



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA  
ENG07053 - TRABALHO DE DIPLOMAÇÃO EM  
ENGENHARIA QUÍMICA



# **Produção de Ácido Lático com Resíduos Agroindustriais: Uma Revisão da Literatura**

*Nathália Terra Pereira*

*Orientadora: Profa. Dra. Daniele Mistruini Rossi*

Porto Alegre, julho de 2019

## **Agradecimentos**

Primeiramente, agradeço a Jesus Cristo, que me deu forças para superar todos os momentos difíceis durante a graduação.

Aos meus pais, Angela e Moacir, e ao meu irmão, Leonardo, por terem me dado todo o apoio e suporte necessário para a conclusão deste curso.

À minha querida orientadora Daniele Misturini Rossi, pela ajuda, paciência e dedicação na elaboração deste trabalho.

Agradeço, também, à minha prima Clara e ao Lucas por me ajudarem a chegar aqui, e à minha amiga Vanessa Abdalla pela motivação.

A todos os professores do DEQUI, em especial ao professor Evandro e às professoras Débora e Isabel pela ajuda e conselhos durante a graduação.

## SUMÁRIO

1	Introdução.....	1
2	O Ácido Lático .....	2
2.1	Microrganismos Produtores de Ácido Lático e Caminhos Metabólicos .....	3
2.1.1	Isolamento de Novas Espécies Produtoras de Ácido Lático .....	8
2.1.2	Modificação Genética de Bactérias Produtoras de Ácido Lático .....	8
2.2	Condições de Operação .....	9
2.2.1	Temperatura.....	10
2.2.2	pH.....	10
2.2.3	Nutrientes .....	12
3	Aplicações do Ácido Lático .....	14
3.1	Cosméticos.....	14
3.2	Uso Farmacêutico e Médico .....	14
3.3	Indústria Alimentícia .....	15
3.4	PLA.....	16
4	Substratos para a fermentação do Ácido Lático .....	18
4.1	Principais Fontes de Resíduos Agroindustriais .....	20
4.1.1	Soja.....	21
4.1.2	Cana.....	22
4.1.3	Arroz.....	23
4.1.4	Milho .....	24
4.1.5	Trigo .....	24
4.1.6	Batata.....	25
4.2	Cenário Atual do Uso de Resíduos na Produção de Ácido Lático .....	28
4.3	Pré-Tratamento e Hidrólise da Biomassa Lignocelulósica.....	29
4.3.1	Hidrólise Ácida.....	32
4.3.2	Hidrólise Enzimática .....	33
5	Modos de Produção .....	35
5.1	Batelada, Batelada Alimentada e Fermentação Contínua.....	35
5.2	Processo em modo <i>Simultaneous Saccharification and Fermentation</i> (SSF) .....	36
5.3	Reciclo de Biomassa .....	36
5.4	Imobilização celular.....	37
5.5	Co-cultura de microrganismos.....	38
6	Mercado e Economia.....	39

iv	Produção de Ácido Láctico com Resíduos Agroindustriais: Uma Revisão da Literatura	
6.1	Mercado do Ácido Láctico .....	39
6.2	Análises Econômicas .....	40
7	Conclusão .....	44
8	Referências .....	45

## **Resumo**

O ácido lático é uma molécula considerada valiosa para a indústria, pois suas propriedades, tais como leve acidez, biocompatibilidade e presença dos grupos carboxílico e hidroxílico permitem o seu uso em uma ampla variedade de aplicações. O interesse pelo ácido lático vem crescendo, pois ele pode ser usado na produção do biopolímero Poli-Ácido Lático (PLA). Esse biopolímero possui características parecidas com as características dos polímeros convencionais, derivados do petróleo. Há uma expectativa de que o PLA venha a substituir os plásticos de origem petroquímica, mas para que isso ocorra, esforços precisam ser feitos para que o PLA seja produzido a preços mais competitivos. Uma das medidas que a indústria pode tomar no sentido de diminuir o preço do PLA no mercado seria encontrar uma maneira satisfatória para a produção do ácido lático através da fermentação de resíduos agroindustriais, pois são de baixo custo. Os resíduos agroindustriais têm grande potencial para substituir o açúcar industrialmente processado (usado pela maioria das produtoras de ácido lático atualmente), pois possui uma composição rica em açúcar e nutrientes, além de ser produzido em grandes quantidades pela agroindústria. Contudo, alguns aspectos ainda constituem obstáculos para o pleno emprego dos resíduos agroindustriais, como a produção de inibidores durante o pré-tratamento e a dificuldade de alguns microrganismos em metabolizar xilose e arabinose provenientes desses resíduos. Portanto, os objetivos deste estudo foram apontar os principais desafios presentes na produção do ácido lático devido às características dos microrganismos e dos substratos utilizados, discutir sobre os principais resíduos da agroindústria que podem ser utilizados na produção de ácido lático, apontando as vantagens de determinados modos de operação, além de realizar uma análise de mercado do ácido lático, com enfoque em redução de custos de produção. Assim, constatou-se que o emprego de resíduos agroindustriais não seria útil apenas para a diminuição dos custos de produção do ácido lático e do PLA, mas também para diminuir os impactos ambientais que geram ao serem descartados no meio ambiente.



## Lista de Figuras

<b>Figura 1.</b> Estereoisômeros do ácido lático (Martinez et al., 2013).....	2
<b>Figura 2.</b> Produção de ácido lático pelos métodos da síntese química e fermentativa (Wee et al., 2006a, adaptado).....	3
<b>Figura 3.</b> Metabolismo de carboidratos pelas bactérias lácticas (Tan et al., 2017, adaptado).....	6
<b>Figura 4.</b> Rotas de Polimerização do Ácido Lático (1) Condensação direta do ácido lático, (2) polimerização pela abertura do anel (FARRINGTON et al. 2005) .....	16
<b>Figura 5.</b> Série Histórica dos Resíduos gerados pela Agroindústria Brasileira.....	20
<b>Figura 6.</b> Representação da Celulose, Hemicelulose e Lignina e suas Estruturas Moleculares (Santos et al., 2012, Adaptado).....	30
<b>Figura 7.</b> Valores de Exportação e de Importação pelo Brasil de ácido lático em diferentes períodos (Fonte: Portal Comex Stat, acessado em 2019 .....	39
<b>Figura 8.</b> Comparação dos preços de PLA versus PET e PS, de acordo com o valor do açúcar e do petróleo (Verbruggen, NatureWorks, 2013, apud Van den Oever, 2017).....	42
<b>Figura 9.</b> Fluxograma de Produção do Ácido Lático (Parra-Ramírez et al., 2018, adaptado) .....	42

## **Lista de Tabelas**

<b>Tabela 1.</b> Rendimentos de Produção do Ácido Lático por diferentes espécies de bactérias	5
<b>Tabela 2.</b> Produção dos isômeros do ácido lático por diferentes bactérias.....	8
<b>Tabela 3.</b> Série Histórica de Produção Agroindustrial brasileira de diferentes culturas em milhões de toneladas.....	19
<b>Tabela 4.</b> Percentual de resíduos gerados no processamento de diferentes culturas .....	19
<b>Tabela 5.</b> Produção de Ácido Lático com diferentes resíduos agroindustriais.....	26
<b>Tabela 6.</b> Percentual de Celulose, Hemicelulose e Lignina em diferentes resíduos.....	31



**Lista de Símbolos**

D-(-)            Isômero Dextrógiro

L-(+)            Isômero Levógiro

## **Lista de Abreviaturas e Siglas**

PLA	Poliácido lático
GAP	Gliceraldeído 3-fosfato
MRS	De Man, Rogosa e Sharpe
CSL	Corn Steep Liquor

## **1 Introdução**

Anualmente, uma enorme quantidade de resíduos agroindustriais é gerada no mundo. Muitas vezes, esses resíduos deixam de ser aproveitados, sendo subutilizados e poluindo o meio ambiente. Por serem fontes de carboidratos e proteínas, além de outros nutrientes, os resíduos agroindustriais podem ser empregados na produção de ração animal, por exemplo, ou na indústria de bioprocessos, na produção de compostos como o ácido láctico.

O ácido láctico é uma molécula de grande potencial, pois pode ser aplicado em diversas indústrias, assim como na produção de polímeros biodegradáveis. É possível que no futuro os polímeros de origem petroquímica sejam inteiramente substituídos por biopolímeros, devido ao desejo das organizações internacionais na implementação do desenvolvimento sustentável. Além disso, ao serem empregados resíduos agroindustriais na produção dos biopolímeros, estes podem ter seus custos drasticamente reduzidos, apresentando vantagem econômica em relação aos polímeros petroquímicos.

Nesta revisão de literatura, serão abordados aspectos referentes à produção do ácido láctico utilizando resíduos agroindustriais, sendo os objetivos específicos os seguintes:

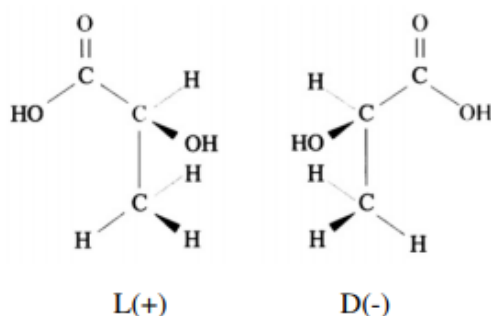
- Apontar os principais desafios na produção do ácido láctico, devido às características dos microrganismos utilizados e às características dos substratos utilizados.
- Discutir sobre os principais resíduos da agroindústria que podem ser utilizados na produção de ácido láctico, e apontar as vantagens de determinados modos de operação.
- Análise de mercado do ácido láctico, com enfoque em redução de custos de produção.

## 2 O Ácido Lático

O ácido lático é um ácido orgânico, considerado um dos componentes mais promissores vindos dos processos que utilizam açúcar como substrato na fermentação, ao lado de outros compostos, tais como o ácido cítrico, o ácido glutâmico e o glicerol. Esses compostos químicos são considerados como “blocos de construção”, moléculas com múltiplos grupos funcionais que tem alto potencial na indústria química, pois podem ser transformadas em novas famílias de moléculas úteis (U.S DEPARTMENT OF ENERGY, 2004a; Oliveira et al., 2018a).

Parte da sua importância se deve à grande variedade de aplicações que esse composto pode ter, sendo útil em diversos tipos de indústrias, tais como a química, a alimentícia e até mesmo a têxtil. Porém, o que vem chamando a atenção para o ácido lático atualmente é a possibilidade de ser usado como monômero na produção de Ácido Polilático (PLA), o qual é considerado um biopolímero renovável e biodegradável (Biogreenchoice; Rasal et al., 2010; Gupta et al., 2007; Creative Mechanisms).

O ácido lático, cuja fórmula química é  $\text{CH}_3\text{CHOHCOOH}$ , possui um carbono assimétrico, com quatro diferentes grupos de ligação:  $-\text{COOH}$ ,  $-\text{H}$ ,  $-\text{OH}$  e  $-\text{CH}_3$ . Por isso, existem dois enantiômeros do ácido lático, L(+)-ácido lático e D(+)-ácido lático, como mostra a Figura 1. Também são chamados de estereoisômeros e possuem características diferentes, sendo usados em aplicações distintas (Martinez et al., 2013).

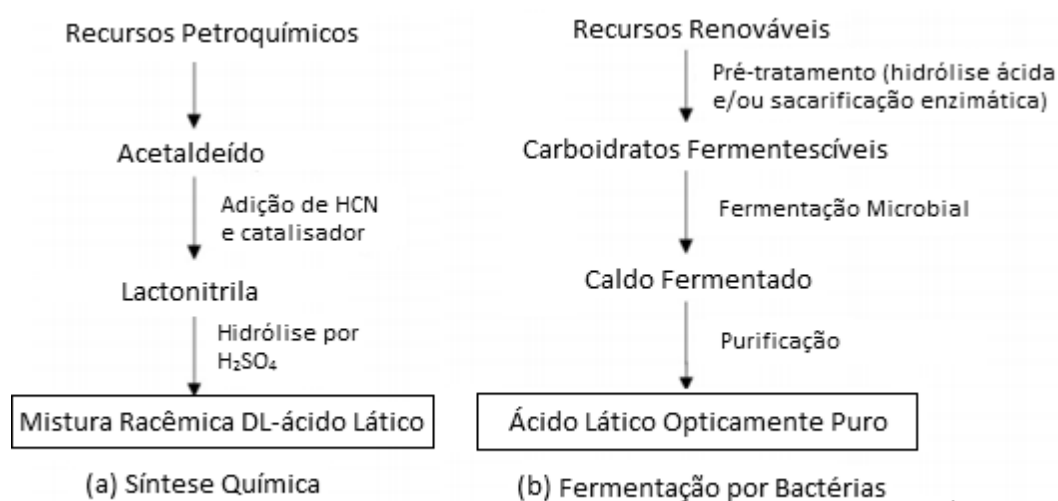


**Figura 1.** Estereoisômeros do ácido lático (Martinez et al., 2013).

Historicamente, o ácido lático foi descoberto em 1780 por Scheele, um químico suíço (Martinez et al., 2013). Sendo inicialmente considerado apenas um componente do leite, em 1857 Pasteur descobriu que na verdade se tratava de um composto de origem fermentativa que alguns microrganismos produziam (Lemelson, 2019; Chemistry Explained) e a primeira produção em escala industrial do ácido lático viria a ocorrer apenas em 1881, nos Estados Unidos (Ghaffar et al., 2014).

Esse ácido orgânico pode ser obtido tanto pela via fermentativa quanto pela síntese química. Porém, a via fermentativa é a mais utilizada industrialmente, pois esse é um processo menos caro e com algumas outras vantagens, como a produção de apenas um dos estereoisômero em vez de uma mistura racêmica, como ocorre pela via da síntese química (Pal et al., 2009). A produção de uma mistura racêmica geralmente não é interessante, pois a pureza óptica e a razão entre as quantidades dos dois estereoisômeros influencia na qualidade final e nas propriedades do PLA (Sodegard; Stolt, 2002), sendo que, na maioria dos casos, o monômero desejado é o L-ácido-lático (Pal et al, 2009).

Outro fator que influencia na escolha do método de produção é a natureza limitada dos recursos petroquímicos necessários para a síntese química (Wee et al., 2006a), além da preocupação com questões ambientais (Ghaffar et al., 2014). Assim, a majoritária produção industrial do ácido lático se concentra na forma fermentativa, a qual é responsável por 90% da produção desse ácido (Hofvendahl e Hahn-Hiigerdal, 2000). A produção sintética, realizada em menor escala, é realizada pela hidrólise da lactonitrila (Wee et al., 2006a; Hofvendahl e Hahn-Hiigerdal, 2000). As duas vias de produção estão esquematizadas na Figura 2.



**Figura 2.** Produção de ácido lático pelos métodos da síntese química e fermentativa (Wee et al., 2006a, adaptado).

## 2.1 Microrganismos Produtores de Ácido Lático e Caminhos Metabólicos

Os maiores produtores de ácido lático são fungos e bactérias. Dentre os fungos, a principal espécie estudada é *Rhizopus oryzae*. Uma das vantagens dos fungos é a sua habilidade amilolítica, dispensando a etapa de sacarificação necessária para a obtenção dos açúcares quando se utiliza resíduos agroindustriais (Tan et al., 2017). Contudo, algumas

desvantagens dos fungos incluem a necessidade de aeração (Tan et al., 2017). Atualmente, a maior parte da produção industrial do ácido lático utiliza bactérias (Krishna et al., 2018).

Diversos gêneros de bactérias são consideradas “bactérias lácticas”, ou seja, bactérias que produzem o ácido lático. Dentre esses, os gêneros mais estudados são *Lactococcus*, *Lactobacillus*, *Streptococcus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus*, *Aerococcus*, *Carnobacterium*, *Enterococcus*, *Oenococcus*, *Tetragenococcus*, entre outros (Todar, 2012). Além dos grupos de bactérias lácticas, outros gêneros também produzem ácido lático. Um deles é o gênero *Bacillus sp.* (Tan et al., 2017).

*Lactobacillus* é o gênero mais conhecido e com o maior número de espécies e subespécies do grupo das bactérias lácticas (Dellaglio et al., 2007), além de ser o gênero mais importante na produção industrial de ácido lático (Oliveira et al., 2018a). Existem mais de 200 espécies e subespécies desse gênero (National Center for Biotechnology Information, 2019). Essas bactérias costumam ser acidófilas (Menconi et al., 2014) e com complexas exigências nutricionais (Abdel-Rhman et al, 2013; Todar, 2012).

Algumas das espécies comercialmente importantes na produção de ácido lático incluem *Lactobacillus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii*, *Lactobacillus casei* e *Bacillus coagulans* (Nawaz et al., 2017). Linhagens de *Bacillus coagulans* são uma opção interessante pois podem produzir ácido lático opticamente puro, tendo boa tolerância a altas temperaturas e a baixas concentrações de nutrientes, além de formar poucos subprodutos indesejados e de ser capaz de fermentar xilose (Ma et al., 2016; Budhavaram e Fan, 2009), características consideradas importantes para uma produção eficiente de ácido lático, como será explicado nesse trabalho.

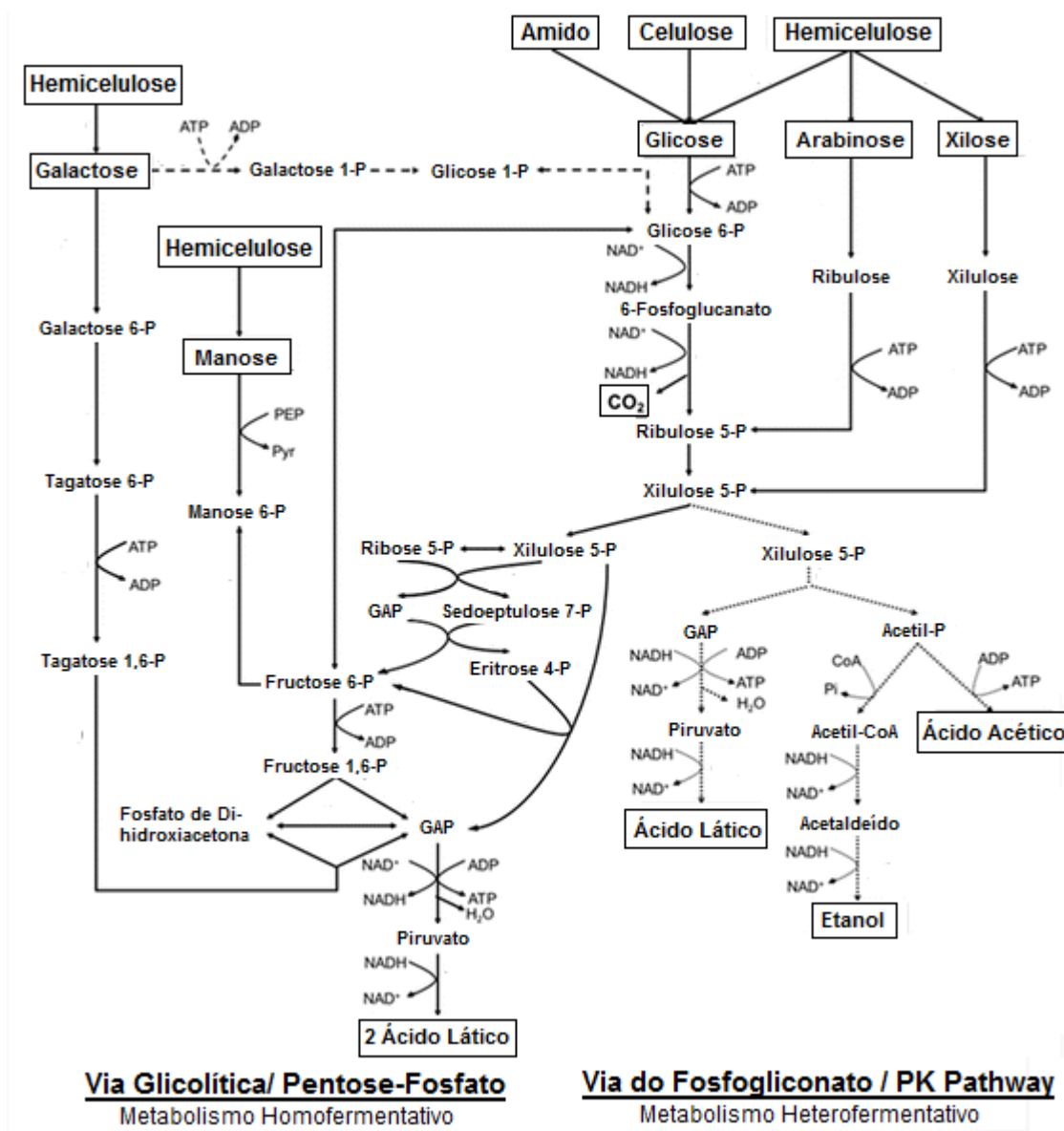
Apesar de existirem muitas espécies de microrganismos capazes de produzir o ácido lático, nem todos serão bons produtores, pois nem todos realizam a fermentação com bons rendimentos e produtividades, como mostra a Tabela 1. Além disso, as bactérias podem realizar a fermentação pela via homofermentativa ou pela via heterofermentativa (Figura 3). A via heterofermentativa deve ser evitada, pois além de produzir pouco ácido lático ainda produz outros subprodutos, sendo o caminho homofermentativo o ideal para a produção em escala comercial (Krishna et al., 2018 ; Abdel-Rhman et al, 2013).

**Tabela 1.** Rendimentos de Produção do Ácido Lático por diferentes espécies de bactérias

<b>Microrganismo</b>	<b>Substrato</b>	<b>Rendimento (g/g)</b>	<b>Referência</b>
<i>L. plantarum</i>	Lactose	0,94	Orozco et al., 2014
<i>L. bulgaricus</i>	Lactose	0,52	Orozco et al., 2014
<i>L. delbrueckii</i>	Lactose	0,99	Orozco et al., 2014
<i>L. helveticus</i> ATCC 15009	Xilose	0,39	Wischrall et al., 2018
<i>L. pentosus</i> ATCC 8041	Xilose	0,94	Wischrall et al., 2018
<i>L. coryniformis coryniformis</i> ATCC 25602	Xilose	0,16	Wischrall et al., 2018

Os principais carboidrato para a fermentação são a glicose (hexose), xilose e arabinose (pentoses). A fermentação homofermentativa de pentoses segue a via glicolítica (caminho pentose-fosfato) e produz apenas o lactato (ácido lático). Na via pentose-fosfato, as pentoses são convertidas por enzimas a xilulose 5-fosfato, que é clivada em gliceraldeído 3-fosfato (GAP). GAP é convertido em piruvato que é clivado em ácido lático (Wang et al., 2015), sendo o rendimento teórico do processo de 1,67 mol/mol (Abdel-Rhaman et al., 2013). Já a homofermentação de hexoses segue o caminho Embden-Meyerhof-Pernas (EMP) (Tan et al., 2017). Na via EMP, a hexose é metabolizada em glicose-6-fosfato pela enzima hexokinase e, posteriormente, em frutose-6-fosfato. Depois, outros intermediários são formados até que o ácido lático seja produzido a partir do piruvato, sendo o rendimento teórico do processo de 2 mol/mol (Abdel-Rhaman et al., 2013). Na homofermentação, os microrganismos podem produzir ácido lático com um rendimento superior a 85% (Cappelari, 2010).

