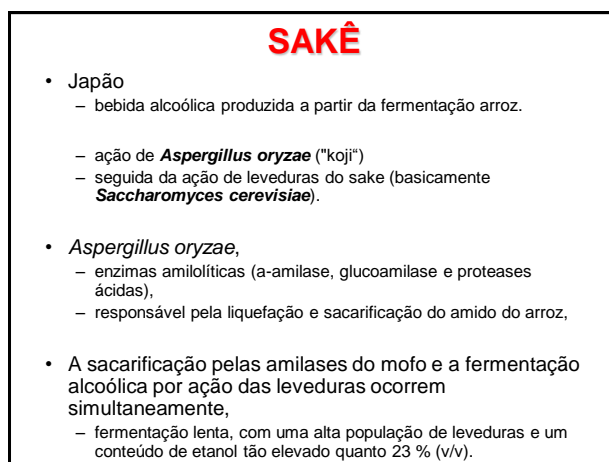
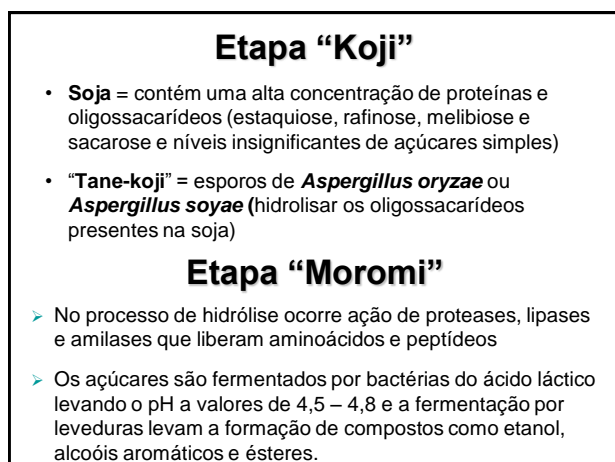
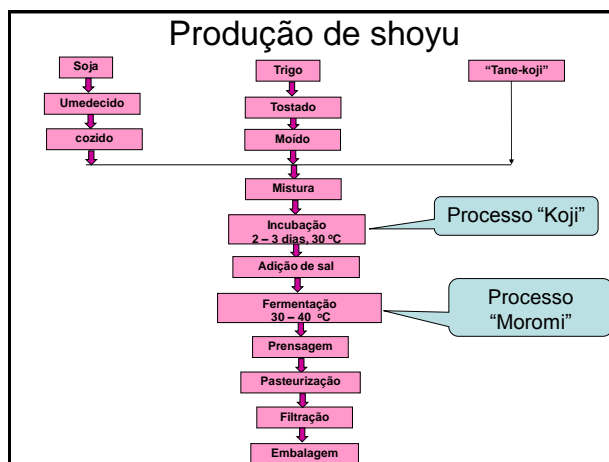
Microrganismos

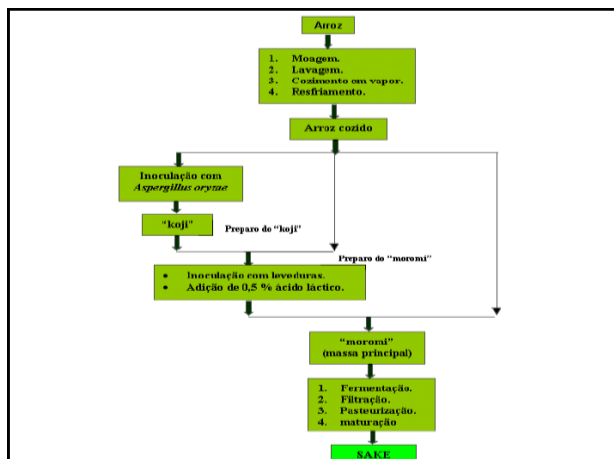
| Microrganismo | Vegetal |
|----------------------------------|--|
| <i>Lactobacillus plantarum</i> | Cenoura, pepino, pimenta, azeitona, repolho. |
| <i>Lactobacillus brevis</i> | Pepino, cenoura. |
| <i>Pediococcus cerevisiae</i> | Vegetais mistos, cenouras, pepinos, pimenta. |
| <i>Leuconostoc mesenteroides</i> | Cenoura. |