Já no processo metabólico heterofermentativo, a via é a do fosfogliconato (PK pathway) (Tan et al., 2017), e produz não apenas ácido lático, como também etanol, gás carbônico e acetato (Todar, 2012b; Tan et al., 2017; Guo et al., 2014). Na via do fosfogliconato, o rendimento teórico é de 1 mol/mol tanto para as hexoses quanto para as pentoses (Abdel-Rhaman et al., 2013). O gás carbônico é proveniente da glicose 6-fosfato derivada da hexose e o etanol e o ácido acético são formados a partir do acetil fosfato formado na clivagem da xilulose 5-fosfato. A via do fosfogliconato para pentoses também produz etanol e ácido acético a partir da xilulose 5-fosfato derivada dos açúcares (Tan et al., 2017). Nesse modelo de fermentação, o rendimento de produção do ácido lático é de apenas 50%, sendo menos interessante para a produção industrial. (Cappelari, 2010).



**Figura 3.** Metabolismo de carboidratos pelas bactérias lácticas (Tan et al., 2017, adaptado).

Alguns gêneros que seguem a via homofermentativa são: *Lactococcus*, *Streptococcus*, *Pediococcus*, *Enterococcus*. Outros gêneros de bactérias tendem a seguir a via heterofermentativa, como por exemplo *Leuconostoc* e *Oenococcus*. Os *Lactobacillus* podem ser tanto heterofermentativos quanto homofermentativos, dependendo da espécie (Abdel-Rahman et al., 2013).

Assim, a via heterofermentativa constitui um dos principais empecilhos na produção de ácido láctico. Portanto, a escolha do microrganismo ideal para a fermentação é uma etapa importante, pois pode evitar a formação de subprodutos indesejados. Existem algumas estratégias para contornar esse problema caso não se tenha uma espécie adequada de microrganismo disponível, tais como o isolamento de bactérias ou a modificação genética



de espécies de bactéria para que elas se tornem homofermentativas (Guo et al., 2014; Abdel Rahman et al., 2011; Thapa et al., 2017).

Além disso, a concentração inicial de carboidratos também pode afetar o rendimento da produção de ácido láctico. Concentrações de açúcares no meio de cultivo acima de um determinado valor, para diferentes microrganismos, podem causar estresse osmótico. Para muitas bactérias produtoras de ácido láctico, esse limite se encontra a uma concentração de 150 g/L de açúcar (Abdel-Rhaman e Sonomoto., 2016).

Novas espécies de bactérias que suportem concentrações mais elevadas de substratos podem ser isoladas ou desenvolvidas. Por exemplo, Ge et al. (2010), através de um rastreamento genético de *L. casei*, encontraram uma bactéria mutante com alta resistência osmótica, capaz de tolerar concentrações de até 360 g/L de glicose. Essa nova linhagem de *L. casei* G-03, mesmo em meios contendo elevadas concentração de glicose, foi capaz de produzir 198,2 g/L de ácido láctico a partir de 210 g/L de açúcar, com uma produção 115% maior que a produção da bactéria *L. casei* comum.

Além do *screening* de espécies mutantes, outras estratégias para driblar o estresse osmótico causado pelo excesso de substratos também incluem: alimentação controlada (Bernardo et al., 2016; Ding e Tan, 2006), pois o carboidrato não precisaria ser adicionado a altas concentrações de uma só vez no meio fermentativo, e o uso de substâncias osmoprotetoras (Xu e Xu, 2014; Zou et al., 2013).

Outro aspecto que pode ser afetado na produção de ácido láctico devido à escolha do microrganismo é a pureza óptica do produto final. A mistura racêmica de L-ácido láctico e D-ácido láctico é geralmente indesejada. Isso ocorre pois L-ácido láctico e D-ácido láctico, por serem enantiômeros, possuem diferentes propriedades biológicas (Klebe, 2013), tendo diferentes aplicações (Wischrall et al., 2018). Assim, ao obter um produto puro opticamente, está se potencializando certa característica desejável de um dos isômeros. Além disso, a pureza óptica do ácido láctico também é importante para a produção do PLA (Scheele, 2016). Para evitar que a produção de ambos os isômeros ocorra de forma aleatória, formando a mistura racêmica indesejada, é necessário analisar bem qual bactéria será utilizada na produção de ácido láctico, pois diferentes espécies têm diferentes preferências de produção, como mostra a Tabela 2.

**Tabela 2.** Produção dos isômeros do ácido lático por diferentes bactérias

<b>Produto</b>	<b>Bactérias produtoras</b>
L-ácido lático	<i>Lactobacillus casei</i> , <i>Lactobacillus paracasei</i> , e <i>L. rhamnosus</i>
D-ácido lático	<i>L. delbrueckii</i> , <i>Lactobacillus coryniformis</i> , <i>Lactobacillus jensenii</i> , e <i>Lactobacillus vitulinus</i>
DL-ácido lático	<i>L. pentosus</i> , <i>L. plantarum</i> , <i>L. brevis</i> , <i>Lactobacillus sake</i>

Fonte: Kuo et al., 2015

### 2.1.1 Isolamento de Novas Espécies Produtoras de Ácido Lático

Quando não se tem disponível uma espécie com as características desejadas, é possível aplicar as técnicas de isolamento. Nesse caso, selecionam-se microrganismos com características apropriadas para a fermentação e produção do ácido lático, que apresentem bons rendimentos de produção com boa pureza óptica e resistência a meios adversos (Cubas Cano et al., 2018).

Esses microrganismos que serão isolados são obtidos de diversas fontes. Por exemplo, Abdel-Rahman et al (2015b) conseguiram isolar o *Enterococcus faecium* QU50 de uma amostra de solo. Essa espécie foi capaz de produzir ácido lático com bom rendimento (1 g/g) e boa pureza óptica (99,2%) a partir da xilose de origem de substratos lignocelulósicos que foram fermentados pela bactéria pela via homofermentativa, produzindo apenas ácido lático. O uso da via homofermentativa é importante para que haja um bom rendimento, como já foi discutido.

Também é interessante o isolamento de espécies que sejam tolerantes ao meio ácido (Jukonyte et al., 2018), já que a inibição pelo produto é um dos desafios da produção do ácido lático. Além disso, como o maior interesse atual para o ácido lático é a produção do PLA, o isolamento de bactérias que produzam o isômero opticamente puro é vantajoso. Como exemplo, Thitiprasert et al. (2017) conseguiram isolar *Bacillus sp.* BC-001, uma nova espécie capaz de produzir L-ácido lático com 100% de pureza óptica a altas taxas de produtividade (2,8 g/Lh) em batelada.

### 2.1.2 Modificação Genética de Bactérias Produtoras de Ácido Lático

A modificação genética envolve a manipulação, introdução ou retirada de genes das células. Essa técnica pode evitar vários dos desafios relacionados à produção de ácido lático,

aumentando a resistência ao estresse do meio ou até mesmo mudando o metabolismo do microrganismo radicalmente, para que ele passe a produzir ácido lático como o único produto final da fermentação (Wu et al., 2013; Guo et al., 2014).

Thapa et al. (2017) realizaram uma modificação genética na espécie *Enterobacter aerogenes* ATCC 29007. Essa espécie produz uma quantidade significativa de ácido acético na fermentação. Para aumentar a produção de ácido lático, o gene *pta* (phosphate acetyltransferase) foi deletado no cromossomo do microrganismo. Com esse procedimento, a nova bactéria, *E. aerogenes* SUMI01, passou a produzir o dobro de ácido lático e a produção dos outros subprodutos diminuiu.

Outra estratégia seria aumentar a capacidade da bactéria de utilizar xilose como fonte de carbono. Zhang et al (2016) transferiram *xylAB* operon de *L. bravis* (uma bactéria capaz de utilizar simultaneamente glicose e xilose) para *L. plantarum*, criando uma nova estirpe modificada capaz de utilizar xilose de palha de milho como fonte de carbono em batelada alimentada com rendimento de 0,77 g/g. Similarmente, Qiu et al. (2018) construíram caminhos de assimilação de xilose nos cromossomos de *Pediococcus acidilactici* obtendo 94,9% de conversão de xilose em L-ácido lático.

Essas mudanças genéticas que permitem que os microrganismos utilizem a xilose ou outros tipos de açúcares são importantes para processos que usam resíduos agroindustriais, pois esses materiais quando hidrolisados liberam os mais diversos tipos de açúcar.

Para aumentar a tolerância das bactérias ao estresse térmico e osmótico, a engenharia genética também pode servir de grande ajuda. Abdullah-Al-Mahin et al (2010) modificaram *Lactococcus lactis* para que expressasse uma proteína chamada DnaK de origem da *Escherichia coli*. Assim, *L. lactis* ficou mais tolerante à presença de NaCl e etanol, e capaz de aguentar temperaturas de 40°C. Para aumentar a tolerância a meios ácidos, Zheng et al. (2010) também alteraram o genoma da bactéria *Sporolactobacillus inulinus* ATCC 15538.

## 2.2 Condições de Operação

No processo de produção do ácido lático, o controle de parâmetros de operação é essencial para o bom desempenho da fermentação. Os principais parâmetros que devem ser monitorados são: temperatura, pH e nutrientes.

Como cada espécie de bactérias possui suas próprias especificidades, os valores ótimos para cada um desses parâmetros citados mudarão de acordo com o microrganismo escolhido.

### 2.2.1 Temperatura

As diferentes espécies de bactérias possuem diferentes temperaturas ótimas de crescimento. As bactérias lácticas podem ser termofílicas ou mesofílicas (Idris e Suzana, 2006). A maior parte das bactérias com aplicações industriais é mesofílica com temperaturas ótimas em torno de 37 °C (Abdel Rahman e Sonomoto, 2016).

O caráter mesofílico das bactérias pode aumentar o risco de contaminação do meio fermentativo (Abdel-Rahman et al., 2015b). Uma forma de contornar esse problema seria o uso de espécies termofílicas (Abdel-Rahman et al., 2015b). A maior parte das espécies do gênero *Bacillus sp.* são consideradas termofílicas, com temperaturas ótimas a 50 °C (Abdel Rahman e Sonomoto, 2016). Além da diminuição do risco de contaminação, o uso de bactérias termofílicas possibilita o emprego do método de produção onde a sacarificação e a fermentação ocorrem de forma simultânea, pois a temperatura ótima das enzimas é alta (Abdel-Rahman et al., 2013).

Cada espécie terá a sua temperatura ótima, que deve ser investigada antes da produção de ácido lático ser realizada, para que se possa obter o melhor rendimento possível. Por exemplo, segundo Idris e Suzana (2006), para a bactéria *L. delbrueckii* a melhor temperatura seria a 37 °C com uma produção de 28,73 g/L e rendimento de 91,7%, usando resíduo de abacaxi em um sistema em batelada.

Em outros estudos, Jiang et al (2019) usaram *Bacillus coagulans* para produção L-ácido lático a partir de hidrolisado de resíduos de espiga de milho. Uma produção de 68 g/L em batelada e 79,1 g/L em batelada alimentada foram obtidas a uma temperatura de 50°C. Sakai et al. (2006) também encontraram uma temperatura ótima de 50 °C para *Bacillus coagulans*, além de uma temperatura ótima de 33°C para *Lactobacillus plantarum*.

A temperatura tem grande influência na produção de ácido lático, pois influencia o crescimento e as atividades metabólicas das bactérias (Gao et al., 2018). Além disso, ela pode direcionar o fluxo de carbono, sendo importante que esse fluxo esteja direcionado para a via de produção do piruvato, da qual provém o ácido lático (Qin et al. 2012). A temperatura também é importante na pureza óptica final do ácido lático (Jian et al., 2016).

### 2.2.2 pH

O metabolismo dos microrganismos e a atividade catalítica das enzimas depende do pH (Silva e Mancilha, 1991, apud Mussatto et al., 2008). Quando em estresse causado por meio ácido, as bactérias passam a produzir ácidos graxos que irão mudar a fluidez da membrana, diminuindo o fluxo com o meio externo (Fernandez et al., 2008). Portanto, não apenas a

determinação da melhor temperatura de produção é importante, como também a determinação do melhor pH.

Em geral, o pH ideal para a produção de ácido lático pelas bactérias fica entre 5 e 7 (Mussatto et al., 2008), mas pode haver uma grande diferença no rendimento de produção nessa pequena faixa de pH. Por exemplo, um estudo realizado por Tang et al. (2017) utilizando resíduos de alimentos, mostrou que em um meio contendo uma mistura com várias espécies do gênero *Lactobacillus*, o melhor pH para a produção de ácido lático foi 5, já a um pH 6 a produção caía consideravelmente.

Porém, assim como no caso da temperatura, o pH ótimo é peculiaridade de cada espécie. Por exemplo, o pH ótimo para *L. plantarum* é 6. Assim, o uso de substâncias alcalinas para neutralizar o pH do meio à medida que o ácido lático é produzido é fator essencial para o aumento da produtividade, e parar de acrescentar substâncias alcalinas ao meio resulta em efeitos inibitórios para o crescimento celular (Oliveira et al., 2018a).

Para o *Lactobacillus acidophilus*, o pH ótimo encontrado foi de 6,08 de acordo com um estudo publicado por Meena et al. (2014). Já para o *Lactobacillus bulgaricus* CFL1, em outro estudo, o melhor pH foi 5, sendo encontradas grandes diferenças na estabilidade e crescimento das células entre o pH 5 e 6. Devido a tais diferenças, tornou-se imprescindível manter um pH 5 para obter um estado fisiológico mais robusto das células (devido à maior integridade da membrana) e um melhor desenvolvimento do processo quando utilizada a espécie *Lactobacillus bulgaricus* CFL1 (Rault et al., 2009).

O controle do pH é capaz de multiplicar a produção de ácido lático em mais que o dobro de produção. Nos experimentos de Mussatto et al. (2008), usando hidrolisado de resíduos de cervejaria, sem controle de pH, inicialmente foi obtido apenas 13 g/L de ácido lático. Após a implementação do controle de pH no meio de cultivo, passou-se a ter uma produção de 35,54 g/L. Sem o controle do meio, a produção parava quando era atingido o pH 4,2, causando o desperdício da glicose do meio.

A diminuição do pH do meio à medida que o ácido lático vai sendo formado causa a inibição pelo produto. O acúmulo de ácido lático (e conseqüente diminuição do pH) produzido no meio fermentativo pode prejudicar a produção por fermentação ao inibir o desenvolvimento das bactérias. Isso ocorre porque a baixos valores de pH, a produção de enzimas e o transporte de nutrientes para dentro das células é prejudicado, assim como a produção de RNA e proteínas (Klovrychev et al., 1979, apud Panesar et al., 2007).

Para contornar a inibição causada pelo ácido lático, é possível aliar duas estratégias: o uso de microrganismos ácido-tolerantes combinados com sistemas de cultura em modo contínuo (Abdel-Rhman e Sonomoto., 2016; López-Gómez et al., 2019). Outra maneira de

minimizar o efeito inibitório do excesso de ácido lático seria por meio de uso de agentes neutralizantes no processo, como o  $\text{Ca(OH)}_2$  (Tian et al., 2014a; Nakano et al., 2012). Alguns agentes neutralizante como o NaOH e o hidróxido de amônio podem ter efeitos adversos, por causa do estresse osmótico causado, sendo mais indicado o uso do  $\text{Ca(OH)}_2$  (Tian et al., 2014b).

### 2.2.3 Nutrientes

As bactérias lácticas são conhecidas por serem fastidiosas, ou seja, são microrganismos exigentes em relação a nutrientes, requerendo diversas vitaminas e aminoácidos para seu desenvolvimento (Stanier et al., 1986 apud Fitzpatrick e Keeffe, 2001). Essa necessidade por meios ricos em nutrientes, tais como aminoácidos, decorre da baixa capacidade desses microrganismos de sintetizarem suas próprias moléculas a partir de fontes inorgânicas (Wang et al., 2015; Von Wright e Axelsson, 2011 apud Hayek e Ibrahim, 2013).

Um dos principais nutrientes que se pode adicionar ao meio fermentativo é o extrato de levedura. Ao não ser adicionado esse suplemento ao meio fermentativo, a produção do ácido lático e a produtividade do processo são prejudicadas, podendo cair pela metade (Oliveira et al., 2018a). Porém, o extrato de levedura pode ser substituído pela água de maceração do milho, no intuito de diminuir os custos de produção (Cunha, 2016).

Outro suplemento para o meio fermentativo é o MRS. MRS é um meio desenvolvido por De Man, Rogosa e Sharpe para o crescimento de bactérias do gênero *Lactobacillus*. Esse meio contém peptona, extrato de carne, extrato de levedura, sulfato de magnésio, entre outros componentes (De Man et al, 1960). Contudo, MRS é um meio caro e a sua utilização pode tornar a produção do ácido lático em escala industrial inviável economicamente (Mussatto et al., 2008).

Mussatto et al. (2008), ao estudarem a produção de ácido lático a partir de resíduos da indústria cervejeira, observaram que a adição de certos nutrientes aumentava a produção do ácido lático. Quando suplementado o hidrolisado de resíduos com MRS, a produção de ácido lático aumentou de 12,76 g/L (sem suplementação) para 35,54 g/L (com suplementação). Isso mostra o impacto que um meio nutricionalmente adequado tem na produção fermentativa dessas bactérias.

Coelho et al. (2011) estudou a condição otimizada de vários nutrientes para o meio fermentativo com melão de cana para *L. plantarum*. O melhor resultado foi para um meio com 37 mL/L de CSL (licor de maceração de milho), 2,65 g/L de  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  e 0,83 g/L de Tween 80. Esses nutrientes foram adicionados ao meio com melão e uma alta produção foi

obtida, cerca de 94,8 g/L ao final do processo. A vantagem de se utilizar CSL é que essa é uma fonte barata de nitrogênio, ao contrário do MRS.

Em outro estudo, Polak-Berecka et al. (2010) também desenvolveram um meio de cultura otimizado, menos caro que o meio MRS e com produção superior de ácido láctico. Trabalhando com *Lactobacillus rhamnosus*, o novo meio de cultivo possuía menos ingredientes e quantidades diferentes daquelas do MRS. Assim, os custos para melhorar o meio fermentativo não precisam ser necessariamente tão altos, pois pode-se utilizar formas alternativas de incrementar os nutrientes do meio para uma melhor produção.

### 3 Aplicações do Ácido Lático

O ácido lático tem as mais diversas aplicações. Algumas dessas aplicações incluem o uso na indústria alimentícia, farmacêutica, cosmética e de biopolímeros. Isso se deve a suas características versáteis, tais como leve acidez, presença dos grupos carboxílico e hidroxílico, biocompatibilidade e estabilidade. Atualmente, a aplicação que vem ganhando destaque é a área de biopolímero, com a expansão do mercado de PLA.

#### 3.1 Cosméticos

O ácido lático é comumente usado na indústria de cosméticos e na dermatologia. Esse composto é usado, por exemplo, na produção de cremes anti-idade e anti-acne (Babilas et al., 2012). O ácido lático tem propriedades esfoliantes, antibacterianas e hidratantes, além de estimular a produção de colágeno (Verywell Health; Ulprospector).

Os cremes comerciais têm uma concentração de até 20% de ácido, enquanto os produtos com até 70% de ácido são restritos a usos profissionais, sendo ambos considerados seguros se aplicados corretamente (Babilas et al, 2012). É considerado eficaz para tratamentos estéticos, pois estudos demonstram que pacientes que passam por tratamentos com ácidos orgânicos como o ácido lático reportam uma pele mais jovem, firme e uniforme depois desses procedimentos realizados com ácidos (Smith, 1996; Babilas et al, 2012).

Além disso, o ácido lático também pode diminuir a hiperpigmentação da pele, não apenas porque acelera a sua descamação (Kornhauser et al, 2010), mas também possivelmente porque a aplicação de ácido lático pode inibir a formação de melanina pelos melanócitos (Usuki et al, 2003).

Os benefícios do ácido lático em cosméticos não se restringem à pele, pois os ácidos orgânicos também podem ser usados em xampus e condicionadores, hidratando e prevenindo a quebra dos fios (DuPont; Nawaz et al., 2017).

#### 3.2 Uso Farmacêutico e Médico

O ácido lático é produzido pelo próprio corpo humano, sendo biocompatível. Nesse caso, o isômero utilizado na maior parte das aplicações farmacêuticas e médicas é o L-ácido lático, pois o D-ácido lático não é metabolizado pelo corpo humano (Nawaz et al., 2017; Alsaheb et al, 2015).

Não apenas o ácido lático tem aplicações farmacêuticas e médicas, mas também os sais e polímeros derivados do ácido lático. No caso dos sais de ácido lático (cálcio, ferro e sódio), por exemplo, eles são usados porque possuem atividade anti-tumor ao regular o pH das células cancerosas e de seu meio. O tumor precisa de um pH intracelular neutro para



sobreviver, ao aumentar a concentração interna de lactato nas células do tumor, diminui-se a viabilidade celular (Jeong et al, 2016; Alsaheb et al, 2015).

Ainda, as soluções Ringer com lactato são usadas quando há perda de sangue pelo paciente. Essas soluções utilizam sais de ácido láctico, e podem ser usadas em casos de insuficiência renal, perda de sangue, queimaduras, sepse e pancreatite aguda (Ministério da saúde, 2010; Singh e Davis, 2019). O ácido láctico também é usado em soluções de diálise para máquinas de rim artificial (Alsaheb et al, 2015; Ing et al., 1994).

### **3.3 Indústria Alimentícia**

O ácido láctico é classificado como um composto GRAS (Generally Regarded as Safe) de acordo com a FDA (Food and Drug Administration) nos Estados Unidos. Isso possibilita sua aplicação na indústria de alimentos, onde possui uma ampla variedade de aplicações, servindo como acidulante, aromatizante, preservativo, regulador de sabor, entre outros (Wee et al., 2006a).

Além dessas aplicações, o ácido láctico, devido a suas propriedades levemente ácidas, pode ser usado na indústria alimentícia principalmente por inibir a atividade de microrganismos e, assim, aumentar a vida de prateleira dos produtos. Por exemplo, a adição de ácido láctico à carne de caranguejo é capaz de aumentar o seu período de validade de 5 dias para 11,5 dias (McDermott et al, 2018).

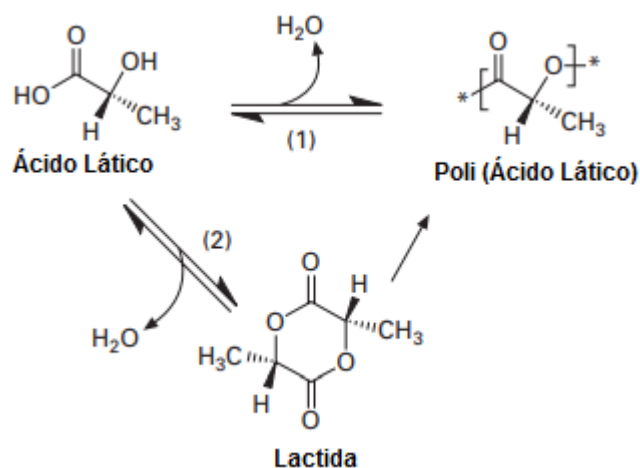
No mercado, existem várias soluções à base de ácido láctico com poder antibacteriano disponíveis para aumentar o período de validade dos alimentos. Como exemplo dessas soluções, tem-se a produzida pela marca Corbion. As soluções PuraQ® Arome, produzidas pela Corbion, prometem realçar o sabor de produtos refrigerados, sem estragar o gosto dos alimentos.

Além disso, o ácido láctico pode ser empregado em embalagens alimentícias. Isso é possível pois o polímero PLA possui boas propriedades de barreira contra microrganismos quando usado como embalagem. Essas propriedades são ainda superiores com nanocompósitos de PLA e dióxido de titânio, protegendo ainda mais os alimentos contra microrganismos do que quando o polímero é usado puro (Athanasoulia, 2018).

Existem outras áreas de emprego do ácido láctico na indústria alimentícia. Além do uso em carnes (para proteger e realçar o sabor), como já mencionado, o ácido láctico pode também ser encontrado em bebidas como refrigerantes e sucos, para o controle de acidez, produtos doces como balas ácidas, entre outros (Lactic Acid).

### 3.4 PLA

O polímero do ácido lático foi primeiramente identificado em 1932 por Carothers. Em um primeiro momento, conseguiram produzir apenas um polímero de baixa massa molar através da condensação da molécula de ácido lático. Contudo, novos estudos sobre o PLA voltaram a surgir, e descobriu-se como produzir o PLA de alta massa molar: através da polimerização pela abertura do anel do ácido lático, como mostra a Figura 4 (FARRINGTON et al., 2005).



**Figura 4.** Rotas de Polimerização do Ácido Lático (1) Condensação direta do ácido lático, (2) polimerização pela abertura do anel (FARRINGTON et al. 2005).

O uso do ácido lático como monômero na produção do polímero PLA é fator determinante no aumento do consumo do ácido lático. Esse é um polímero promissor que pode substituir o plástico comum (como, por exemplo, o poliestireno e o polietileno tereftalato) no futuro (Dubey et al., 2017; Nofar et al., 2019; GreenLiving). As principais vantagens, se comparado ao plástico comum, são a biodegradabilidade e a biocompatibilidade do PLA (Silva et al., 2018), que pode ser produzido com fontes renováveis (como o bagaço de cana de açúcar, por exemplo) em vez de insumos petroquímicos (Nofar et al., 2019).

Apesar de teoricamente o PLA ser capaz de substituir os plásticos petroquímicos, o custo da matéria prima para a sua produção ainda é um empecilho para a substituição do plástico comum atualmente. A produção de plástico de origem petroquímica, geralmente, ainda é mais barata (Van den Oever et al., 2017). Estima-se que o custo de produção do PLA deve cair pela metade para que possa competir com os plásticos convencionais, por isso é necessário tentar diminuir os custos de produção do ácido lático (Wee et al., 2006a).

Como o PLA não tem efeitos tóxicos ou carcinogênicos no corpo humano, pode ser aplicado na área médica (Konta et al., 2017). Uma dessas aplicações do PLA é seu uso como uma matriz para liberação de fármacos (Tyler et al., 2016). No corpo humano, ele é hidrolisado e seus monômeros de ácido lático podem ser metabolizados normalmente (Nawaz et al., 2017), através do ciclo do ácido tricarbóxico (Konta et al., 2017). Além disso, suas propriedades mecânicas também permitem sua aplicação em ortopedia (Pawar et al., 2014; Kyriacos et al, 1996).

Visando tornar a substituição do plástico comum pelo PLA uma realidade, vários estudos tentam desenvolver tecnologias que permitam que o PLA tenha características superiores às do plástico comum. O sucesso da implementação do PLA em aplicações biomédicas, por exemplo, depende se as propriedades mecânicas e de superfície serão iguais ou superiores às dos polímeros convencionais (Rasal et al, 2010).

A aplicação do PLA vai depender se ele é formado por isômeros puros ou por misturas racêmicas. Se quisermos um polímero semicristalino, precisamos usar apenas um dos monômeros. O PLA opticamente puro terá propriedades diferentes daquelas de um polímero amorfo, constituído por ambos os monômeros, sendo diferentes também as aplicações a que serão destinados (Scheele, 2016; Middleton e Tipton, 2000).

Por exemplo, o poli D-ácido lático e o poli L-ácido lático (PDLA e PLLA, respectivamente) podem ser empregados na produção de filmes, não-tecidos e fibras, pois possuem alta resistência química. Outra característica positiva desses polímeros é a sua resistência térmica, que possibilita o uso desses materiais na produção de copos, xícaras, bandejas, garrafas e talheres (Tanaka et al., 2006; Castro-Aguirre et al., 2016)

Já o poli DL-ácido lático (PDLLA), polímero racêmico, possui propriedades mecânicas inferiores, sendo um biopolímero amorfo, de rápida degradação. Por isso, não deve ser utilizado para fins ortopédicos, por exemplo, sendo sua utilização mais adequada como sistema de liberação de fármacos (Middleton e Tipton, 2000).

Portanto, como os diferentes isômeros tem aplicações distintas, devido às suas propriedades, a produção fermentativa de ácido lático é mais vantajosa que a produção sintética, pois esta produz misturas racêmicas (Bernardo et al, 2016).

## 4 Substratos para a fermentação do Ácido Lático

Para realizar a fermentação, os microrganismos precisam de alguma fonte de carbono. Atualmente, as principais empresas que produzem o ácido lático utilizam como fonte de carbono glicose, lactose e outros açúcares já na sua forma processada, de primeira geração (Ghaffar et al., 2014; Bomrungnok et al., 2012; Oliveira et al., 2018a). Os substratos de segunda geração são aqueles provenientes de resíduos industriais, sendo que o seu uso ainda é raro nas indústrias, estando em fase de pesquisa (Jawad et al., 2013; Lovett e de Bie, 2016). As principais plantações utilizadas na produção e refino de açúcar são as do milho, cana de açúcar e beterraba. Por exemplo, NatureWorks usa substratos provenientes do amido de milho, Corbion usa cana de açúcar e beterraba (Djukić-Vuković et al., 2019).

Devido à crescente preocupação com o meio ambiente e aos contínuos esforços para diminuir o custo de produção do ácido lático, alternativas aos substratos de primeira geração estão sendo estudados por várias empresas e pesquisadores. Atualmente, substratos lignocelulósicos são vistos como a melhor alternativa para substituir a glicose de primeira geração (Oliveira et al., 2018a). Além dos resíduos lignocelulósicos, outros resíduos, tais como resíduos do leite, frutas ou restos de alimentos, também podem ser utilizados, como mostra a tabela 5, ao final da seção 4.1.

Os açúcares de segunda geração são aqueles gerados a partir de resíduos da agroindústria. Anualmente, uma grande quantidade de resíduos é produzida, proveniente do processamento de diversas culturas agrícolas. Devido à riqueza que esses resíduos possuem em nutrientes como minerais, proteínas e carboidratos, em vez de serem descartados, podem ser úteis como suplemento na alimentação animal ou como substratos na produção fermentativa de produtos como o ácido lático (Nwachukwu et al., 2016).

No Brasil, no final do terceiro trimestre de 2017, o agronegócio foi responsável por 23% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro, e a agropecuária responsável por 5,7% do PIB, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017). Essa grande produção agroindustrial brasileira gera inúmeros resíduos, provenientes de diferentes culturas, como mostra as Tabelas 3 e 4 e a Figura 5. Se não aproveitada, essa enorme quantidade de material pode poluir o meio ambiente. Portanto, é necessário achar meios de transformar esses resíduos em matérias primas para outros processos, otimizando a indústria como um todo e evitando a poluição do meio ambiente. Esse material é potencialmente valioso, pois dele podem ser obtidos açúcares para fermentação dos microrganismos, além de outras aplicações. Por essa razão, deve-se evitar o seu desperdício (Woiciechowski et al, 2013).

**Tabela 3.** Série Histórica de Produção Agroindustrial brasileira de diferentes culturas em milhões de toneladas

<b>Cultura</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>
<b>Arroz</b>	11,7	12,1	12,3	10,5	12,4	11,7
<b>Batata</b>	3,5	3,6	3,8	3,9	4,2	3,8
<b>Cana de Açúcar</b>	768,0	737,1	748,6	728,5	687,8	671,1
<b>Mandoca</b>	21,4	23,2	23,0	23,7	20,6	20,9
<b>Milho</b>	80,2	79,8	85,2	63,3	99,5	85,7
<b>Soja</b>	81,7	86,7	97,4	95,7	114,9	112,4
<b>Trigo</b>	5,7	6,2	5,5	6,7	4,2	6,1

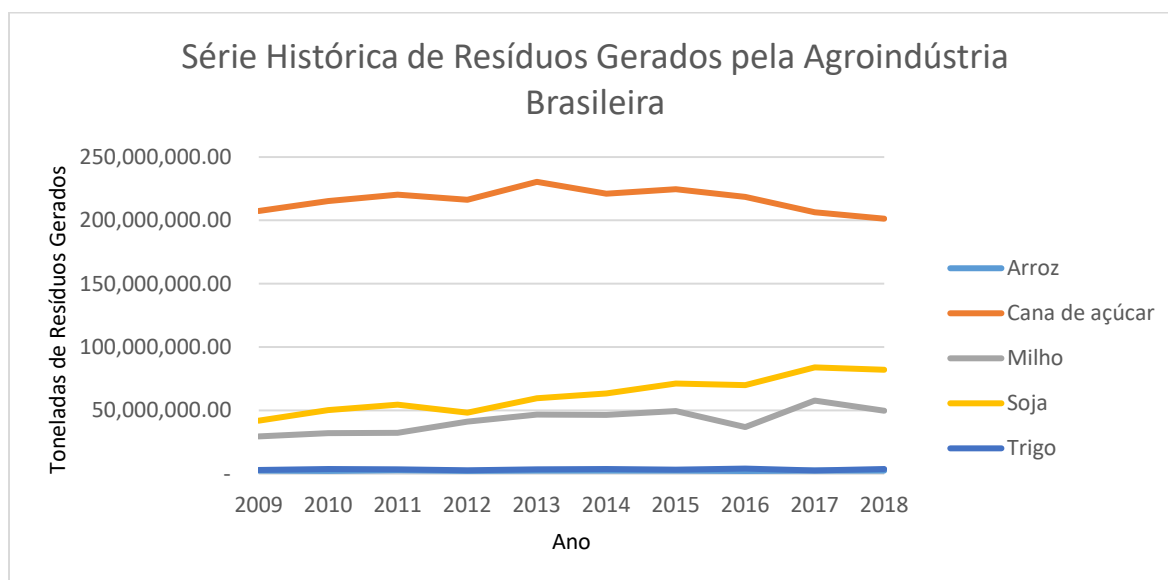
Fonte: Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (IBGE, 2017); IBGE, Agência de Notícias (2018) (Adaptado).

**Tabela 4.** Percentual de resíduos gerados no processamento de diferentes culturas

<b>Cultura</b>	<b>Percentual de Resíduos Gerados</b>	<b>Referências</b>
<b>Arroz</b>	20%	ABIB, 2011
<b>Cana de Açúcar</b>	30%	Silva, 2007
<b>Milho</b>	58%	ABIB, 2011
<b>Soja</b>	73%	Matos, 2005
<b>Trigo</b>	60%	ABIB, 2011

Fonte: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), 2012.

Exemplificando com o caso da soja, o seu processamento gera aproximadamente 73% de resíduos. Em 2009, o Brasil obteve um total de 57.345.382 toneladas de soja colhida e desse total formou-se 41.862.129 toneladas de resíduos (IPEA, 2012). Aplicando o mesmo raciocínio, pode-se compilar a série histórica dos resíduos gerados na agroindústria brasileira nos últimos anos, como mostra a Figura 5.



**Figura 5.** Série Histórica dos Resíduos gerados pela Agroindústria Brasileira.

Dentre as principais vantagens de utilizar resíduos agroindustriais na indústria de bioprocessos, estaria a criação de uma cadeia de produção, onde resíduos da agroindústria se tornariam matéria prima para a produção de diversos bioprodutos, tais como o ácido lático. Assim, teria-se uma solução ao problema da poluição, evitando danos ao meio ambiente (Sadh et al., 2018; Woiciechowski et al, 2013). Como os resíduos agroindustriais são de baixo custo, o impacto da utilização desses resíduos na economia do processo seria positivo (Sadh et al., 2018; Woiciechowski et al, 2013), diminuindo o valor final dos bioprodutos e, assim, aumentando a sua competitividade no mercado.

Contudo, os resíduos agroindustriais têm uma composição complexa. Diferenças nas condições de processamento, climáticas e sazonais contribuem para a não homogeneidade dos lotes de resíduos (Woiciechowski et al, 2013). Além disso, os substratos provenientes dos resíduos da agroindústria podem trazer consigo componentes tóxicos para os microrganismos do processo fermentativo, dificultando a utilização do substrato (Van Der Pol et al., 2016; Woiciechowski et al, 2013). Também, devido à complexidade do meio hidrolisado, podem ser necessários processos de purificação mais custosos que os de produção convencional em meios sintéticos (Woiciechowski et al, 2013). Ainda, é de fundamental importância levar em consideração a questão logística dos resíduos agroindustriais (Novais, 2017).

#### 4.1 Principais Fontes de Resíduos Agroindustriais

As diversas fontes de resíduos agroindustriais irão se destacar pela abundância em que são produzidas, sua composição físico-química, os nutrientes essenciais que podem fornecer

aos microrganismos, entre outros fatores (Woiciechowski et al, 2013). Tais resíduos podem ser utilizados nos mais diversos ramos da indústria, como o da indústria produtora de biocombustíveis, alimentícia e farmacêutica, assim como na produção do ácido láctico (Woiciechowski et al, 2013). A escolha do resíduo também está relacionada à localização geográfica da planta de produção. Uma alternativa interessante, por exemplo, seria a produção de ácido láctico em indústrias que produzem etanol com cana de açúcar, pois o bagaço da cana já estaria disponível, diminuindo os custos de logística (Oliveira et al., 2018a).

#### 4.1.1 Soja

A soja e seus derivados podem ser usados na alimentação humana e animal, sendo também matéria-prima na produção de tintas, plásticos e biocombustíveis. Contudo, seus resíduos também podem ser aproveitados na indústria. O farelo da soja, por exemplo, pode ser usado na alimentação animal, pois possui carga nutricional rica em proteínas (YARA, 2019; Zambom et al., 2001).

De acordo com o portal EMBRAPA (2018), foram produzidos mundialmente cerca de 336,699 milhões de toneladas de soja em 2018, sendo o maior produtor mundial os Estados Unidos (119,518 milhões de toneladas) e Brasil o segundo maior produtor mundial de soja (116,996 milhões de toneladas). Os maiores produtores de soja brasileiros são os estados do Mato Grosso (31,887 milhões de toneladas), Paraná (19,070 milhões de toneladas) e Rio Grande do Sul (16,968 milhões de toneladas).

Portanto, a soja está presente na agroindústria em grandes quantidades. Além disso, a indústria da soja tem um enorme potencial gerador de resíduos. Para cada tonelada de soja, obtêm-se aproximadamente 183 kg de óleo (18,3%), 730 kg de farelo de soja (73%), o qual possui 48% de proteína bruta, e em torno de 50 kg de cascas (5%) (BLASI et al., 2000).

Sua casca é resíduo em vários de seus processos, podendo ser reutilizada em processos fermentativos devido a suas propriedades, já que pode ser fonte de nutrientes para os microrganismos quando passa por processos de pré-tratamento (Qing et al., 2017). Além disso, a casca da soja é considerado o principal resíduo lignocelulósico da soja e utilizada atualmente em rações animais, mas grande parte é descartada no meio ambiente (Rambo, 2013; Qing et al., 2017)

Na indústria de bioprocessos, como exemplo de utilização de resíduos da soja, temos o uso do okara (resíduo formado na extração do leite de soja) na produção de vitaminas como a riboflavina e de enzimas como a lipase. O melaço da soja também é utilizado na produção de etanol, que partindo da sacarose e outros açúcares pode-se obter uma conversão de 45,5% no processo (Woiciechowski et al, 2013).

Estudos mostram que os resíduos da soja podem ser empregados na produção do ácido lático com bons rendimentos. A vinhaça da soja (resíduo da destilação do mosto) pode ser usada na produção de ácidos orgânicos como o ácido lático. Tal operação, utilizando vinhaça e melaço de soja foi capaz de um rendimento de 85% sem necessitar de adição de fontes de nitrogênio ao cultivo (Karp et al, 2011).

Outros estudos, como o de Xu et al. (2007), também demonstraram a capacidade de resíduos da soja de servirem como bons substratos para a produção de ácido lático através da fermentação. Depois de passar por um pre-tratamento enzimático, o hidrolisado formado (que possuía uma composição na razão de 3,9:1,7:1 para glicose, xilose e celobiose, respectivamente) foi fermentado separadamente por *L. sake* e *L.casei*, para as quais as conversões de açúcar em ácido lático foram de 48% e 56%, respectivamente. Porém, quando em co-cultivo, apresentaram conversões de 71%.

#### 4.1.2 Cana

O Brasil é o maior produtor mundial de cana de açúcar, seguido pela Índia e pela China (WorldAtlas, 2017). A produção de cana de açúcar, no ano de 2018 foi de 671 milhões de toneladas (IBGE, 2018). O maior estado produtor da cana no Brasil é o estado de São Paulo, que na safra de 2017/2018 produziu cerca de 349,2 milhões de toneladas (CONAB, 2018).

Portanto, é esperado que o volume de resíduos gerados pela cultura da cana seja elevado. De fato, a cana de açúcar é a maior cultura geradora de resíduos do país. No ano de 2009, foi responsável por uma produção de mais de 200 milhões de toneladas em torta de filtro e bagaço, segundo o Ipea (Canal Rural, 2012).

Com os resíduos da cana, é possível produzir muitos produtos diferentes, como ácido orgânicos, xilitol, aminoácidos e enzimas. Os principais subprodutos da indústria sucroalcooleira são: melaço, bagaço e vinhaça. O bagaço da cana, obtido após a prensagem para extração do caldo, é composto por 50% de celulose, 25% de lignina e 25% de hemicelulose e possui algumas vantagens em relação aos outros subprodutos por conter baixa quantidade de cinzas (Woiciechowski et al, 2013).

Rodrigues (2012) obteve bons resultados utilizando bagaço de cana de açúcar para a produção de ácido lático. Conseguindo um rendimento de 95% com o microrganismo *B. coagulans* 162 e produtividade volumétrica de 2,13 g/Lh na batelada simples e 105g/L de ácido lático com a alimentação contínua. Nos experimentos, os açúcares do meio de cultivo eram glicose, xilose e arabinose.



### 4.1.3 Arroz

A produção mundial de arroz ultrapassa 700 milhões de toneladas anualmente (FAO, 2018). A maior parte desse arroz é produzido na Ásia, que detém 90% da produção mundial desse cereal. O Brasil é o maior produtor e consumidor de arroz fora da Ásia, com 75% de sua produção concentrada na região sul do país (Brazilianrice). Para a safra brasileira de 2018/2019, a Conab estima uma produção de 11,207 milhões de toneladas de arroz (Globo Rural, 2019). O Rio Grande do Sul se destaca por ser o maior produtor de arroz do Brasil, representando mais da metade da produção brasileira desse grão (Censo Agro, 2017).

O farelo do arroz, resíduo gerado no beneficiamento do grão, tem uma boa carga nutricional, podendo ser empregado na produção de ração animal. A quirera de arroz (grãos quebrados no processo) é outro resíduo que também pode ser empregado na indústria de ração animal, mas é produzido em menor quantidade que o farelo (Lorenzetti et al., 2012).

A casca do arroz é um resíduo versátil que pode ser utilizado em diversas aplicações. Uma delas é o uso em usinas de biomassa para a geração de energia. Além disso, a sílica presente na casca do arroz é capaz de reduzir a espessura do concreto e aumentar sua resistência. Apesar de necessitar investimento em maquinários, o uso da casca é vantajoso pois essa matéria prima tem baixo custo e muitos benefícios (Canal Rural, 2012).

O processamento de arroz gera em torno de 34% de resíduos, sendo a casca o resíduo gerado em maiores quantidades (Lorenzetti et al., 2012). Assim, por ser uma cultura com altos valores de produção e com grande quantidade de resíduos gerados, o arroz pode ser considerada uma fonte promissora de substratos para os bioprocessos.

Li et al (2012) usaram farelo de arroz branco para a produção de L-ácido lático com uma produtividade de 3,73 kg/m<sup>3</sup>h. Em seu estudo, realizado em batelada com *Lactobacillus Rhamnosus* LA-04-1, obtiveram uma produção 1,52 vezes maior que a produção em meio com glicose e extrato de levedura quando apenas o hidrolisado de farelo de arroz foi usado como fonte de carbono e nutrientes.

De acordo com Wang et al. (2014), o resíduo de farelo de arroz hidrolisado pode substituir completamente meios que contêm glicose, extrato de levedura e sais. Trabalhando com *Lactobacillus rhamnosus* em sistema de batelada, a produtividade obtida foi de 3,63 g/Lh, sendo 1,64 vezes maior que a produtividade da cultura que cresceu com glicose. Portanto, conclui-se que o arroz pode ser uma boa alternativa para diminuir os custos de produção de ácido lático, ao substituir a glicose como substrato na fermentação.

#### 4.1.4 Milho

Os maiores produtores mundiais de milho são os Estados Unidos e a China, com colheitas em 2018/2019 de 366 milhões de toneladas e 257 milhões de toneladas, respectivamente, sendo o Brasil o terceiro maior produtor (Investopedia, 2019). De acordo com o Censo Agro 2017, 90 milhões de toneladas de milho foram produzidos no Brasil, com destaque para os estados do Mato Grosso e Paraná, considerados os maiores produtores brasileiros de milho. Segundo a Conab, a estimativa de produção de milho para 2019 é de 95 milhões de toneladas (Globo Rural).

Da totalidade da biomassa produzida de milho, apenas 20% refere-se ao grão propriamente dito que poderá ser consumido. Os outros 80% são referentes a resíduos (Obi et al., 2016). Na indústria do milho, resíduos tais como quirelas de milho, talos e sabugos são gerados, os quais podem ser aplicados na produção de ração animal (Agrosb, 2017; Ziglio et al., 2007). A palha de milho é utilizada para a produção de etanol (Koundinya , 2009; Carvalho et al; 2016).

Estudos realizados mostram que é possível a produção de ácido lático com bons rendimentos usando resíduos de milho. Ahring et al. (2016), trabalhando com palha de milho hidrolisada, conseguiu um rendimento de 1,086 g/g na produção de ácido lático com *Bacillus coagulans*, pois o microrganismo foi capaz de usar outros açúcares além da xilose e da glicose levadas em consideração no cálculo de rendimento.

#### 4.1.5 Trigo

De acordo com a Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), a produção mundial de trigo está prevista para alcançar 780 milhões de toneladas na safra 2019/2020. Os maiores produtores mundiais de trigo são China e Índia, cujas produções para 2019 devem chegar a 132 milhões e 100 milhões de toneladas, respectivamente (World Agricultural Production, 2019). No Brasil, a produção de trigo para 2019 deve atingir 5,5 milhões de toneladas, segundo Levantamento Sistemático de Produção Agrícola (LSPA) do IBGE (Globo Rural). A região sul do país tem destaque na produção de trigo, sendo o Paraná e o Rio Grande do Sul os maiores produtores brasileiros (Censo Agro, 2017).