Produtos fermentados orientais

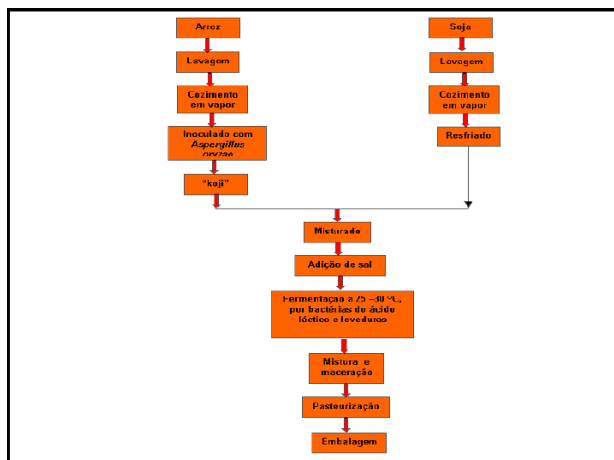
| Produto | País | Microrganismo | Substrato |
|----------|------------------|---|-----------------|
| Gari | África | <i>Lactobacillus plantarum</i> e leveduras | Mandioca |
| Kanji | Índia | <i>Hansenula anomala</i> | Arroz e cenoura |
| Kinchi | Coréia | Bactérias do ácido láctico | Vegetais, nozes |
| Lao-chao | China, Indonésia | <i>Rhizopus oryzae</i> , <i>Saccharomycopsis</i> sp | Arroz |
| Misso | Japão, China | <i>Aspergillus oryzae</i> , <i>Lactobacillus</i> , <i>Saccharomyces rouxii</i> . | Soja e arroz |
| Natô | Japão | <i>Bacillus natto</i> | Soja |
| Ogi | África | <i>Lactobacillus plantarum</i> , <i>Corynebacterium</i> , Espécies de <i>Saccharomyces</i> e <i>Candida</i> | Milho |
| Shoyu | Japão, China | <i>Aspergillus oryzae</i> , ou <i>A. soyae</i> , <i>Lactobacillus</i> , <i>Saccharomyces rouxii</i> . | Soja e trigo |
| Tempê | Indonésia | <i>Rhizopus</i> sp | Soja |





MISSÔ

- fermentação derivado da soja e cereais (arroz e cevada) na presença de elevadas concentrações de sal.
- microrganismos utilizados são os mesmos da fabricação do shoyu.
 - duas diferenças principais entre eles que são:
 - primeiro o **missô** é uma pasta sólida, dispensando as etapas de prensagem e filtração necessárias ao preparo do shoyu,
 - segundo, na etapa de preparo do "koji", a soja não é fermentada junto com os cereais e o "tane-koji".
- O "koji" é preparado utilizando-se o arroz lavado e cozido em vapor, inocula-se o fungo *Aspergillus oryzae* ("tane-koji") e a fermentação se processa a 30 - 35°C para promover o crescimento do fungo e ação das enzimas proteolíticas e amilolíticas.
- Paralelamente a soja é lavada e cozida. Após resfriar, a soja é misturada com o "koji" e sal e inoculado com bactérias e leveduras halofílicas (*Saccharomyces rouxii*, *Torulopsis*, *Pediococcus halophilus* e *Streptococcus faecalis*).
- O tempo de fermentação ocorre em vários meses a 25 - 30 °C. finalmente o produto é macerado, pasteurizado e embalado.



REFERÊNCIAS

- VITOLLO, M. Aplicação de Enzimas na Tecnologia de Alimentos. In: AQUARONE et al. **Biotechnology Industrial: biotecnologia na produção de alimentos**. São Paulo: Edgard Blücher, 2001. p. 387-420. (Volume 4). Cap.14.
- KUSHIDA, MARTA MITSUI. Princípios de Bioquímica e Biotecnologia de Alimentos. **Livronline - Curso livre EAD**. São Paulo: Livronline.com. 2001.
- NAGODAWHITANA, T.; REED, G. **Enzymes in Food Processing**. 3 ed. London: Academic Press, 1993. 480p.

Sugestões de vídeos....

- Enzymes AMFEP - <http://www.amfep.org>
- Enzymes http://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=E90D4BmaVJM
- Enzyme Reactions in Apples https://www.youtube.com/watch?v=k0fd0qkN6_U
- Oxidation in apples <https://www.youtube.com/watch?v=ZwU8xY5VnQk>
- Browning Reactions in Foods Animation https://www.youtube.com/watch?v=gk_rPkqlyao