A palha de trigo, considerada o principal resíduo gerado na indústria do trigo, responde por aproximadamente 50% do peso da colheita (Ferreira-Leitão et al., 2010). Ela pode ser utilizada como fertilizante (Nunes et al., 2013), suplemento em ração animal, ingrediente em materiais de construção e também como combustível (Bakker et al., 2013). Além dessas aplicações convencionais, recentemente a empresa Dell tem aplicado a palha de trigo na produção de suas embalagens (Dell).

Cizeikiene et al. (2018), isolaram várias bactérias do gênero *Lactobacillus sp.* para a produção de ácido láctico em palha de trigo. *Lactobacillus sanfranciscensis* MW15 mostrou uma ótima produção nesse resíduo, com rendimentos de 98,8 g/kg. Além disso, a produção de ácido láctico era ainda melhor quando utilizadas misturas de diferentes espécies, como, por exemplo, uma cultura mista de *Lactobacillus crustorum* W19 e *Lactobacillus sanfranciscensis* MR29, capazes de produzir L-ácido láctico opticamente puro.

#### 4.1.6 Batata

A batata é a terceira cultura alimentar mais importante do planeta, com uma produção mundial que supera 330 milhões de toneladas por ano. No Brasil, ela é a hortaliça mais importante, com cerca de 3,5 milhões de toneladas produzidas anualmente (EMBRAPA, 2019b). O maior produtor mundial da batata é a China, onde a safra de 2018/2019 está prevista para atingir o patamar de 94 milhões de toneladas (USDA, 2018).

A batata é rica em amido (carboidratos) e vitaminas (A, C e complexo B) (EMBRAPA, 2019) podendo fornecer um hidrolisado de boa qualidade para o desenvolvimento dos microrganismos. Os resíduos da batata, assim como a batata, também são ricos em amido. A casca, principal resíduo, pode ser utilizada em ração animal ou em processos fermentativos, como a produção de álcool, ácidos orgânicos ou outros produtos provenientes de fermentação (EMBRAPA, 2019; Barros e Blum, 2018).

Assim, o uso da batata na produção de ácido láctico é possível, com bons rendimentos de produção, como mostram alguns estudos. Um estudo realizado por Alves (2014), utilizando resíduos de batata hidrolisado com adição de extrato de levedura chegou a uma produção de 24,9 g/L de L-ácido láctico, com um rendimento de 95%, utilizando a bactéria *L. rhamnosus*.

Afifi (2011), utilizando *L. casei* EMCC 11093 analisou as condições nutricionais ótimas de produção de ácido láctico utilizando resíduos de batata. Foi constatado que, usando essa linhagem de bactéria, as condições ótimas de produção para essa linhagem seriam temperatura de 32°C e pH de 3,5, chegando a um máximo de 16 g/L de produção de ácido láctico apenas com a presença de extrato de malte, sulfato de manganês e galactose como aditivos ao hidrolisado de batata.

**Tabela 5.** Produção de Ácido Lático com diferentes resíduos agroindustriais

<b>Resíduo</b>	<b>Bactéria</b>		<b>Rendimento (g/g)</b>	<b>Produtividade(g/Lh)</b>	<b>Referência</b>
<b>Arroz</b>	Farelo	<i>Lactobacillus rhamnosus</i>	0,93	2,56	Wang et al., 2014
<b>Milho</b>	Palha	<i>S. inulinus</i>	0,82	--	Bai et al, 2015
	Resíduo de Espiga	<i>Bacillus coagulans</i>	0,85	--	Jiang et al., 2019
	Resíduo de Espiga	<i>B. coagulans</i> IPE22;	0,89	3,16	Wang et al., 2018
	Melaço	<i>Bacillus</i> sp. XZL9	0,5	0,38	Wang et al., 2010
	Palha	<i>Lactobacillus pentosus</i>	0,66	1,92	Hu et al., 2016
	Palha	<i>Pediococcus acidilactici modificada</i>	0,71	1,45	Liu et al., 2015
<b>Cana de Açúcar</b>	Bagaço	<i>L. casei</i> TISTR 390	--	0,63	Oonkhanond et al., 2017
	Melaço	<i>E. coli</i> WYZ-L modificada	0,85	1,18	Wang et al., 2013
<b>Cervejaria</b>	Grão gasto	<i>L. rhamnosus</i> ATCC 7469	0,88	1,19	Pejin et al., 2018
<b>Indústria de Celulose</b>	Resíduo da Celulose	<i>L. coryniformissubsp. torquens</i> ATCC 25600	0,97	2,80	Oliveira de Moraes et al., 2016
<b>Trigo</b>	Palha	<i>Pediococcus acidilactici</i> modificada;	0,67	1,82	Qiu et al., 2018
<b>Indústria do Leite</b>	Soro de queijo em pó	<i>Lactobacillus bulgaricus</i> CGMCC 1.6970		2,36	Liu et al., 2018

---

<b>Batata</b>	Restos de Batata	<i>L. paracasei</i> A-22	0,89	1,49	Mladenović et al, 2018
	Purê e Casca de Batata	<i>Geobacillus stearothermophilus</i> DSM494	0,66	1,8	Smerilli et al., 2015
<b>Soja</b>	Vinhaça	<i>Lactobacillus agilis</i> LPB 56	0,86	1,13	Karp et al., 2011
	Palha	<i>Lactobacillus casei</i> CGMCC	0,795	0,226	Gao et al., 2018
<b>Mandioca</b>	Resíduo Fibroso de Mandioca	<i>Lactobacillus delbrueckii delbrueckii</i> NBRC 3202	0,5	0,9	Cingadi et al., 2015
<b>Maçã</b>	Bagaço	<i>Lactobacillus rhamnosus</i> CECT-288	0,88	5,41	Gullón et al., 2008
<b>Alimentos</b>	Restos de arroz, peixe e vegetais	<i>Lactobacillus plantarum</i>	0,88	--	Long-Ye et al., 2008
	Restos de Massa, batata, vegetais, carnes.	<i>Streptococcus</i> sp.	0,80	2,16	Pleissner et al., 2017

---

-- Dados não encontrados

## 4.2 Cenário Atual do Uso de Resíduos na Produção de Ácido Lático

Atualmente, no ano de 2019, o ácido lático é produzido em sua maior parte por indústrias convencionais que utilizam matéria-prima de primeira geração como o açúcar produzido industrialmente. Essas matérias-primas de primeira geração não são consideradas resíduos industriais (Lovett e de Bie, 2016). Como a matéria prima atual provém de fontes que também podem ser usadas para a alimentação humana, isso poderia ser um problema no futuro caso o PLA venha a substituir o plástico comum, pois a demanda por plástico é muito grande. Assim, a substituição de matéria prima de primeira geração por resíduos agroindustriais é fundamental para que tal problema não venha a ocorrer no futuro (Be-basic, 2010).

A biorrefinaria sustentável baseia-se na conversão da biomassa lignocelulósica em bioenergia ou bioprodutos (Hassan et al., 2019). As plantas industriais que utilizam matéria prima proveniente de resíduos agroindustriais para a produção de diferentes compostos químicos (e não apenas ácido lático) estão em fase inicial de implementação. A primeira dessas plantas industriais em escala comercial foi inaugurada em 2013 e, até 2016, mais de 8 foram também construídas para operar em escala comercial (Alfano et al., 2016). Na América do Sul, a maioria das biorrefinarias são de primeira geração, trabalhando com açúcares provenientes da soja e da cana-de-açúcar (Nguyen et al., 2017).

Contudo, estima-se que no futuro o número de indústrias de segunda geração aumente. Várias empresas têm interesse na produção de ácido lático a partir de resíduos agroindustriais, com o intuito de manterem-se competitivas no mercado. Dentre essas empresas, podem ser citadas Cellulac, Purac e NatureWorks, que investem em pesquisas com biomassa lignocelulósica como substratos para a produção de ácido lático (Bidy et al., 2016).

Cellulac foi pioneira em produzir ácido lático a partir de resíduos agroindustriais. Com uma planta piloto na Europa, onde ácido lático é produzido a partir de substratos como resíduos agroindustriais e resíduos do leite, o objetivo é produzir ácido lático a preços até 40% mais baixos que o produzido por métodos convencionais (SpecialChem, 2013). Atualmente, Cellulac já produz ácido lático tanto com substratos convencionais (glicose) quanto com substratos provenientes de resíduos da agroindústria.

O uso de fontes alternativas de carboidratos (bagaço, cascas, farelos, palhas) originários de resíduos agroindustriais está sendo investigado, também, pela companhia Corbion-Purac. Corbion foi a primeira empresa a produzir PLA a partir de fontes de resíduos agroindustriais em escala de laboratório (Lovett e de Bie, 2016). Atualmente, Corbion-Purac está

comprometida em criar uma planta piloto que utilize matéria-prima proveniente de resíduos agroindustriais para a produção de ácido láctico em um futuro próximo (Corbion).

NatureWorks, uma ramificação da Cargill, é hoje a maior produtora de plásticos derivados de plantas. Para assegurar a sustentabilidade econômica e ambiental futura, a companhia NatureWorks também investe em pesquisas relacionadas a produção de PLA através do uso de matérias primas de segunda geração (resíduos agroindustriais) (Agriforvalor, 2017).

Atualmente, esforços significativos de pesquisa, desenvolvimento e investimentos ainda são necessários para a produção de PLA feito a partir de resíduos agroindustriais (Lovett e de Bie, 2016). A Comissão Europeia, em 2018, anunciou um financiamento de 22 milhões de euros para um projeto de pesquisa a ser desenvolvido em 2020 na empresa Glanbia, chamado de AgriChemWhey, para a produção de bioplásticos a partir de ácido láctico. O projeto prevê a criação de uma indústria de produção estado-da-arte de ácido láctico com resíduos da indústria do leite (Agriland, 2018). Essa iniciativa está de acordo com o desejo da União Européia de diminuir as mudanças climáticas até 2030, através do desenvolvimento sustentável e da implementação de biorrefinarias (Hassan et al., 2019).

### **4.3 Pré-Tratamento e Hidrólise da Biomassa Lignocelulósica**

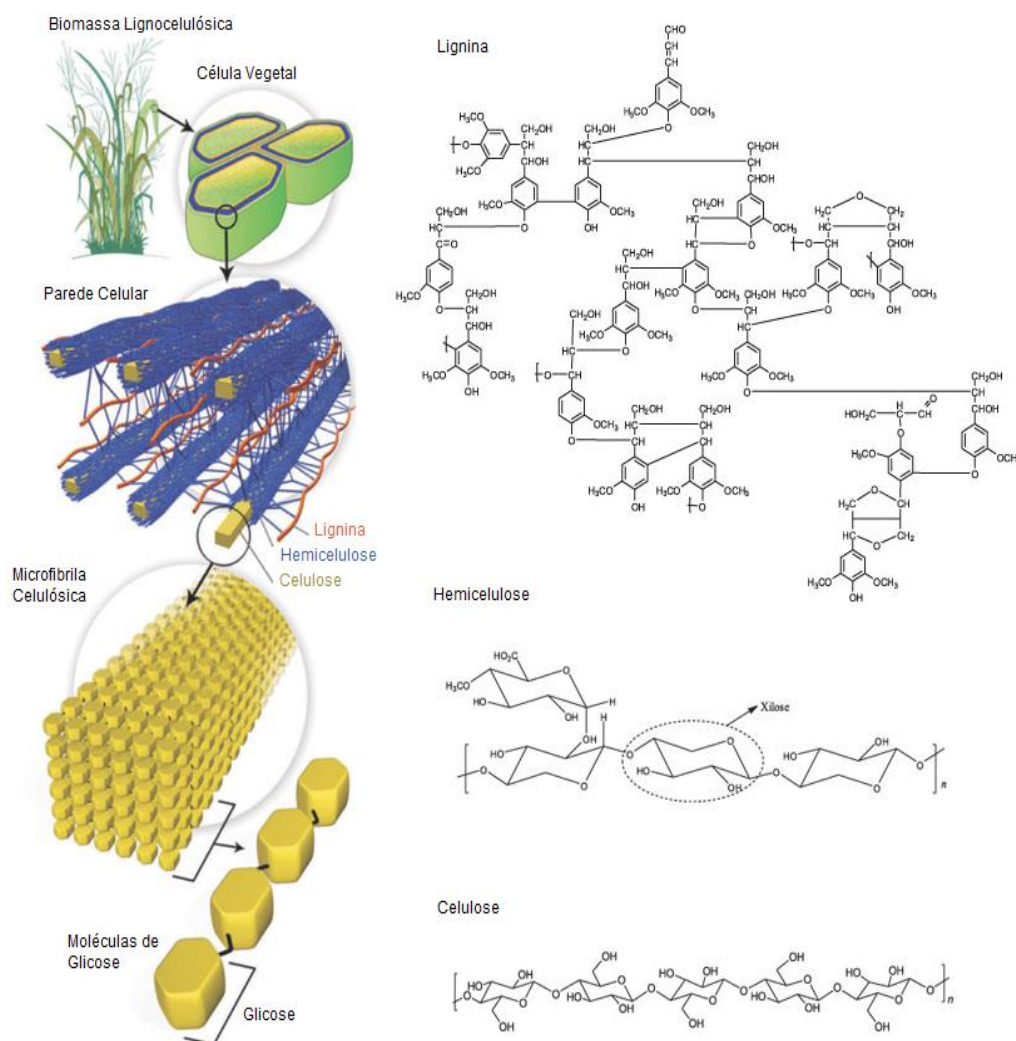
A biomassa lignocelulósica é composta principalmente por três estruturas: celulose, hemicelulose e lignina (Sauer et al., 2008), representadas na Figura 6. Porém, desses três polímeros, é principalmente a celulose e a hemicelulose que fornecerão os açúcares (Sauer et al., 2008). O principal monômero da celulose é a glicose, já a hemicelulose pode ser constituída por diversos monômeros, como xilose, arabinose, glicose, entre outros (Fengel e Weneger, 1989, apud Morais et al., 2005). Cada fonte de resíduos terá diferentes percentuais dessas estruturas, como mostra a Tabela 6.

A celulose é responsável pelas propriedades mecânicas das células vegetais, conferindo resistência (Djahedi et al., 2016) e sendo o componente estrutural predominante na maioria dos vegetais (Michelin et al., 2015). A celulose é composta por uma cadeia homopolimérica de D-glicose, podendo conter até 10.000 unidades de D-glicose em uma única molécula (Ballesteros et al., 2018). Entre essas moléculas de celulose há ligações de hidrogênio, formando a estrutura da microfibrila (Van Dyk e Pletschke, 2012).

A hemicelulose também está presente em abundância nas células das plantas, sendo considerado um heteropolímero, constituída de 100 a 200 unidades de diferentes açúcares e tendo como principal função atuar como agente de ligação entre a celulose e a lignina (Michelin et al., 2015; Cheng e Timilsina, 2011; Ballesteros et al., 2018). A hemicelulose pode ser composta tanto por hexoses como glicose, manose e galactose como por pentoses,

principalmente xilose e arabinose. Outros compostos como os ácidos de açúcar (D-glucurônico, D-galacturônico e D-4-O-metilgalacturônico) também podem estar presentes em sua estrutura, assim como o ácido acético (Ballesteros et al., 2018).

A lignina forma uma barreira protetora ao redor dos polissacarídeos, sendo um componente altamente resistente à degradação (Ruiz-Dueñas e Matínez, 2009), que protege contra ataques químicos e biológicos (Lu et al., 2017). A lignina é um polímero fenólico e amorfo, com uma estrutura altamente ramificada (Lu et al., 2017), composta por p-hidroxifenil, guaiacil, e siringila, que são derivados dos álcoois cumarílico, coniferílico e sinapílico, respectivamente (Novo-Uzal et al., 2012 apud Poovaiah et al., 2014).



**Figura 6.** Representação da Celulose, Hemicelulose e Lignina e suas Estruturas Moleculares (Santos et al., 2012, Adaptado).



**Tabela 6.** Percentual de Celulose, Hemicelulose e Lignina em diferentes resíduos

<b>Resíduo</b>	<b>Celulose (%mássica)</b>	<b>Hemicelulose (%mássica)</b>	<b>Lignina (%mássica)</b>
<b>Sabugo de Milho</b>	45	35	15
<b>Talo de milho</b>	35	16,8	7
<b>Casca de Madeira</b>	22-40	20-38	30-55
<b>Palha de Arroz</b>	36,2	19	10
<b>Talo de Soja</b>	34,5	24,8	19,8
<b>Bagaço de Cana</b>	40	27	10
<b>Farelo de Trigo</b>	42,5	21,2	3,4
<b>Palha de Trigo</b>	37-41	27-32	13-15

Fonte: Tan et al., 2017.

As bactérias lácticas geralmente não são capazes de utilizar o material proveniente de resíduos agroindustriais sem que antes ele passe por um processo de pré-tratamento para que esses açúcares sejam liberados da matriz polimérica. Por isso, é necessária a hidrólise da biomassa. Esses tratamentos de hidrólise podem ser químicos, físicos ou biológicos. Os tratamentos químicos podem ocorrer com ácidos ou bases, os físicos podem ocorrer através da fragmentação (como a moagem, por exemplo) e os biológicos com a ajuda de enzimas (Rodrigues, 2012). Levando em conta os impactos econômicos e ambientais, o tratamento com ácido diluído e posterior hidrólise enzimática tem se mostrado como uma das melhores escolhas para o procedimento de hidrólise da biomassa (Chandel et al. 2007). Na etapa de hidrólise, obtém-se as pentoses (xilose e arabinose) e hexoses (glicose, galactose e manose), as quais servirão como substrato para o bioprocessamento fermentativo.

Essa mistura de glicose, xilose e arabinose presente nos meios provenientes de resíduos pode gerar um fenômeno conhecido como repressão catabólica do carbono. As bactérias do ácido láctico geralmente têm uma preferência por glicose. Assim, pela repressão catabólica, as bactérias com preferência a glicose acabam não utilizando os outros açúcares (xilose e arabinose) até que a glicose esteja a baixas concentrações (Abdel-Rhman et al., 2015). Ao consumir a glicose, mecanismos de repressão da síntese de enzimas relacionadas ao metabolismo das outras fontes de carbonos impedem que sejam usadas a xilose e a arabinose (Deutscher, 2008).

Contudo, a baixas concentrações de glicose, essa substância para de inibir os genes que podem metabolizar xilose e arabinose. De acordo com Abdel Rahman et al. (2015b), vários estudos mostram que o uso de pentoses ocorre através da heterofermentação, mas algumas espécies podem também usar a via homofermentativa (Tanaka et al., 2002).

Portanto, a repressão catabólica é um problema quando se usa resíduos, pois o hidrolisado deles proveniente contém muitos açúcares diferentes da glicose, o que pode diminuir a

eficiência da fermentação. Todavia, podemos contornar tal problema com o uso de algumas estratégias como o isolamento de bactérias, o uso de bactérias modificadas geneticamente ou, ainda, a utilização de culturas com mais de um microrganismo (co-culturas), onde um deles tenha preferência por outro açúcar que não a glicose (Abdel-Rahman et al., 2015b; Abdel-Rhaman et al., 2015; Cui et al., 2011; Okano et al., 2009).

#### 4.3.1 Hidrólise Ácida

Nesse processo, o que ocorre é que os prótons liberados pelos ácidos quebram as ligações de éter heterocíclicas entre os monômeros nas cadeias poliméricas, liberando os açúcares (Aguilar et al., 2002). Vários ácidos podem ser utilizados na hidrólise ácida, mas o ácido sulfúrico é geralmente o mais utilizado por questões de preço e toxicidade (Brethauer e Wyman, 2010).

Esse tipo de hidrólise lignocelulósica pode ocorrer de duas maneiras: ácido concentrado ou ácido diluído. O uso de ácido diluído possui a vantagem de gastar menos ácido, o que seria economicamente positivo, além de necessitar de menos tempo para a reação a altas temperaturas. Já o processo que utiliza o ácido concentrado pode acarretar a corrosão do equipamento, além de gerar um gasto maior com ácido, o qual será difícil de recuperar. O uso do ácido concentrado também implica na maior necessidade de tempo para a reação (de 2 a 6 horas), sendo a temperatura de operação menor que a do ácido diluído (Taherzadeh e Karimi, 2007).

Outro fato importante é que a hidrólise ácida da celulose, lignina e hemicelulose pode formar diversos inibidores de bioprocessos, que afetam o crescimento celular (Jönsson et al., 2013; Van Der Pol et al., 2016). Dentre os vários compostos que podem prejudicar o crescimento celular das bactérias, algumas das principais classes de inibidores produzidos em pré-tratamentos lignocelulósicos são: furanos, fenóis e ácidos orgânicos (Guo et al., 2010; Moreno et al., 2015). A maior parte dos compostos fenólicos é derivado da lignina, enquanto os ácidos orgânicos e furanos são provenientes da degradação da celulose e da hemicelulose (Jönsson et al., 2013).

Esses compostos inibitórios têm efeitos variados em espécies de bactérias diferentes. Como diferentes condições de pré-tratamento liberam substâncias inibitórias distintas, em concentrações variadas, é necessário escolher o microrganismo apropriado, de acordo com as condições pelas quais o resíduo passou, pois certas espécies são muito sensíveis a essas substâncias, enquanto outras mostram-se mais resistentes (Van Der Pol et al., 2016).

As estratégias indicadas para contornar esse problema são o uso de bactérias mais resistentes a tais inibidores, as quais podem ser isoladas ou geneticamente modificadas para que a produção de ácido lático não seja prejudicada (Guo et al., 2010; Jiang et al., 2016).

Também é possível remover esses inibidores produzidos no pré-tratamento, antes da etapa de fermentação, pela biodetoxificação (Oliveira et al., 2019; Moreno et al., 2015).

Portanto, é necessário escolher o ácido que será utilizado levando em consideração aspectos econômicos e de segurança, assim como o tipo de hidrólise ácida (diluída ou concentrada) que será empregado. Além disso, é importante analisar os efeitos dos principais parâmetros do processo, que são a temperatura e a pressão. O aumento desses dois parâmetros aumenta a velocidade da hidrólise. Contudo, condições severas podem degradar os açúcares e contribuir para uma maior formação de inibidores (Sorek et al., 2014; Brethauer e Wyman, 2010).

Na etapa de pré-tratamento ácido, a principal matriz polimérica atacada é a hemicelulose. A camada da celulose está envolta pela camada da hemicelulose. Por isso, a etapa de hidrólise ácida é importante, pois irá permitir que a celulose esteja disponível e de fácil acesso na próxima etapa de tratamento, já que a barreira de hemicelulose foi minimizada (Taherzadeh e Karimi, 2008).

#### 4.3.2 *Hidrólise Enzimática*

A hidrólise enzimática é de tipo hidrólise biológica. Devido à alta especificidade das enzimas, um ponto positivo da hidrólise enzimática é a redução da geração de outros subprodutos (Castro e Pereira Jr, 2010). Outra vantagem da hidrólise enzimática em relação à ácida é que ela dispensa o uso de equipamentos resistentes à corrosão e pode ser operada em condições mais brandas de temperatura, pressão e pH (Lee, 1997).

Contudo, esse método de hidrólise também possui algumas desvantagens. As enzimas possuem valor elevado, o que pode elevar o custo do produto final (Karp et al., 2013). Em um estudo realizado por Woiciechowski et al (2002), enquanto a hidrólise ácida de 150 kg de bagaço de mandioca custava cerca de US\$ 34, a hidrólise enzimática da mesma quantidade de bagaço custava US\$ 2470, aproximadamente 70 vezes mais caro. Portanto, esforços devem ser feitos para reduzir o custo das enzimas.

Outras peculiaridades da hidrólise enzimática são o seu tempo de reação e o cuidado que se deve ter com os parâmetros de reação. A hidrólise enzimática necessita de mais tempo para a reação do que a hidrólise ácida. Enquanto uma hidrólise ácida pode levar apenas 10 minutos, a hidrólise enzimática pode levar até 25 horas (Woiciechowski et al., 2002). Além disso, as enzimas são sensíveis aos parâmetros de operação, tais como temperatura, pH e inibidores, que devem ser cuidadosamente monitorados (Worthington Biochem).

Também é necessário fazer pesquisas e estudos previamente ao processo enzimático que será realizado, para que não haja desperdício de enzimas, pois o rendimento da hidrólise enzimática aumenta com o aumento da concentração de enzimas apenas até um certo limite.

A partir desse limite, os sítios da matriz de substrato já se encontram saturados e não compensa adicionar mais enzimas ao meio (Castro e Pereira Jr, 2010).

Além disso, o rendimento de uma hidrólise enzimática sem pré-tratamento é baixa (Guilherme et al., 2015), cerca de apenas 20%, sendo que quando combinada com um pré-tratamento (ácido, básico ou oxidativo) pode chegar a rendimentos superiores a 90% (Ghosh e Ghose, 2003, apud Ogeda et al., 2010). Portanto, é fundamental a combinação de diferentes métodos de tratamento lignocelulósico para melhores resultados.

No processo enzimático, a principal estrutura que se deseja fragmentar é a celulose. Por isso, a enzima envolvida na hidrólise de biomassa lignocelulósica é a celulase. Essa enzima é geralmente produzida por fungos. Dentre os microrganismos que produzem as celulases, os mais estudados são *Trichoderma reesei* e *Aspergillus niger* (Maeda et al., 2011).

Existem três tipos de celulases (divididos de acordo com o local de atuação), as quais atuam de forma sinérgica, são elas: endoglucanases (quebra as cadeias de celulose), exoglucanases (libera celobiose) e  $\beta$ -glucosidases (quebra a celobiose em moléculas de glicose). Na hidrólise enzimática, deve haver uma mistura desses tipos de celulases para potencializar o rendimento do processo (Xiao Zhang e Yi-Heng Zhang, 2013). Ainda, é possível adicionar surfactantes e proteínas para aumentar a eficiência do processo, pois esses aditivos diminuem a ação das enzimas na lignina, impedindo que a lignina atrapalhe na hidrólise da celulose (Eriksson et al., 2002).

## 5 Modos de Produção

Como foi discutido, a fermentação para produção do ácido láctico pode apresentar uma série de desafios que diminuem o rendimento ou a produtividade do processo. Contudo, existem algumas estratégias para minimizar esses problemas. Dentre essas estratégias, podemos destacar a batelada alimentada, a fermentação contínua, a imobilização celular, o reciclo de biomassa e a mistura de culturas de diferentes espécies.

### 5.1 Batelada, Batelada Alimentada e Fermentação Contínua

Atualmente, a maior parte do ácido láctico é produzido nas indústrias pelo método da batelada comum (López-Gómez et al., 2019). As vantagens da batelada incluem a facilidade operacional e os baixos riscos de contaminação, porém as altas concentrações iniciais de substratos podem levar à inibição da fermentação (Abdel-Rahman et al., 2013). Para contornar a inibição pelo substrato, pode-se utilizar o modo de batelada alimentada (Abdel-Rahman et al., 2013).

Para exemplificar, um estudo feito por Abdel-Rahman et al. (2014) conseguiu uma produção alta de ácido láctico utilizando batelada alimentada, obtendo uma concentração de 129 g/L com pureza óptica de 99,5%. Esse resultado foi bem superior ao resultado da batelada comum, cuja concentração final de ácido láctico foi de apenas 67,2 g/L. Nesse estudo, a bactéria *Enterococcus mundtii* QU 25 foi cultivada em um meio com glicose e xilose. A maior produção na batelada alimentada pode ser explicada, pois, nesse modo de operação, a inibição pelo substrato é reduzida (Lee et al., 2007). Contudo, assim como na batelada comum, na batelada alimentada o ácido láctico produzido vai aumentando sua concentração, até atingir valores inibitórios para os microrganismos (Djukić-Vuković et al., 2019).

Além da batelada alimentada, outra opção à batelada comum seria a fermentação contínua. A produção em modo contínuo apresenta uma série de vantagens, especialmente com relação à produtividade, pois ao contrário dos sistemas em batelada e batelada alimentada, na fermentação contínua é possível manter o crescimento celular a uma taxa constante e, no caso do ácido láctico, a síntese do produto está associada a esse crescimento celular (López-Gómez et al., 2019). Assim, em modo contínuo, a síntese do produto e o crescimento as células podem ser mantidas nas taxas máximas de produção e crescimento (López-Gómez et al., 2019). Além disso, nesse modo de operação, não há acúmulo de produto final (ácido láctico), evitando-se a inibição causada pelo produto e pela diminuição do pH (Abdel-Rahman e Sonomoto, 2016; Ahring et al., 2016).

De fato, a escolha do método de produção pode afetar a produtividade consideravelmente. Um estudo realizado por Tashiro et al. (2011) mostrou que a produtividade em meio contínuo para a produção do ácido lático é muito maior que em batelada. Usando *L. delbrueckii subsp. Lactis* QU 41 em meios com glicose, obtiveram na batelada produtividades de 0,52 g/Lh, enquanto que em meio contínuo foi possível uma produtividade de 18 g/Lh.

Com o aumento da demanda por ácido lático, há a necessidade do desenvolvimento de formas mais eficientes de produção por fermentação. A fermentação contínua poderia aumentar o potencial de produção do ácido lático e até mesmo diminuir os custos de produção (López-Gómez et al., 2019). Apesar dos baixos esforços atuais no sentido de substituir a produção em batelada pela contínua, essa transição é considerada factível e seria vantajosa para a indústria (López-Gómez et al., 2019).

## 5.2 Processo em modo *Simultaneous Saccharification and Fermentation* (SSF)

Com relação às etapas de hidrólise e fermentação, o processo pode ocorrer de duas maneiras. Uma forma seria levar as duas etapas em períodos separados, primeiro a hidrólise do material e depois a fermentação, um processo conhecido como *Separated Hydrolysis and Fermentation* (SHF). O outro modo seria a ocorrência simultânea da hidrólise e da fermentação no mesmo vaso, processo conhecido como *Simultaneous Saccharification and Fermentation* (SSF), que é considerado mais vantajoso do ponto de vista econômico (Wingren et al., 2003). Outra vantagem do processo em SSF é que, à medida que o açúcar vai sendo produzido pela hidrólise, o microrganismo já vai consumindo esse açúcar. Assim, diminui-se a inibição pelo substrato (Pinaki et al., 2015).

Estudos demonstram bons resultados com esse método. Jiang et al (2019) produziram 68 g/L com um rendimento de 0,85 g/g de L-ácido lático usando *B. coagulans* e resíduos de espiga de milho através de SSF. Maslova et al (2019) testaram a produção de ácido lático via SHF e SSF em diferentes resíduos agroindustriais. Foi constatado que SSF é um procedimento melhor para a produção de ácido lático. Por exemplo, para o resíduo de trigo, em SHF obteve-se uma concentração de 29,2 g/L e em SSF de 33,4 g/L. Em resíduos de arroz, com o método SHF produziu-se 28,7 g/L e com o método SSF, 32,7 g/L.

## 5.3 Reciclo de Biomassa

Com o método do reciclo de biomassa, é possível alcançar maiores produtividades, pois obtém-se uma alta densidade celular (Aso et al., 2019). O reciclo celular costuma ser combinado com a fermentação em modo contínuo para maximizar a produtividade dos

processos fermentativos (López-Gómez et al., 2019). De fato, combinar o reciclo celular à fermentação contínua pode resultar em produtividades até 1,6 vezes maiores do que quando apenas a fermentação contínua é utilizada (Wee et al., 2009).

Aso et al (2019) compararam a taxa de produção de ácido lático por *E. coli* recombinante em batelada e em meio contínuo com reciclo de biomassa em meios com celobiose. Nesse estudo, os resultados indicaram que a taxa de produção com reciclo de células aumenta em mais de três vezes em relação a uma produção em batelada comum. A produtividade em batelada foi de 0,06 g/Lh enquanto que a produtividade em meio com reciclo celular foi de 0,25 g/Lh.

O reuso de biomassa também pode ser aplicado em modo batelada. Reddy et al. (2016), trabalhando com *Enterococcus faecalis* RKY1, conseguiram aumentar significativamente a produtividade da fermentação de ácido lático através do método do reciclo de biomassa usando resíduos agroindustriais como substrato. Seus resultados de produtividade dobraram quando essa técnica foi utilizada, aumentado de 3,2 g/Lh para 6,37 g/Lh .

#### 5.4 Imobilização celular

Assim como no caso do reciclo celular, a imobilização celular aumenta a produtividade porque aumenta a densidade celular. Portanto, ao aumentar a densidade celular, a imobilização celular contribui para um melhor processo fermentativo (Li et al, 2015). Além de aumentar a densidade celular, a imobilização também mantém a estabilidade das células (Bassani, 2018).

O método de imobilização consiste em aprisionar ou anexar as células a um material. Adsorção e encapsulação/aprisionamento são algumas das técnicas empregadas (Elakkiya et al. 2016). O aprisionamento pode ser feito utilizando-se polímeros como alginato e ágar enquanto a ligação em suporte sólido pode ser realizada com serragem, vidro e porcelana (Park e Chang, 2000; Kourkoutas et al., 2004).

Ranjit e Srividya (2016) compararam a produção de ácido lático por células livres e células imobilizadas em meios de hidrolisados agroindustriais. Nesse estudo, usando o microrganismo *Rhizopus oryzae* MTCC 8784, a concentração de ácido lático final teve um aumento de até 1,25 vezes quando em meio imobilizado com poliuretano. Na fermentação em meio hidrolisado de farelo de trigo, as células livres produziram 68,63 g/L de ácido lático, já em meio imobilizado com poliuretano foi produzido 85,2 g/L de ácido lático.

Apesar de aumentar a produção do ácido lático, a imobilização celular tem a desvantagem de aumentar os custos devido ao preço do material para imobilização. Porém, é possível utilizar outros materiais mais baratos como carreadores para imobilização, como por exemplo, a palha de milho (Li et al, 2015).

## 5.5 Co-cultura de microrganismos

Algumas espécies de bactérias são mais propensas a utilização de hexoses e outras de pentoses. Por isso, quando temos um meio com glicose, xilose e arabinose não é ideal a utilização de uma única espécie de bactéria que possui preferência por um dos componentes, pois as outras fontes de carbono não serão aproveitadas, diminuindo a eficiência da produção de ácido lático (Cui et al., 2011).

Levando esse fato em consideração, Taniguchi et al (2004) testaram duas formas de fermentação para obtenção de ácido lático. Com apenas um microrganismo (*Enterococcus casseliflavus*), não houve o consumo de xilose. Porém, no co-cultivo de *E. casseliflavus* e *Lactobacillus casei* com dois estágios de inoculação, obteve-se 95 g/L de ácido lático, sendo toda a xilose (50 g/L) e toda a glicose (100 g/L) consumidas, podendo essa técnica ser considerada promissora para meios derivados de lignocelulose.



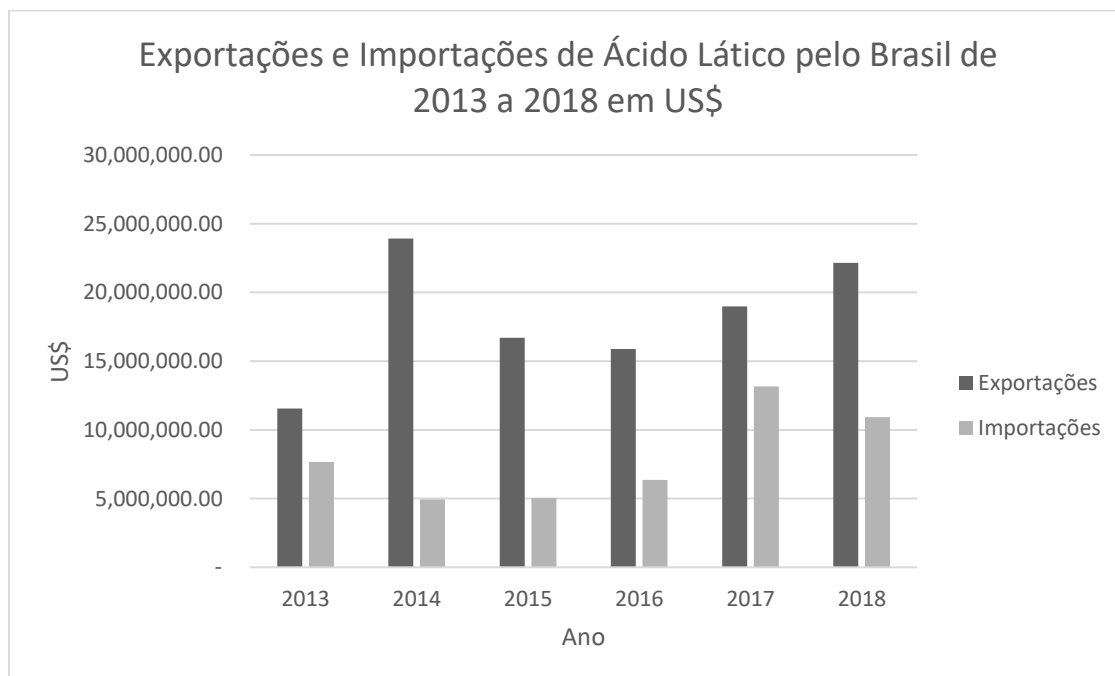
## 6 Mercado e Economia

### 6.1 Mercado do Ácido Lático

O mercado do ácido lático está em expansão. De acordo com dados de 2017, o ácido lático foi responsável por US\$ 2,65 bilhões e é esperado que atinja US\$ 13,23 bilhões em 2026 (Orbis Research, 2018). Já o mercado do PLA valerá US\$ 5,16 bilhões no ano de 2020 (Markets and Markets, 2018). Em uma análise mais conservadora, segundo Grand View Research, o mercado do ácido lático valerá 8,77 bilhões de dólares até 2025, com uma taxa de crescimento anual composta de 18,7% e o mercado do PLA deve chegar a 4,25 bilhões de dólares até 2025 com uma taxa de crescimento anual composta de 20,6%.

Em termos de aplicações a que o ácido lático é destinado, a fatia mais importante é referente ao PLA, com participação da receita de mais de 27%. No segmento de aplicações do PLA, a indústria de embalagens tem uma participação significativa, de 35,7% (Grand View Research).

De acordo com o Portal Comex Stat, usando a Nomenclatura Comum do Mercosul para o ácido lático (29181100) as exportações brasileiras de ácido lático no ano de 2018 foram de US\$ 22.141.620,00 e as importações US\$ 10.923.260,00, como mostra a Figura 7. Portanto, o Brasil exporta mais ácido lático do que importa.



**Figura 7.** Valores de Exportação e de Importação pelo Brasil de ácido lático em diferentes períodos (Fonte: Portal Comex Stat, acessado em 2019).

Os países dos quais o Brasil mais importou ácido lático em 2018 foram Alemanha, Holanda e China. Já os países para os quais o Brasil mais exportou ácido lático em 2018 foram Holanda, Argentina e Colômbia, dados em anexo (Camex Stat, 2019).

A produção brasileira de ácido lático concentra-se na Região Sudeste. A empresa Purac está presente no Brasil há 64 anos e iniciou suas atividades em Campos dos Goytacases, no Rio de Janeiro. A produção da unidade fabril brasileira está voltada para atender a indústria alimentícia, farmacêutica e de cosméticos (Revista Fi, 2010) e tem uma capacidade de 35000 toneladas anuais (Biddu et al., 2016).

Existem também outras empresas produtoras de ácido lático no Brasil, como Química Real Ltda (Ribeirão Preto, SP), TCR Indústria e comércio Ltda (Araraquara, SP), Sulfal Química Ltda (Belo Horizonte, MG) (Revista NEI).

Na América Latina, o Brasil é o maior participante nos lucros referentes à produção de ácido lático, seguido pelo México e pela Argentina (Mordor Intelligence). As previsões de crescimento anual para a indústria latino-americana de ácido lático são de 19,2%, devido ao crescimento das indústrias de cosméticos no Brasil e na Argentina (Grand View Research, apud Oliveira et al. 2018).

## 6.2 Análises Econômicas

As análises de viabilidade econômica de produção de ácido lático são importantes, pois é necessário que o valor do ácido lático produzido no final do processo seja competitivo no mercado, principalmente com a expectativa de que o PLA venha a substituir os plásticos convencionais de origem petroquímica. Parra-Ramírez et al (2018), em seu estudo, analisa o pior cenário de custo de produção, usando meios com glicose e xilose caras. Nesse estudo, foi obtida uma produção de 0,6g de ácido lático/g de açúcar, sendo o processo economicamente viável em produções acima de 1000 toneladas/dia. O preço final obtido para o ácido lático foi de 1,89 dólares por kg. As análises econômicas foram realizadas com o simulador e otimizador de processos Aspen Plus.

De acordo com Parra-Ramírez et al (2018), os maiores impactos nos custos totais são causados pelos materiais usados como substrato e pelas utilidades da planta. Quanto maior a produção diária de ácido lático, mais influente nos custos totais é o preço dos materiais de substrato. Em uma produção em larga escala, o preço do substrato chega a ser quase 50% do custo total de produção. Outros estudos também apontam que os substratos e nutrientes têm um grande impacto no custo total de produção (Sikder et al., 2012; Akerberg et al, 2000). Portanto, ao substituir-se o uso de meio sintético pelo uso de fontes de segunda geração como resíduos agroindustriais para a produção do ácido lático, espera-se que o impacto no custo final do ácido lático seja positivo.

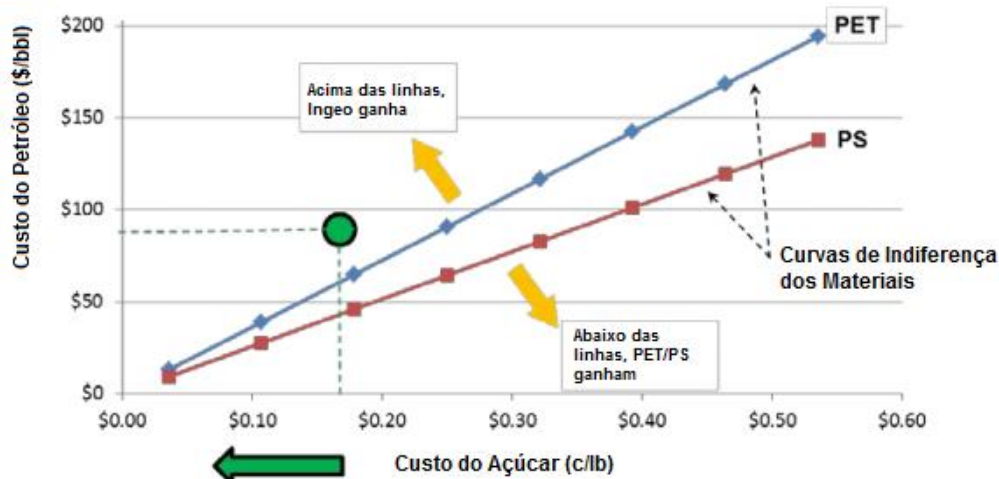
Ainda de acordo com as análises do estudo feito por Parra-Ramírez et al (2018), o projeto começa a ser viável economicamente a uma capacidade de 1000 toneladas/dia de ácido láctico, a partir de 8 anos, quando o investimento inicial é recuperado. Contudo, essa capacidade é alta se comparada à capacidade de companhias já estabelecidas no mercado. De acordo com Bidy et al. (2016), NatureWorks possui instalações com capacidade anual de produção de 150.000 toneladas por ano, enquanto Cellulac e Purac possuem instalações com capacidade de produção de 100.000 toneladas por ano de ácido láctico. Portanto, o valor encontrado de US\$ 1,89/kg provavelmente deve ser mais alto, se a planta estiver adequada a uma capacidade realista.

De fato, o preço atual do ácido láctico produzido por métodos convencionais está entre US\$3-US\$4/kg (Oliveira et al., 2018a). Outras fontes reportam um valor de mercado entre US\$1,3-US\$5/kg, dependendo de qual será o emprego do ácido láctico (Cellulac, 2013).

Para Wee et al. (2006) a meta de valor para o ácido láctico deve ser de apenas US\$ 0,8 (valor correspondente a US\$ 1,26 em 2019) para que o PLA possa substituir o plástico petroquímico, pois o preço do PLA deve cair pela metade se quiser competir com esses plásticos convencionais. O valor encontrado de US\$ 1,89 foi estimado para uma situação de produção que utiliza meios sintéticos, com glicose e xilose de alto custo. Assim, é indicada a utilização de resíduos lignocelulósicos que possam diminuir os custos, pois é esperado que o uso de hidrolisados lignocelulósicos traga retornos econômicos mais positivos devido ao impacto dos substratos no preço final (Parra-Ramírez et al, 2018).

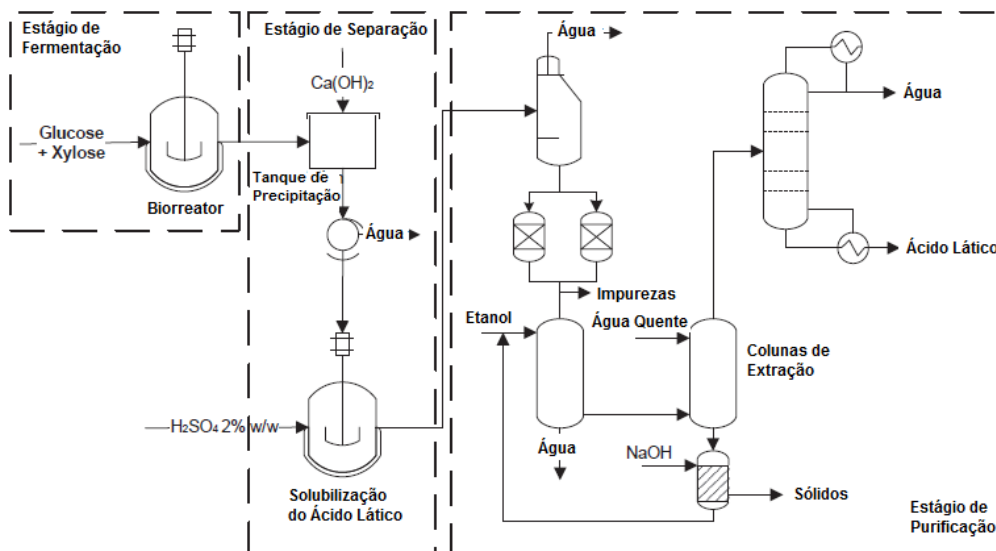
Liu et al (2015) também analisaram a produção de ácido láctico economicamente usando o simulador Aspen Plus. Usando palha de milho como fonte de açúcares e a bactéria *Pediococcus acidilactici*, obteve-se um valor mínimo para a venda de ácido láctico de US\$0,532 por kg. Contudo, *P. acidilactici* não utilizou a xilose do meio hidrolisado. Portanto, se essa bactéria for geneticamente modificada para metabolizar a xilose, o preço final do ácido láctico pode ser ainda menor que US\$0,532/kg, mostrando que é possível que o ácido láctico seja produzido a preços abaixo de US\$ 1,29/kg para que o PLA se torne competitivo no mercado.

Assim, sabe-se que o valor do substrato influencia no preço final do ácido láctico, e esse, por sua vez, influencia o valor do PLA. O valor do plástico comum é influenciado pelo valor de mercado do petróleo. Essa relação de valores está sintetizada na Figura 8, que mostra que para certos valores de matéria-prima, o valor do PLA o tornará mais vantajoso que o plástico comum.



**Figura 8.** Comparação dos preços de PLA versus PET e PS, de acordo com o valor do açúcar e do petróleo (Verbruggen, NatureWorks, 2013, apud Van den Oever, 2017).

Contudo, não apenas o preço da matéria prima influencia no preço final do ácido lático. A purificação também impacta no valor final, pois demanda reagentes e energia. A Figura 9 representa um esquema geral da produção de ácido lático, com a precipitação como método de purificação.



**Figura 9.** Fluxograma de Produção do Ácido Lático (Parra-Ramírez et al., 2018, adaptado).

De acordo com Perra-Ramirez (2018), o estágio de purificação é o mais custoso do processo. Atualmente, na indústria do ácido láctico, o processo convencional de purificação é o processo do lactato de cálcio (Komesu et al., 2015), o qual é empregado na produção industrial de ácido láctico por empresas como NatureWorks e Corbion Purac (López-Gáron et al., 2014; Vink et al., 2010). Esse método consiste na formação do lactato de cálcio, através da adição do hidróxido de cálcio ao meio que se deseja purificar. Assim, obtém-se um precipitado de lactato de cálcio, que pode ser separado. Nesse processo, um ácido carboxílico solúvel é convertido em um composto insolúvel (López-Gáron et al., 2014), pois o ácido láctico é completamente miscível em água, já a solubilidade do lactato de cálcio é de 61 g/L (Cao et al., 2001).

Após a formação do precipitado de lactato de cálcio, o mesmo é filtrado. À torta formada é então adicionado ácido sulfúrico, que precipitará preferencialmente, como sulfato de cálcio (gesso) e o filtrado conterá o ácido láctico (Komesu, 2015). O ácido láctico diluído é purificado através de métodos como destilação (Parra-Ramírez et al., 2018) ou uma sequência de carbono ativado, evaporação e cristalização (Oliveira et al., 2018a).

Por causa das operações de extração e destilação, a etapa da purificação pode demandar até 91,5% da energia de todo o processo de produção (Parra-Ramírez et al., 2018), sendo a purificação responsável por até 50% do custos nas biorrefinarias (Ramaswamy, et al., 2013). Devido aos aspectos ambientais negativos (formação de gesso) e o custo elevado dessa operação, novos estudos buscam alternativas de processos que sejam mais vantajosas. A destilação reativa pode ser uma das alternativas para diminuir os custos de produção (Su et al., 2013; Oliveira et al., 2018a; Shah e Shah, 2015).

Dado o custo empregado na purificação e o fato de meios provenientes de resíduos agroindustriais serem mais complexos, devido à presença de pentose e hexose remanescentes e de outros compostos como furfural (Oliveira et al., 2019b), pode ser que, apesar de a matéria prima ser mais barata, gaste-se mais com a etapa de purificação quando resíduos agroindustriais são utilizados (Sauer et al., 2008).

## 7 Conclusão

Os meios de cultura provenientes de resíduos agroindustriais possuem diversos tipos de carboidratos, tais como glicose, xilose e arabinose. Essa diversidade de açúcares pode dificultar a produção do ácido lático, diminuindo o rendimento do processo. Além disso, a etapa de hidrólise de resíduos pode gerar alguns compostos inibidores para o crescimento dos microrganismos.

Contudo, de acordo com os estudos analisados, a produção de ácido lático com resíduos agroindustriais, apesar de apresentar diversos desafios, é viável, com bons valores de rendimentos e produtividades. Para aprimorar a produção do ácido lático com resíduos, é possível aplicar técnicas de isolamento, engenharia genética, imobilização celular, co-cultura, entre outras. A produção em modo contínuo tem a vantagem de evitar dois dos principais desafios da produção de ácido lático: a inibição pelo substrato e a inibição pelo produto. A inibição pelo substrato e pelo produto podem ocorrer tanto na fermentação convencional quanto na fermentação com hidrolisados de resíduos agroindustriais.

Dentre as maiores culturas mundiais, estão as da cana-de-açúcar, milho, soja, trigo e arroz. Na escolha de qual resíduo empregar, deve-se levar em conta a disponibilidade local do resíduo de determinada cultura, levando em conta sua abundância e suas características nutricionais.

O emprego de resíduos agroindustriais possibilita a diminuição do custo de produção do ácido lático, e, portanto, do valor final do PLA, pois a maior parte dos custos de produção são referentes à matéria-prima utilizada. Outra vantagem do uso de resíduos na produção de ácido lático seria a diminuição da poluição ambiental gerada por tais resíduos. Além disso, caso o PLA venha a substituir o plástico petroquímico, não seria ideal a utilização de açúcar já processado proveniente de substratos de primeira geração, pois haveria uma competição com a área cultivada para alimentação humana.

Tendo em vista a preocupação recente da população, dos países e dos órgãos internacionais com aspectos ambientais, empresas estão investindo em pesquisas para tornar a produção de ácido lático com resíduos agroindustriais não apenas uma possibilidade, mas uma realidade.

## 8 Referências

Abdel-Rhanman MA; Tashiro, Y; Zendo, T; Hanada, K; Shibata, K; Sonomoto, K; Efficient Homofermentative l-(+)-Lactic Acid Production from Xylose by a Novel Lactic Acid Bacterium, *Enterococcus mundtii* QU 25. **Appl Environ Microbiol** v. 77, n.5, p. 1892-1895, Março 2011.

Abdel-Rhaman, MA; Tashiro, Y; Sonomoto, K; Recent advances in lactic acid production by microbial fermentation processes. **Biotechnology Advances**. v. 31, n. 6, Novembro 2013, p. 877-902.

Abdel-Rhamen, MA; Xiao, Y; Tashiro, Y; Wang, Y; Zendo, T; Sakai, K; Sonomoto, K; Fed-batch fermentation for enhanced lactic acid production from glucose/xylose mixture without carbon catabolite repression. **Journal of Bioscience and Bioengineering**. v.119, n.2, Fevereiro 2015, p. 153-158.

Abdel-Rahman MA; Tashiro, Y; Zendo, T; Sakai, K; Sonomoto, K; 2015b, *Enterococcus faecium* QU 50: a novel thermophilic lactic acid bacterium for high-yield l-lactic acid production from xylose. **FEMS Microbiology Letters**, v. 362, n. 2; p. 1-7, Janeiro 2015b.

Abdel-Rhaman, MA; Sonomoto, K; Opportunities to overcome the current limitations and challenges for efficient microbial production of optically pure lactic acid. **Journal of Biotechnology**, v. 236, p. 176-192, Outubro 2016.

Abdullah-Al-Mahin, Sugimoto S, Higashi C, Matsumoto S and Sonomoto K, Improvement of multiple-stress tolerance and lactic acid production in *Lactococcus lactis* NZ9000 under conditions of thermal stress by heterologous expression of *Escherichia coli* DnaK. **Appl Environ Microbiol** v.76 n.13 p:4277–4285, Maio 2010.

ABIB – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDÚSTRIAS DA BIOMASSA. Inventário residual Brasil. 2011. Disponível em: .  
<<https://pt.calameo.com/read/000200968cc3a949579a0>> Acesso em: 2019.

Afifi, MM. 2011, Enhancement of Lactic Acid Production by Utilizing Liquid Potato Wastes. **International Journal of Biological Chemistry**, v.5, n.2, p.91-102, 2011.

Agriforvalor. **News**. Disponível em <<http://www.agriforvalor.eu/article/Natureworks-Case-Study-82>> Acesso em: 2019.

AgriLand. **Farming News**. Disponível em<<https://www.agriland.ie/farming-news/glanbia-led-research-project-receives-e22-million-funding-boost-from-europe/>> Acesso em: 2019.

AgroSB. **Notícias**. Disponível em <<http://agrosb.com.br/noticia/agrosb-reutiliza-residuos-do-milho-na-nutricao-animal/>> Acesso em: 2019.

Aguilar, R; Ramírez, JA; Garrote, G; Vázquez, M. Kinetic study of the hydrolysis of sugar cane bagasse. **Journal of Food Engineering**, v. 55, n. 4, p. 309-318, Dezembro 2002.

Ahmed, T; Kanwal, R; Ayub, N;, Influence of Temperature on Growth Pattern of *Lactococcus lactis*, *Streptococcus cremoris* and *Lactobacillus acidophilus* Isolated from Camel Milk. **Biotechnology**. v.5, n.4, p-481-488. 2006.

Ahring, BK; Traverso, JJ; Murali, N; Srinivas, K; Continuous fermentation of clarified corn stover hydrolysate for the production of lactic acid at high yield and productivity. **Biochemical Engineering Journal**. v. 109, p. 162-169, Maio 2016.

Akerberg, C; Zacchi, G. An economic evaluation of the fermentative production of lactic acid from wheat flour. **Bioresource Technology**, v. 75, n. 2, p. 119-126, Novembro 2000.

Alfano, S; Berruti, F; Denis, N; Santagostino, A; The future of second-generation biomass. **McKinsey & Company Sustainability**. November 2016.

Alsaheb, RAA; Aladdin, A; Othman, NZ; Malek, RA; Lactic acid applications in pharmaceutical and cosmeceutical industries. **Journal of Chemical and Pharmaceutical Research**.v.7, n.10, p. 729-735. Outubro 2015.

Alves, MLF. **Produção de L(+) Ácido Lático por Bactérias Láticas utilizando meios com batata**. 2014. 130f. Dissertação Mestrado. Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

Arapoglou, D; Varzakas, T; Vlyssides, A; Israilides, C. Ethanol production from potato peel waste (PPW). **Waste Management**, v.30, n.10, p.1898-1902, Outubro 2010.

Aso, Y; Tsubaki M; Dang Long, BH; Murakami, R; Nagata, K; Okano, H; Phuoung Dung, NT; Ohara, H. Continuous production of D-lactic acid from cellobiose in cell recycle fermentation using b-glucosidase-displaying Escherichia coli. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, v.127, n.4, p. 441-446, Abril 2019.

Athanasoulia, IG; Mikropoulou, M; Karapati, S; Tarantili, P; Trapalis, C. Study of thermomechanical and antibacterial properties of TiO<sub>2</sub> /Poly(lactic acid) nanocomposites. **Materialstoday: proceedings**, v.5, n. 14, parte 1, p. 27553-27562, 2018.

Axe, DD; Bailey, JE. Transport of lactate and acetate through the energized cytoplasmic membrane of Escherichia coli. **Biotechnology and Bioengineering**, v. 47, n.1, Julho 1995.

Babilas, P; Knie, U; Abels, C; Cosmetic and dermatologic use of alpha hydroxy acids. **Journal der Deutschen Dermatologischen Gesellschaft**, v. 10, n. 7. Maio 2012.

Bai, Z; Gao, Z; He, B. Wu, B; Effect of lignocellulose-derived inhibitors on the growth and D-lactic acid production of Sporolactobacillus inulinus YBS1-5 **Bioprocess and Biosystems Engineering**, v. 38, n. 10, pp. 1993-2001, Julho 2015.

Bakker, RRC; Elbersen, HW; Poppens, RP; Lesschen, JP; Rice Straw and Wheat Straw - Potential feedstocks for the Biobased Economy. Wageningen UR, **Food & Biobased Research**. Utrecht: NL Agency – 31. Junho 2013, 31f.

Ballesteros, L; Michelin, M; Vicente, AA; Teixeira, JA; Cerqueira, MA; Lignocellulosic Materials: Sources and Processing Technologies. In: Ballesteros, L; Michelin, M; Vicente, AA; Teixeira, JA; Cerqueira, MA. **Lignocellulosic Materials and Their Use in Bio-based Packaging**. SpringerBriefs in Molecular Science. Springer, Cham. Junho 2018. cap. 2, p. 13-33.

Barros, PS; Blum, RP; **PRODUÇÃO DE ETANOL A PARTIR DO RESÍDUO DA BATATA PROVENIENTE DA INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA** 2018. 39f. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2018.



Bassani, JCB. **IMOBILIZAÇÃO DE CÉLULAS MICROBIANAS EM ESFERAS DE ALGINATO DE CÁLCIO E AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE CELULAR E ESTABILIDADE BIOQUÍMICA EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE ARMAZENAMENTO**. 2018. 77f. Dissertação Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2018.

Be-basic Foundation. **Second Generation Lactic Acid on the Way**. Disponível em <<https://www.be-basic.org/research/carbon-based-compounds/second-generation-lactic-acid-on-the-way.html>> Acesso em: 2019.

Bernardo, MP. **Produção e purificação de L(+) ácido láctico por *Lactobacillus rhamnosus* utilizando processo de batelada alimentada**. 2014. 76f. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2014.

Bernardo, MP; Coelho, LF; Sass, Dc; Contiero, J. l-(+)-Lactic acid production by *Lactobacillus rhamnosus* B103 from dairy industry waste. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 47, n. 3, p. 640-646 Abril 2016.

Biddy, MJ; Scarlata, C; Kinchin, C. **Chemicals from Biomass: A Market Assessment of Bioproducts with Near-Term Potential**. Golden- Colorado. National Renewable Energy Laboratory, Março 2016. 131f.

Biogreenchoice. Questions about PLA/Bio Plastics. Disponível em: <[https://www.biogreenchoice.com/category\\_s/1866.htm](https://www.biogreenchoice.com/category_s/1866.htm)> Acesso em: Junho 2019.

BLASI, D. A.; TITGEMEYER, E. C.; DROUILLARD, J. S.; PAISLEY, S. I.; BROUK, M. J. Soybean hulls, composition and feeding value for beef and dairy cattle. **Kansas State University** Agricultural Experimental Station and Cooperative Extension Service, Bull. MF-2438, Janeiro 2000. p. 16.

Bomrungnok, W; Sonomoto, K; Pinitglang, S; Wongwicharn, A. Single step lactic acid production from cassava starch by *Lactobacillus plantarum* SW14 in conventional continuous and continuous with high cell density. **APCBEE Procedia**, v. 2, p. 97-103, Abril 2012.

Brazilianrice. **Sobre o Brasil**. Disponível em <<http://brazilianrice.com.br/br/sobre-o-brasil/>> Acesso em: 2019.

Brethauer. S; Wyman, CE. Continuous hydrolysis and fermentation for cellulosic ethanol production. **Bioresource Technology**; v. 101, n. 13, p. 4862-4874, Julho 2010.

Budhavaram, NK; Fan, Z. Production of lactic acid from paper sludge using acid-tolerant, thermophilic *Bacillus coagulans* strains. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 23, p. 5966-5972 Dezembro 2009.

Camex Stat. **Exportação e Importação Geral**. Disponível em:<<http://comexstat.mdic.gov.br/pt/geral>> Acesso em: 2019

Canal Rural. **Resíduos Agropecuários: Versatilidade da casca de arroz permite aplicação do material em diversos negócios**. Disponível em: <<https://canalrural.uol.com.br/noticias/residuos-agropecuarios-versatilidade-casca-arroz-permite-aplicacao-material-diversos-negocios-38161/>> Acesso em: 2019.

Canal Rural. **Resíduos Agropecuários: cana-de-açúcar é a cultura que mais produz resíduos no Brasil.** Disponível em: <<https://canalrural.uol.com.br/noticias/residuos-agropecuarios-cana-de-acucar-cultura-que-mais-produz-residuos-brasil-38488/>> Acesso em: 2019.

Cappelari, J.B. **BIOSSÍNTESE DE ÁCIDO LÁCTICO POR *Lactobacillus amylovorus* A PARTIR DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS.** 2010, 71 f., Dissertação (Mestrado) – Universidade da Região de Joinville, Joinville, 2010.

Cao, X; Lee, HJ; Yun, HS; Koo, YM; Solubilities of calcium and zinc lactate in water and water–ethanol mixture. **Korean Journal of Chemical Engineering** 2001; v.18, n.1, p.133–135.

Carvalho, LLM; Almeida, RMRG; Pimentel, WRO; Silva, MCS. AVALIAÇÃO DA HIDRÓLISE DA PALHA E SABUGO DE MILHO PARA PRODUÇÃO DE ETANOL 2G. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 21. Encontro Brasileiro sobre o Ensino de Engenharia Química, 16. 2016. Fortaleza, CE.

CASTRO, A. M.; Pereira Jr, N Production, properties and application of cellulases in the hydrolysis of agroindustrial residues. **Química Nova**, São Paulo, v. 33, n. 1, p.181-188, 2010.

Castro-Aguirre, E; Iñiguez-Franco, F; Samsudin, H; Fang, X. Poly(lactic acid)—Mass production, processing, industrial applications, and end of life. **Advanced Drug Delivery Reviews** v. 107, p. 333-366, Dezembro 2016.

Cellulac, **Transforming the Next Generation of Biochemical Production.** Disponível em: <<http://cellulac.co.uk/en/wp-content/uploads/2013/02/Cellulac-Presentation.pdf>> Acesso em: 2019.

Censo Agro 2017, **Arroz com casca** Disponível em: <[https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/templates/censo\\_agro/resultadosagro/agricultura.htm?localidade=0&tema=76424](https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/templates/censo_agro/resultadosagro/agricultura.htm?localidade=0&tema=76424)> Acesso em: 2019.

Censo Agro 2017, Milho – Grão, Disponível em: <[https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/templates/censo\\_agro/resultadosagro/agricultura.htm?localidade=0&tema=76510](https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/templates/censo_agro/resultadosagro/agricultura.htm?localidade=0&tema=76510)> Acesso em: 2019.

CensoAgro 2017, Trigo – Grão, Disponível em: <[https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/templates/censo\\_agro/resultadosagro/agricultura.htm?localidade=0&tema=76533](https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/templates/censo_agro/resultadosagro/agricultura.htm?localidade=0&tema=76533)> Acesso em: 2019.

Chandel, AK; Chan, EC; Rudravaram, R; Narasu, ML; Rao, LV; Ravindra, P. Economics and environmental impact of bioethanol production technologies: an appraisal. **Biotechnology and Molecular Biology Review** , v.2, n.1, p.14–32 Fevereiro 2007.

Chemistry Explained. **Louis Pasteur.** Disponível em: <<http://www.chemistryexplained.com/Ny-Pi/Pasteur-Louis.html>> Acesso em: Junho 2019.

Cheng, JJ; Timilsina, GR. Status and barriers of advanced biofuel technologies: A review. **Renewable Energy**, v. 36, n. 12, p. 3541-3549, Dezembro 2011.

Cingadi, S; Srikanth, K; Arun, EVR; Sivaprakasam, S; Statistical optimization of cassava fibrous waste hydrolysis by response surface methodology and use of hydrolysate based media for the production of optically pure D-lactic acid. **Biochemical Engineering Journal**, v.102, p.82-90, Outubro 2015.

Cizeikiene, D; Juodeikiene, G; Damasius, J. Use of wheat straw biomass in production of L-lactic acid applying biocatalysis and combined lactic acid bacteria strains belonging to the genus *Lactobacillus*. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 14, p. 185-191, Julho 2018.

Coelho, LF; de Lima, CJB; Rodovalho, CM; Bernardo, MP; Contiero, J. 2011, LACTIC ACID PRODUCTION BY NEW *Lactobacillus plantarum* LMISM6 GROWN IN MOLASSES: OPTIMIZATION OF MEDIUM COMPOSITION. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**. v. 28, n.1, São Paulo, Janeiro/Março 2011.

CONAB, 2018, **Observatório Agrícola, Acompanhamento da Safra Brasileira**, Cana-de-Açúcar, Terceiro Levantamento, v.5, safra 2018/2019, n.3, Dezembro 2018. 75f.

Corbion, **Shelf Life. Lactic Acid for a Longer Life**. Disponível em: <<https://www.corbion.com/food/refrigerated-food/solutions/shelf-life>> Acesso em: 2019.

Corbion, **Alternative Feedstock**. Uncharted territory: Discovering a sustainable resource for bioplastics, Disponível em: <<http://www.corbion.com/about-corbion/innovation/alternative-feedstock>> Acesso em: 2019.

Corbion, **Raw Material Sources**. Renewable Feedstocks: Winning the war on waste. Disponível em: <<https://www.corbion.com/biochemicals/chemicals/our-focus/raw-material-sources>> Acesso em: 2019.

Corbion. **Acidification**. Disponível em: <<https://www.corbion.com/food/beverages/solutions/acidification>> Acesso em: 2019.

Creative Mechanisms. **Everything you need to know about Polylactic Acid**. Disponível em: <<https://www.creativemechanisms.com/blog/learn-about-poly-lactic-acid-prototypes>> Acesso em: Junho 2019.

Cubas Cano, E; Gonzáles-Fernández, C; Ballesteros, M; Tomás-Pejó, E; Biotechnological advances in lactic acid production by lactic acid bacteria: lignocellulose as novel substrate. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 12, n. 2, p. 290-303 Fevereiro 2018.

Cui, F; Li, Y; Wan, C. Lactic acid production from corn stover using mixed cultures of *Lactobacillus rhamnosus* and *Lactobacillus brevis*. **Bioresource Technology**. v. 102, n. 2, p. 1831-1836 Janeiro 2011.

Cunha, MC. **PRODUÇÃO DE L(+)-ÁCIDO LÁTICO A PARTIR DE SUBPRODUTOS AGROINDUSTRIAIS POR *Lactobacillus rhamnosus* ATCC 9595**. 2016. 141f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2016.

Dell. **Transformar Resíduos de Trigo em Embalagens**. Disponível em: <<https://www.dell.com/learn/br/pt/brcorp1/corp-comm/wheat-straw>> Acesso em: 2019.

Dellaglio, F. & Felis, G. E. Taxonomy of lactobacilli and bifidobacteria. **Curr. Issues Intest Microbiol** Norfolk, UK: Caister Academic Press. p. 44-61 2007.

De Man, J.C.; Rogosa, M.; Sharpe, M.E. "A Medium for the Cultivation of Lactobacilli". **Journal of Applied Bacteriology**, v.23 n.1 p.130–135, 1960.

Ding, S; Tan, T; L-lactic acid production by *Lactobacillus casei* fermentation using different fed-batch feeding strategies. **Process Biochemistry** v.41 n. 6, p. 1451-1454, Junho 2006.

Deutscher, J. The mechanisms of carbon catabolite repression in bacteria. **Current Opinion in Microbiology**, v. 11, n. 2, p. 87-93, Abril 2008.

Djahedi, C; Bergenstrahle-Wohlert, M; Berglund, LA; Wohlert, J; Role of hydrogen bonding in cellulose deformation: the leverage effect analyzed by molecular modeling. **Cellulose**, v.23, n.4, p. 2315-2323, Agosto 2016.

Djukić-Vuković, A; Mladenovic, D; Ivanovic, J; Pejin, J; Mojovic, L. Towards sustainability of lactic acid and poly-lactic acid polymers production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v. 108, p. 238-252, Julho 2019.

Dupont. **Cosmetics and Toiletries**. Determining the Effects of Glycolic Acid in Hair Care Products. Disponível em: <<https://www.cosmeticsandtoiletries.com/formulating/category/haircare/231181731.html>> Acesso em: 2019.

Dubey, SP; Thakur, VK; Krishnaswamy, S; Abhyankar, HA; Marchante, V; Brighton, JL. Progress in environmental-friendly polymer nanocomposite material from PLA: Synthesis, processing and applications. **Vacuum**, v.146, p. 655-663, Dezembro, 2017.

Elakkiya, M; Prabhakaran, D; Thirumarimurugan, M. Methods of Cell Immobilization and Its Applications. **International Journal of Innovative Research in Science Engineering and Technology**, v. 5, n.4, Abril 2016.

EMBRAPA. **Soja em números (Safra 2017/2018)**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/web/portal/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>> Acesso em: abril 2019.

EMBRAPA. **A cultura da batata. Composição Nutricional**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/hortalicas/batata/composicao-nutricional>> Acesso em: 2019.

EMBRAPA, 2019, **Como plantar batata**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/hortalicas/batata/industrializacao>> Acesso em: 2019.

EMBRAPA, 2019b, **Sistema de Produção da Batata**, Disponível em: <<https://www.spo.cnptia.embrapa.br/temas-publicados>> Acesso em: 2019.

Eriksson T, Börjesson J, Tjerneld F. Mechanism of surfactant effect in enzymatic hydrolysis of lignocellulose. **Enzyme and Microbial Technology** v.31, n.3, p. 353–364, Agosto 2002.

FAO. **Sociedade Nacional da Agricultura. Arroz: Produção mundial em 2018 deverá ser superior a 700 milhões de toneladas**. Disponível em: <<https://www.sna.agr.br/arroz-producao-mundial-em-2018-sera-superior-a-700-milhoes-de-toneladas/>> Acesso em: 2019.

FAO, **World Food Situation**. Disponível em: <<http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/en/>> Acesso em: 2019.

Farrington, DW; Lunt, J; Davies, S. Poly(lactic acid) fibers. In: Blackburn, RS. **Biodegradable and Sustainable Fibres**. Woodhead Publishing. Novembro 2005. Cap. 6 p. 191-220.

FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions**. 2º Edição. Berlin: Walter De Gruyter. 1989.

Fernandez, A; Ogawa, J; Penaud, S; Boudebouze, S; Ehrlich, D; van de Guchte, M; Maguin, E. Rerouting of pyruvate metabolism during acid adaptation in *Lactobacillus bulgaricus*. **Proteomics**, v. 8, n. 15, p. 3154-3163, Agosto 2008.

Ferreira-Leitão, V; Gottschalk, LMF; Ferrara, MA; Nepomuceno, AL; Molinari, HBC; Bon, EPS. Biomass Residues in Brazil: Availability and Potential Uses. **Waste and Biomass Valorization**. v.1, n.1, p. 65-76. Março 2010.

Fitzpatrick, JJ; Keefe, UO. Influence of whey protein hydrolyzate addition to whey permeate batch fermentations for producing lactic acid. **Process Biochemistry**, v. 37, n.2, p.183-186, Outubro 2001.

Gao, M; Wang, J; Xu, Z; Zhang, W; Wu, C; Wang, Q. Product of Lactic Acid from Soybean Straw using immobilized *Lactobacillus casei* and batch or repeated-batch fermentation. **Bioresources**.v.13, n.3, p.6722-6735. Julho 2018.

Ge, XY; Yuan, J; Qin, H; Zhang, WG. Improvement of L-lactic acid production by osmotic-tolerant mutant of *Lactobacillus casei* at high temperature. **Appl Microbiol Biotechnol**. v. 89, n. 1. p. 73-78 Setembro 2010.

Ghaffar, T; Isrhad, M; Anwar, Z; Aqil, T, Zulifqar, Z; Tariq, A., Kamran, M; Ehsan, N; Mehmood, S; Recent trends in lactic acid biotechnology: A brief review on production to purification. **Journal of Radiation Research and Applied Sciences**. v.7 n.2. abril 2014, p. 222-229.

Ghosh, P.; Ghose, T. K. Em *Advances in Biochemical Engineering/ Biotechnology*; Scheper, T., ed.; Springer: New York, 2003, vol. 85.

Globo Rural. **Conab Estima Safra 2018/2019 em 237,2 milhões de toneladas de grãos**. Disponível em: <https://revistagloborural.globo.com/Noticias/Agricultura/noticia/2019/01/conab-estima-safra-20182019-em-2372-milhoes-de-toneladas-de-graos.html> Acesso em: 2019.

Globo Rural. Milho: **Conab eleva estimativa de safra para 95,2 milhões de toneladas**. Disponível em: <https://revistagloborural.globo.com/Noticias/Agricultura/Milho/noticia/2019/05/milho-conab-eleva-estimativa-de-safra-para-952-milhoes-de-toneladas.html> Acesso em: 2019.

Globo Rural. **Produção de Trigo em 2019 deve crescer**. Disponível em: <https://revistagloborural.globo.com/Noticias/Agricultura/Trigo/noticia/2019/05/producao-de-trigo-em-2019-deve-crescer-39-diz-ibge.html> Acesso em: 2019.

Grand View Research, **Lactic Acid Market Size Worth USD 8.77 Billion By 2025 CAGR: 18.7%** Disponível em: <https://www.grandviewresearch.com/press-release/global-lactic-acid-and-poly-lactic-acid-market> Acesso em: 2019.

Grand View Reserach, **Polylactic Acid (PLA) Market Worth \$4.25 Billion By 2025 | CAGR 20.6%** Disponível em: <<https://www.grandviewresearch.com/press-release/global-polylactic-acid-pla-market>> Acesso em: 2019.

GreenLiving, **PLA (Ácido Polilático)**, Disponível em: <<http://greenlivingbrasil.com/materias-primas/plastico-pla/>> Acesso em: Julho 2019.

Guilherme, AA; Dantas, PVF; Santos, ES; Fernandes, FAN; Macedo, GR. Evaluation of composition, characterization and enzymatic hydrolysis of pretreated sugar cane bagasse. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**. v.32, n.1, São Paulo, Janeiro/Março 2015.

Gullón, b; Yáñez, R; Alonso, JL; Parajó, JC. L-Lactic acid production from apple pomace by sequential hydrolysis and fermentation. **Bioresource Technology**. v.99, n.2, p.308-319, Janeiro 2008.

Guo, W; Jia, W; Li, Y; Chen, S. Performances of *Lactobacillus brevis* for Producing Lactic Acid from Hydrolysate of Lignocellulosics. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v.161, n. 1-8, p. 124-136. Maio 2010.

Guo W.; He, R; Ma, L; Jia, W; Li, D; Chen, S; 2014, Construction of a constitutively expressed homo-fermentative pathway in *Lactobacillus brevis*. **Appl Microbiol Biotechnol**, v. 98, n. 15 p.6641-6650, Abril 2014.

Gupta, B.; Revagade, N; Hilborn, J; 2007, Poly(lactic acid) fiber: An overview. **Progress in polymer science**. v.32, n.4. abr. 2007. p. 455-482.

Hayek, S.A.; Ibrahim, S. Current Limitations and Challenges with Lactic Acid Bacteria: A Review. **Food and Nutritional Sciences**. v.4, n.11, p. 73-87. Janeiro 2013.

Hamad, K; Kaseem, M; Yang, HW; Deri, F; Ko, YG. Properties and medical applications of polylactic acid: A review. **eXPRESS Polymer Letters**, v.9, n.5, p. 435-455, 2015.

Hassan, SS; Williams, GA; Jaiswal, AK. Moving towards the second generation of lignocellulosic biorefineries in the EU: Drivers, challenges, and opportunities. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v.101, p. 590-599, Março 2019.

Hofvendahl, K. and Hahn-Hägerdal, B.: Factors affecting the fermentative lactic acid production from renewable resources. **Enz. Microbiol. Technol.** v.26 n. 2-4, p. 87-107 Fevereiro 2000.

Hu, J; Lin, Y; Zhang, Z; Xiang, T; Mei, Y; Zhao, S; Liang, Y; Peng, N. High-titer lactic acid production by *Lactobacillus pentosus* FL0421 from corn stover using fed-batch simultaneous saccharification and fermentation. **Bioresource Technology**. v.214, p. 74-80, Agosto 2016.

IBGE, 2018, **Agência de Notícias**, Disponível em <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/19942-em-janeiro-ibge-preve-safra-6-0-inferior-a-de-2017>> Acesso em: 2019.

IBGE. **Atlas Socioeconômico**. Arroz. Disponível em: <<https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/arroz>> Acesso em: 2019.

IBGE. **Agricultura**. Agropecuária puxa o PIB de 2017. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/noticias/agropecuaria-puxa-o-pib-de-2017>> Acesso em: 2019.

IBGE. **Censo Agro 2017**. Disponível em: <<https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/>> Acesso em: 2019.

IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Pesquisa Mensal de Previsão e Acompanhamento das Safras Agrícolas no Ano Civil. Rio de Janeiro, Janeiro 2017. 108 f. v. 30, n. 1, p. 1-81. 108 f.

Idris, A; Suzana, W. Effect of sodium alginate concentration, bead diameter, initial pH and temperature on lactic acid production from pineapple waste using immobilized *Lactobacillus delbrueckii*. **Process Biochemistry**. v.41, n.5, p.1117-1123, Maio 2006.

Ing, TS; Yu, AW; Nagaraja, V; Amin, NA; Ayache, S; Gandhi, VC; Daugirdas, JT. Employing L-Lactic Acid Powder in the Preparation of a Dry “Acid Concentrate” for use in a Bicarbonate-Based Dialysis Solution-Generating System: Experience in Hemodialysis Patients. **International Journal of Artificial Organs**, v.17, n.2, p.70-73. Fevereiro, 1994.

Investopedia. The World’s 6 Biggest Corn Producers. Disponível em: <<https://www.investopedia.com/articles/markets-economy/090316/6-countries-produce-most-corn.asp>> Acesso em: 2019.

Ipea. **Diagnóstico dos Resíduos Orgânicos do Setor Agrossilvopastoril e Agroindústrias Associadas**. Relatório de Pesquisa. Brasília 2012 Disponível em: <[http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/120917\\_relatorio\\_residuos\\_organicos.pdf](http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/120917_relatorio_residuos_organicos.pdf)> Acesso em: 2019.

Jawad, AH; Alkarkhi, AFM; Jason, OC; Easa, AM; Norulaini, NAN. Production of the lactic acid from mango peel waste- Factorial experiment. **Journal of King Saud University – Science**, v. 25, p. 39-45, 2013.

Jian, Q; Li, X; Chen, Y; Liu, Y; Pan, Y. Production of high optical purity l-lactic acid from waste activated sludge by supplementing carbohydrate: effect of temperature and pretreatment time. **Environmental Technology**, v. 37, n. 19, p. 2457-2466. Outubro 2016.

Jiang, T; Qiao, H; Zheng, Z; Chu, Q; Li, X; Yong, Q; Ouyangm J. Lactic Acid Production from Pretreated Hydrolysates of Corn Stover by a Newly Developed *Bacillus coagulans* Strain. **PLoS One**, v.11, n.2, Fevereiro 2016.

Jiang; Xu, P; Tao, F. 2019,L-Lactic acid production by *Bacillus coagulans* through simultaneous Saccharification and fermentation of lignocellulosic corncob residue. **Bioresource Technology Reports**, v.6, p.131-137, Junho 2019.

Jeong, KY; Mander, P; Sim, JJ. Kim, HM. Combination of lactate calcium salt with 5-indanesulfonamide and  $\alpha$ -cyano-4-hydroxycinnamic acid to enhance the antitumor effect on HCT116 cells via intracellular acidification. **Oncology Letters**. v.11, n.3, p.1866-1872, Março 2016.

Jönsson, LJ; Alriksson, B; Nilvebrant, NO. Bioconversion of lignocellulose: inhibitors and detoxification. **Biotechnology for Biofuels**. 2013 6:16

Jukonyte R; Zadeike, D; Bartkiene, E; Lele, V; Cernauskas, D; Suproniene, S; Juodeikiene, G; A potential of brown rice polish as a substrate for the lactic acid and bioactive compounds production by the lactic acid bacteria newly isolated from cereal-based fermented products. **LWT** v. 97, p. 323-331, Novembro 2018.

Karp SG; Igashiyama, AH; Siqueira, PF; Carvalho, JC; Vandenberghe, LPS; Thomaz-Soccol, V; Coral, J; Tholozan, JL; Pandey, A; Soccol, CR. Application of the biorefinery concept to produce L-lactic acid from the soybean vinasse at laboratory and pilot scale. **Bioresource Technology**. v.102, n.2, p.1765-1772. Janeiro 2011.

Karp, SG; Woiciechowski, AL; Thomaz Soccol, V; Soccol, CR. Pretreatment Strategies for Delignification of Sugarcane Bagasse: A Review. **Brazilian, Archives of Biology and Technology**. Curitiba, v.56, n.4, Julho/Agosto 2013.

Klebe, G. Optical Activity and Biological Effect. In: Klebe, G. **Drug Design**. Springer, Berlin, 2013, cap.5, p. 89-110.

Klovrychev, MF; Korolev, PN; Bulgakova, VG. Effect of copper ions and unfavourable pH on protein and RNA synthesis of *Candida utilis*. **Microbiology**, v. 47 , pp. 357-361, 1979.

Komesu, A. **Estratégias de separação e purificação do ácido lático produzido por via fermentativa**. 2015. 325f. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Química. Campinas, 2015.

Konta, AA; García-Piña, M; Serrano, DR. Personalised 3D Printed Medicines: Which Techniques and Polymers Are More Successful? **Bioengineering**. v.4, n.4, Setembro 2017.

Kornhauser et al, 2010, Applications of hydroxy acids: classification, mechanisms, and photoactivity. **Clinical, Cosmetic and Investigational Dermatology**. v.3, p.135-142. Novembro 2010.

Koundinya, V. Corn Stover. **Agricultural Marketing Resource Center**. 2009 Disponível em <<https://www.agmrc.org/renewable-energy/corn-stover>> Acesso em 2019.

Kourkoutas, Y; Bekatorou, A; Banat, IM; Marchant, R; Koutinas, AA. Immobilization technologies and support materials suitable in alcohol beverages production: a review. **Food Microbiology**, v. 21, n. 4, p. 377-397, Agosto 2004.

Krishna, B.S.; Saibaba, K.V.N; Gantala, S.S.N.; Tarun, B.; Gopinadh, R. Industrial production of lactic acid and its applications. **International Journal of Biotech Research**. v.1 n.1, p.42-54 Dezembro 2018.

Kuo YC; Yuan, SF; Wang, CA; Huang, YJ; Guo, GL; Hwang, WS; Production of optically pure L-lactic acid from lignocellulosic hydrolysate by using a newly isolated and D-lactate dehydrogenase gene-deficient *Lactobacillus paracasei* strain. **Bioresource Technology**, v. 198, p. 651-657. Dezembro 2015.

Kyriacos, AA; Niederauer, GG; Agrawal, CM. Sterilization, toxicity, biocompatibility and clinical applications of polylactic acid/ polyglycolic acid copolymers. **Biomaterials**, v.17, n.2, p.93-102, Janeiro 1996.

Lactic Acid. **Lactic Acid in food**. Disponível em: <[http://www.lactic-acid.com/lactic\\_acid\\_in\\_food.html](http://www.lactic-acid.com/lactic_acid_in_food.html)> Acesso em: 2019.



- Lee, J. Biological conversion of lignocellulosic biomass to ethanol. **Journal of Biotechnology**, v.56, n.1, p.1-24, Julho 1997.
- Lee, BB; Tham, HJ; Chan, ES. Fed-batch Fermentation of Lactic Acid Bacteria to Improve Biomass Production: A Theoretical Approach. **Journal of Applied Sciences**. v. 7, n. 15, p. 2211-2215, 2007.
- Lemelson-MIT. **Loius Pasteur**. Disponível em <<https://lemelson.mit.edu/resources/louis-pasteur>>. Acesso em: Abril 2019.
- Li, Zheng; Lu, JiKe; Yang, Z; Han, L; Tan, T. Utilization of white rice bran for production of L-lactic acid. **Biomass Bioenergy**. v.39, p.53-58. Abril 2012.
- Li, L; Cai, D; Wang, C; Han, J; Ren, W; Zheng, J; Wang, Z; Tan, T. et al, 2015, Continuous L-lactic acid production from defatted rice bran hydrolysate using corn stover bagasse immobilized carrier. **RSC Advances**, v.5, n.24, Janeiro 2015.
- Liu, G; Sun, J; Zhang, J; Tu, Y; Bao, J. High titer L-lactic acid production from corn stover with minimum wastewater generation and techno-economic evaluation based on Aspen plus modeling. **Bioresource Technology**. v.198, p.803-810. Dezembro 2015.
- Liu, P; Zheng, Z; Xu, Q; Qian, Z; Liu, J; Ouyang, J. Valorization of dairy waste for enhanced D-lactic acid production at low cost. **Process Biochemistry**, v.71, pp. 18-22, Agosto 2018.
- Long Ye, Z; Lu, M; Zheng, Y; Li, YH; Cai, WM. Lactic acid production from dining-hall food waste by *Lactobacillus plantarum* using response surface methodology. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, v. 83, n. 11, p. 1541-1550, Maio 2008.
- López-Gáron, CS; Straathof, AJJ. Recovery of carboxylic acids produced by fermentation. **Biotechnology Advances**, v.32, n.5, p.873-904, Setembro-Outubro, 2014.
- López-Gómez, JP; Alexandri, M; Schneider, R; Venus, J. A review on the current developments in continuous lactic acid fermentations and case studies utilising inexpensive raw materials. **Process Biochemistry**, v.79, p.1-10, Abril 2019.
- Lorenzetti, DB; Neuhaus, M; Schwab, NT. Gestão de Resíduos e a Indústria de Beneficiamento de Arroz. **Revista Gestão Industrial**, v. 8, n. 1, p.219-232, 2012.
- Lovett, J; de Bie, F. SUSTAINABLE SOURCING OF FEEDSTOCKS FOR BIOPLASTICS. Corbion, 2016. Versão 1.1. Disponível em: <[https://www.corbion.com/media/550170/corbion\\_whitepaper\\_feedstock\\_sourcing\\_11.pdf](https://www.corbion.com/media/550170/corbion_whitepaper_feedstock_sourcing_11.pdf)> Acesso em: 2019.
- Lu, Y; Lu, YC; Hu, HQ; Xie, FJ; Wei, XY; Fan, X. Structural Characterization of Lignin and Its Degradation Products with Spectroscopic Methods. **Journal of Spectroscopy**, v. 2017, Artigo ID 8951658, 15f, 2017.
- Ma K; Hu, G; Pan, L; Wang, Z; Zhou, Y; Wang, Y; Ruan, Z; He, M; Highly efficient production of optically pure L-lactic acid from corn stover hydrolysate by thermophilic *Bacillus coagulans*. **Bioresour Technol** v. 219, Julho 2016 p. 114-122.

MAEDA, RN; Serpa, VI; Rocha, VAL; Mesquita, RAA; Santa Anna, LMM; Castro, AM; Driemeier, CE; Pereira Jr, N; Polikarpov, I. Enzymatic hydrolysis of pretreated sugar cane bagasse using *Penicillium funiculosum* and *Trichoderma harzianum* cellulases. **Process Biochemistry**, v.46, n.5, p. 1196-1201, Maio 2011.

Markets and Markets. Lactic Acid Market. Disponível em:  
<<https://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/polylacticacid.asp>> Acesso em: 2019.

Martinez, F.A.C; Balciunas, E.M.; Salgado, J.M.; Gonzáles, J.M.D; Converti, A.; Oliveira, R.P.S; Lactic acid properties, applications and production: A review. **Trends in Food & Technology**. v.30, n.1, pg. 70-83, Março, 2013.

Maslova, O; Stepanov, N; Senko, O; Efremenko, E. Production of various organic acids from different renewable sources by immobilized cells in the regimes of separate hydrolysis and fermentation (SHF) and simultaneous saccharification and fermentation (SFF). **Bioresource Technology**, v.272, p.1-9, Janeiro 2019.

MATOS, A. T. Curso sobre tratamento de resíduos agroindustriais. Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2005. Disponível em:  
<<https://www.ebah.com.br/content/ABAAAAYNoAL/tratamento-residuos-agroindustriais>>. Acesso em: Junho 2019.

McDermott, A; Whyte, P; Brunton, N; Lyng, J; Fagan, J; Bolton, DJ. The effect of organic acid and sodium chloride dips on the shelf-life of refrigerated Irish brown crab (*Cancer pagurus*) meat. **LWT**, v.98, p.141-147, Dezembro 2018.

Meena, GS; Kumar, N; Majumdar, GC; Banerjee, R; Meena, PK; Yadav, V. Growth characteristics modeling of *Lactobacillus acidophilus* using RSM and ANN. **Brazilian Archives of Biology and Technology**. v.57, n.1, p.15-22, 2014.

Menconi A; Kallapura G; Latorre JD; Morgan MJ; Pumford NR; Hargis BM;Tellez G 2014, Identification and Characterization of Lactic Acid Bacteria in a Commercial Probiotic Culture. **Biosci Microbiota Food Health**, v. 33, n.1, p. 25-39, Janeiro 2014.

Michelin, M; Ruiz, HA; Silva, DP; Ruzene, DS; Teixeira, JA; Polizeli, MLTM. Cellulose from Lignocellulosic Waste. In: Ramawat, KG; Mérillon, JM. **Polysaccharides - Bioactivity and Biotechnology**, Berlin: Springer International Publishing, 2015. cap 15, p. 475-511.

Middleton, JC; Tipton, AJ. Synthetic biodegradable polymers as orthopedic devices. **Biomaterials**, v.21, n.23, p.2335-2346, Dezembro 2000.

Ministério da saúde. Formulário Terapêutico Nacional. Brasília: 2010. 1136f. Disponível em:  
<[http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/formulario\\_terapeutico\\_nacional\\_2010.pdf](http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/formulario_terapeutico_nacional_2010.pdf)> Acesso em: 2019.

Mladenović, D; Pejin, J; Kocic-Tanackov, S; Djukic-Vukovic, A; Mojovic, L. Enhanced lactic acid production by adaptive evolution of *Lactobacillus paracasei* on agro-industrial substrate. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v.187, n.3, p.753-769, Março 2019.

Morais, SAL; Nascimento, EA; Melo, DC. Chemical analysis of *Pinus oocarpa* wood part I – quantification of macromolecular components and volatile extractives. *Revista Árvore*, v.29, n.3, p.461-470, 2005.

Mordor Intelligence. **South America Lactic Acid Market**. Disponível em: <<https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/south-america-lactic-acid-market>> Acesso em 2019.

Moreno, AD; Ibarra, D; Alvira, P; Tomás-Pejó, E; Ballesteros, M. A review of biological delignification and detoxification methods for lignocellulosic bioethanol production. **Critical Reviews in Biotechnology**. v.35, n.3, p.342-354, 2015.

Mussatto, SI; Fernandes, M; Mancilha, IM; Roberto, IC. Effects of medium supplementation and pH control on lactic acid production from brewer's spent grain. **Biochemical Engineering Journal**, v.40, n. 3, p. 437-444, Julho 2008.

National Center for Biotechnology Information. **Taxonomy Browser** Disponível em <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/Browser/wwwtax.cgi?mode=Tree&id=1578&vl=3&keep=1&srchmode=1&unlock>> Acesso em: 2019.

Nguyen, Q; Bowyer, J; Howe, J; Bratkovich, S; Groot, H; Pepke, E; Fernholz, K; **GLOBAL PRODUCTION OF SECOND GENERATION BIOFUELS: TRENDS AND INFLUENCES**. Minneapolis: Dovetail Partners, Inc, 2017. 16f.

Nakano, S; Ugwu, CU; Tokiwa, Y. Efficient production of D-(-)-lactic acid from broken rice by *Lactobacillus delbrueckii* using Ca(OH)<sub>2</sub> as a neutralizing agente. **Bioresource Technology**, v.104, p.791-794, Janeiro 2012.

Nwachukwu, I; Ekwenye, U; Agomuo, NG; Ogbonna, C. Bioconversion of Agricultural and Food Processing Wastes to Value-Added Products Using Solid State Fermentation Technology. A Review. **IOSR Journal of Pharmacy and Biological Sciences**. V. 11, n.5, p.68-71, Maio 2016.

Nawaz A; Mechal, Q; Francis, N; Tahir, A; Mukhtar, H; Haq I, 2017, Lactic acid production using food waste. **International Journal of Engineering Research & Technology**, v.6, n. 5, p. 1044-1050, Maio 2017.

Nofar, M; Sacligil, D; Carreau, PJ; Kamal, MR; Heuzey, MC. Poly (lactic acid) blends: Processing, properties and applications. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.125, p.307-360, Março 2019.

Novais, MC. **Estudo da Logística Reversa no Ambiente Agroindustrial**. 2017. 52f Trabalho de Graduação, Universidade de Brasília. Brasília, Julho 2017.

Novo-Uzal, E., Pomar, F., Gómez-Ros, L.V., Espiñeira, J.M. and Barceló, A.R. Evolutionary history of lignins. In: Jouanin, L; Lapierre, C. **Lignins: Biosynthesis, Biodegradation and Bioengineering**. *Adv. Bot. Res.*, v. 61, cap. 8 p.311– 350., 2012.

Nunes, RM; Guarda, EA; Serra, JCV; Martins, AA Resíduos agroindustriais: potencial de produção do etanol de segunda geração no Brasil. **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, v.14, n.22, p.113-238, Julho/Dezembro, 2013.

Obi, FO; Ugwuishiwu, BO; Nwakaire, JN. Agricultural Waste Concept, Generation, Utilization and Management. **Nigerian Journal of Technology**. v.35, n.4, p. 957-964 Outubro 2016.

Ogeda, TL; Petri, DFS. Hidrólise Enzimática da Biomassa, **Química Nova**, v. 33, n. 7, p.1549-1558, São Paulo, Julho 2010.

Okano, K; Yoshida, S; Yamada, R; Tanaka, T; Ogino, C; Fukada, H; Kondo, A. Improved Production of Homo-D-Lactic Acid via Xylose Fermentation by Introduction of Xylose Assimilation Genes and Redirection of the Phosphoketolase Pathway to the Pentose Phosphate Pathway in L-Lactate Dehydrogenase Gene-Deficient *Lactobacillus plantarum*. **Applied Environmental Microbiology**, v.75, n.24, p.7858-7861, Dezembro 2009.

Oliveira de Moraes, A; Ramirez, NI; Pereira Jr. N. Evaluation of the fermentation potential of pulp mill residue to produce D(-)-Lactic acid by separate hydrolysis and fermentation using *Lactobacillus coryniformis* subsp. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 180 n. 8, p. 1574-1585, Dezembro 2016.

Oliveira, R.A, Komesu, A., Rossell, C.E.V. Filho, R.M., Challenges and opportunities in lactic acid bioprocess design—From economic to production aspects. **Biochemical Engineering Journal** v.133, n.15 p. 219-239, Maio 2018a.

Oliveira, RA; Rossell, CEV; Lunelli, BH; Schichi, POM; Venus, J; Filho, RM. 2018a, Different Strategies To Improve Lactic Acid Productivity Based on Microorganism Physiology and Optimum Operating Conditions. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v.57, n.31, p. 10117-10125, Julho 2018.

Oliveira, RA; Schneider, R; Rossell, CEV; Filho, RM; Venus, J. 2019a, Polymer grade L-lactic acid production from sugarcane bagasse hemicellulosic hydrolysate using *Bacillus coagulans*. **Bioresource Technology Reports**, v.6, p.26-31, Junho 2019a.

Oliveira, RA; Alexandri, M; Komesu, A; Venus, J; Rossell, CEV; Filho, RM. 2019b, Current Advances in Separation and Purification of Second-Generation Lactic Acid. **Separation & Purification Reviews**, Abril 2019b.

Oonkhanond, B; Jonglertjunya, W; Srimarut, N; Bunpachart, P; Tantinukul, S; Nasongkla, N; Sakdaronnarong, C. Lactic acid production from sugarcane bagasse by an integrated system of lignocellulose fractionation, saccharification, fermentation, and ex-situ nanofiltration **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v.5, n.3, p. 2533-2541, Junho 2017.

Orbis Research. **Reuters**. Disponível em: <<https://www.reuters.com/brandfeatures/venture-capital/article?id=59548>> Acesso em: 2019.

Orozco, FG; Valadez-González, A; Dominguez-Maldonado, JA; Zuluaga, F; Figueroa-Oyosa, LEF; Alzate-Gaviria, LM. Lactic Acid Yield Using Different Bacterial Strains, Its Purification, and Polymerization through Ring-Opening Reactions. **International Journal of Polymer Science**, v.2014, p.1-7, Fevereiro 2014.

Pal, P; Sikder, J; Roy, S; Giorno, L; Process intensification in lactic acid production: A review of membrane based processes. **Chemical Engineering and Processing: Process Intensification**. v. 48, n. 11-12, Nov. 2009, p. 1549-1559.

Panesar, PS; Kennedy, JF; Ghandi, DN; Bunko, K. Bioutilisation of whey for lactic acid production. **Food Chemistry**, v.105, n.1, p.1-14, 2007.

Park, JK; Chang, HN. Microencapsulation of microbial cells. **Biotechnology Advances**, v. 18, n. 4, p. 303-319, Julho 2000.

Parra-Ramírez, D; Martinez, A; Cardona, CA., Lactic acid production from glucose and xylose using the lactogenic *Escherichia coli* strain JU15: Experiments and techno-economic results. **Bioresource Technology**, v.273, p.86-92, Fevereiro 2019.

Pawar, R; Tekale, SU; Shisodia, S; Totre, JT. Biomedical Applications of Poly(Lactic Acid). **Recent Patents on Regenerative Medicine**, v.4, n.1, Maio 2014.

Pejin, J; Radosavljevic; Pribic, M; Kocic-Tanackov, S; Mladenovic, D; Djukic-Vukovic, A; Mojovic, L. Possibility of L-(+)-lactic acid fermentation using malting, brewing, and oil production by-products. **Waste Management**, v.79, p.153-163, Setembro 2018.

Pinaki, D; Lhakpa, W; Joginder, S. Simultaneous Saccharification and Fermentation (SSF), An Efficient Process for Bio-Ethanol Production: An overview. **Biosciences Biotechnology Research Asia**, v.12, n.1, Abril 2015.

Pleissner, D; Demichelis, F; Mariano, S; Fiore, S; Gutiérrez, IMN; Schneider, R; Venus, J. Direct production of lactic acid based on simultaneous saccharification and fermentation of mixed restaurant food waste. **Journal of Cleaner Production**, v.143, p.615-623, Fevereiro 2017.

Polak-Berecka, M; Wasko, A; Kordowska-Wiater, M; Podlesny, M; Targonski, Z; Kubik-Komar, A. Optimization of medium composition for enhancing growth of *Lactobacillus rhamnosus* PEN using response surface methodology. **Polish Journal of Microbiology**, v. 59, n. 2, p. 113-118, Janeiro 2010.

Poovaliah, CR.; Nageswara-Rao, M; Soneji, JR; Baxter, HL; Stewart Jr, CN. Altered lignin biosynthesis using biotechnology to improve lignocellulosic biofuel feedstocks. **Plant Biotechnology Journal**, v. 12, p. 1163-1173, Maio 2014.

Qin, H; Gong, SS; Ge, XY; Zhang, WG. The effect of temperature on L-lactic acid production and metabolite distribution of *Lactobacillus casei*.. **Preparative Biochemistry and Biochemistry**. v.42, n.6, p.564-573, Outubro 2012.

Qing et al., 2017, Comparison of alkaline and acid pretreatments for enzymatic hydrolysis of soybean hull and soybean straw to produce fermentable sugars. **Industrial Crops and Products**, v.109, p.391-397, Dezembro 2017.

Qiu Z; Gao Q; Bao J; 2018, Engineering *Pediococcus acidilactici* with xylose assimilation pathway for high titer cellulosic L-lactic acid fermentation. **Bioresource Technology**, v.249, p. 9-15, Fevereiro 2018.

Ramaswamy, S; Huang, HJ; Ramarao, BV. **Separation and Purification Technologies in Biorefineries**. Chichester, John Wiley & Sons, 2013.

RAMBO, MKD. **Caracterização de resíduos lignocelulósicos por espectroscopia NIR aliada à quimiometria para a obtenção de insumos químicos**. 2013. 157f. Dissertação Doutorado - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Química, Campinas, SP.

Ranjit, C; Srividya, S. Lactic acid production from free and Polyurethane immobilized cells of *Rhizopus oryzae* MTCC 8784 by direct hydrolysis of starch and agro-industrial waste. Janeiro 2016.

Rasal, R.M.; Janorkar, A.V; Hirt, D.E. Poly(lactic acid) modifications. **Progress in Polymer Science**, v.35, n.3, p. 338-356, Março 2010.

Rault, A; Bouix, M; Béal, C. Fermentation pH Influences the Physiological-State Dynamics of *Lactobacillus bulgaricus* CFL1 during pH-Controlled Culture. **Applied and Environmental Microbiology**, v.73, n.13, p.4374-4381, Junho 2009.

Reddy, LV; Kim, YM; Yun, JS; Ryu, HW; Wee, YJ. L-Lactic acid production by combined utilization of agricultural bioresources as renewable and economical substrates through batch and repeated-batch fermentation of *Enterococcus faecalis*RKY1. **Bioresource Technology**, v.209, p.187-194, Junho 2016.

Revista Fi, 2010, **Entrevista Marco Bootz, PURAC - LÍDER MUNDIAL NA PRESERVAÇÃO NATURAL DE ALIMENTOS**, disponível em <[http://revista-fi.com.br/upload\\_arquivos/201606/2016060902688001465320298.pdf](http://revista-fi.com.br/upload_arquivos/201606/2016060902688001465320298.pdf)> Acesso em: 2019.

Revista NEI. **Produtos Químicos> Ácido Lático**. disponível em: <<https://www.nei.com.br/fornecedores/acido-lactico?id=3fc877b2-5635-11e4-86da-b8ac6f8335df>> Acesso em: 2019.

Rodrigues, Giselle de Arruda. Produção de ácido lático a partir do bagaço da cana de açúcar. 2012. 178f. Dissertação Doutorado. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química, Campinas, SP.

Ruiz-Dueñas, FJ; Martínez, AT. Microbial degradation of lignin: how a bulky recalcitrant polymer is efficiently recycled in nature and how we can take advantage of this. **Microbial Technology**, v. 2, n. 2, p. 164-177, 2009.

Sadh, PK; Duhan, S; Duhan, JS. Agro-industrial wastes and their utilization using solid state fermentation: a review tabelas de composição de cada resíduo. **Bioresources and Bioprocessing**, p.1-15, Janeiro 2018.

Sakai, K; Ezaki, Y; Tongpim, S; Kitpreechavanich, V. High-Temperature L-Lactic Acid Fermentation of Food Waste Under Open Condition and Its FISH Analysis of Its Micro Flora. **Nat. Sci.**, p.35-39, 2006.

Santos, FA; Queiróz, JH; Colodette, JL; Fernandes, SA; Guimarães, VM; Rezende, ST. Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. **Química Nova.**, São Paulo, v.35, n.5, p.1004-1010, Janeiro 2012.

Sauer, M; Porro, D; Mattanovich, D; Branduardi, P. Microbial production of organic acids: expanding the markets. **Trends in Biotechnology**, v.26, n.2, p.100-108, Fevereiro, 2008.

Scheele, 2016, Chapter 4, ESTIMATION OF OPTICAL PURITY OF LACTIC ACID MONOMER.

Shah, BH; e Shah, P. Reactive Distillation in Process Industries. Technical Report, n. 2. Nirma University, Maio 2015.

SILVA, V. L. M. M.; GOMES, W. C. O.; ALSINA, L. S. Utilização do bagaço de cana-deaçúcar como biomassa adsorvente na adsorção de poluentes orgânicos. **Revista eletrônica de materiais e processos**, v. 2, n. 1, p. 27-32, 2007.

Shi, Zhouming; Wei, Pe; Zhu, X; Cai, J; H, Lei; Xu, Z. Efficient production of l-lactic acid from hydrolysate of Jerusalem artichoke with immobilized cells of *Lactococcus lactis* in fibrous bed bioreactors. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 51, n.5, p. 263-268, Outubro 2012.

Sikder, J; Roy, M; Dey, P; Pal, P. Techno-economic analysis of a membrane-integrated bioreactor system for production of lactic acid from sugarcane juice. **Biochemical Engineering Journal**, v.63, p.81-87, Abril 2012.

Silva, D; Kaduri, M; Poley, M; Adir, O; Krinsky, N; Shainsky-Roitman, J; Schroeder, A. Biocompatibility, biodegradation and excretion of polylactic acid (PLA) in medical implants and theranostic systems. **Chemical Engineering Journal**, v.340, p.9-14, Maio 2018.

Silva, SS; Mancilha, IM. Aproveitamento de resíduos agro-industriais: ácido láctico, uma alternativa. *Bol. SBCTA*, 25, p. 37-40, 1991.

Singh, S; Davis, David. Ringer's Lactate. **StatPearls Publishing**. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK500033/>> Janeiro 2019. Acesso em: 2019.

Smith, WP. Epidermal and dermal effects of topical lactic acid. **Journal of the American Academy of Dermatology**, v.35, n.3, parte 1, p.388-391, Setembro 1996.

Smerilli, M; Neureiter, M; Wurz, S; Haas, C; Frühauf, S; Fuchs, W. Direct fermentation of potato starch and potato residues to lactic acid by *Geobacillus stearothermophilus* under non-sterile conditions. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, v. 90, n.4, p. 648-657, Janeiro 2015.

Sorek, N; Yeats, TH; Szemenyei, H; Youngs, H; Somerville, CR. The Implications of Lignocellulosic Biomass Chemical Composition for the Production of Advanced Biofuels. **BioScience**, v. 64, n. 3, p. 192-201, Março 2014.

SODEGARD, A; STOLT, M. 2002, Properties of lactic acid based polymers and their correlation with composition. **Progress in polymer science**. v. 27, n. 6, julho, 2002, p. 1123-1163.

SpecialChem, 2013, **Cellulac Intends to Produce 20,000 Tons Per Annum of Lactic Acid at its Germany Facility**. Disponível em: <<https://adhesives.specialchem.com/news/industry-news/cellulac-intends-to-produce-20-000-tons-per-annum-of-lactic-acid-at-its-germany-facility?id=7438>> Acesso em: 2019.

Stanier, RY; Ingraham, JL; Wheelis, JL. P.Rpainter. **General microbiology** (5th ed.), Macmillan Education, London, 1986.

Su, CY; Yu, CC; Chien, IL; Ward, JD. Plant-Wide Economic Comparison of Lactic Acid Recovery Processes by Reactive Distillation with Different Alcohols. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 52, n. 32, p. 1170-11083. Julho, 2013.

Taherzadeh, MJ; Karimi, K. Acid-based hydrolysis processes for ethanol from lignocellulosic materials: a review *BioResources*, v.2 n.3), pp.472-499, 2007.

Taherzadeh, MJ; Karimi, K (2008) Pretreatment of lignocellulosic wastes to improve ethanol and biogas production: a review. **International Journal of Molecular Sciences** 9:1621–1651.

Tan, J.; Abdel-Rahman, M.A.; Sonomoto, K. Biorefinery-Based Lactic Acid Fermentation: Microbial Production of Pure Monomer Product. In: Di Lorenzo M., Androsch R. (eds) **Synthesis, Structure and Properties of Poly(lactic acid)**. Advances in Polymer Science, vol 279. Springer 2017 Cham p. 27-66.

Tanaka, K; Komiyama, A; Sonomoto, K; Ishizaki, A; Hall, SJ; Stanbury, PF. Two different pathways for d-xylose metabolism and the effect of xylose concentration on the yield coefficient of l-lactate in mixed-acid fermentation by the lactic acid bacterium *Lactococcus lactis* IO-1. **Applied Microbiology Technology**, v. 60, n. 1-2, p. 160-107, Outubro 2002.

Tanaka, T; Hoshina, M; Tanabe, S; Sakai, K; Ohtsubo, S; Taniguchi, M. Production of D-lactic acid from defatted rice bran by simultaneous saccharification and fermentation. **Bioresource Technology**, v. 97, n.2, p.211-217, Janeiro 2006.

Taniguchi, M; Tokunaga, T; Horiuchi, K; Sakai, K; Tanaka, T. Production of L-lactic acid from a mixture of xylose and glucose by co-cultivation of lactic acid bacteria. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 66, n.2, p. 160-165, Dezembro 2004.

Tang, J; Wang, XC; Hu, Y; Zhang, Y; Li, Y. Effect of pH on lactic acid production from acidogenic fermentation of food waste with different types of inocula. **Bioresource Technology**, v. 224, p. 544-552, Janeiro 2017.

Tashiro, y; Kaneko, W; Sun, Y; Shibata, K; Inokuma, K; Zendo, T; Sonomoto, K. Continuous D-lactic acid production by a novel thermotolerant *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *lactis* QU 41. **Applied Microbiology Biotechnology**. v. 89, n. 6, Março 2011 p 1741-1750.

Thapa LP; Lee SJ; Park C, Kim SW; Production of L-lactic acid from metabolically engineered strain of *Enterobacter aerogenes* ATCC 29007. **Enzyme Microb Technol** v. 102, p. 1-8, Julho 2017.

Thitiprasert, S; Kodama, K; Tanasupawat, S; Prasitchoke, P; Rampai, T; Prasirtsak, B; Tolieng, V; Piluk, J; Assabumrungrat, S; Thongchui, N; A homofermentative *Bacillus sp.* BC-001 and its performance as a potential L-lactate industrial strain. **Bioprocess and Biosystems Engineering** v.40, n. 12, p. 1787-1799, Dezembro 2017.

Tian, X; Wang, Y; Chu, J; Zhuang, Y; Zhang, S. L-Lactic acid production benefits from reduction of environmental osmotic stress through neutralizing agent combination. **Bioprocess and Biosystems Engineering**, v. 37, n. 9, p. 1917-1923, Setembro 2014a.

Tian, X; Wang, Y; Chu, J; Zhuang, Y; Zhang, S. Oxygen transfer efficiency and environmental osmolarity response to neutralizing agents on L-lactic acid production efficiency by *Lactobacillus paracasei*. **Process Biochemistry**, v.49, n.2, p. 2049-2054 Dezembro 2014b.

Todar, **Todar's Online Textbook of Bacteriology**, Disponível em <http://textbookofbacteriology.net/lactics.html>> Acesso em: 2019.



- Todar, **Todar's Online Textbook of Bacteriology**, Disponível em [http://textbookofbacteriology.net/lactics\\_2.html](http://textbookofbacteriology.net/lactics_2.html)> Acesso em: 2019.
- Tyler, B; Gullotti, D; Mangraviti, A; Utsuki, T; Brem, H; Polylactic acid (PLA) controlled delivery carriers for biomedical applications. **Advanced Drug Delivery Reviews**, v. 107, Dezembro, 2016; p. 163-175.
- Ulprospector. L(+)-Lactic Acid Personal Care Grade. Disponível em: <https://www.ulprospector.com/pt/la/PersonalCare/Detail/5051/353648/L-Lactic-Acid-Personal-Care-Grade> > Acesso em: Junho 2019.
- USDA, Foreign Agricultural Service. **China: Potato and Potato Products Annual Report**. Beijing. Novembro, 2018. 7f.
- U.S DEPARTMENT OF ENERGY, **Top Value Added Chemicals from Biomass: Volume I -- Results of Screening for Potential Candidates from Sugars and Synthesis Gas**. 2004a. 76f.
- Usuki A, Ohashi A, Sato H, Ochiai Y, Ichihashi M, Funasaka Y. The inhibitory effect of glycolic acid and lactic acid on melanin synthesis in melanoma cells. **Experimental Dermatology**. v.12 n.2: p.43–50, 2003.
- Van den Oever, M; Molenveld, K; van der Zee, Maarten; Harriëtte, B. Bio-based and biodegradable plastics – Facts and Figures. Focus on food packaging in the Netherlands. **Food & Biobased Research**, p. 1-65, Abril 2017.
- Van Der Pol, EC; Vaessen, E; Weusthuis, RA; Eggink, G. Identifying inhibitory effects of lignocellulosic by-products on growth of lactic acid producing micro-organisms using a rapid small-scalescreening method. **Bioresource Technology**, v. 209, p. 297-304, Junho 2016.
- Van Dyk, JS e Pletschke, BI. A review of lignocellulose bioconversion using enzymatic hydrolysis and synergistic cooperation between enzymes. **Biotechnology Advances**, v. 30, n. 6, p. 1458- 1480. Novembro/Dezembro 2012.
- Verbruggen, M. **NatureWorks**, 2013, Bio-polymers, an industry perspective, BPM symposium, 27 de Junho.
- Verywell Health. An Overview of Lactic Acid Skin Care. Disponível em: <https://www.verywellhealth.com/lactic-acid-skin-care-4178819> Acesso em: Junho 2019.
- Vink, ETH; Davies, S; Kolstad, JJ. **The eco-profile for current Ingeo polylactide production** Ind Biotechnol, 6 (2010), pp. 212-224.
- Von Wright, A; L. Axelsson, L. “Lactic Acid Bacteria: An Introduction,” In: Lahtinne, S; Salminen, S; Von Wright, A; Ouwehand, A; Eds., **Lactic Acid Bacteria: Microbiological and Functional Aspects**, CRC Press, London, 2011, pp. 1-17.
- Wang, Li; Zhao, B; Liu, B; Yu, B; Ma, C; Su, F; Hua, D; Li, Q; Ma, Y; Xu, P. Efficient production of l-lactic acid from corn cob molasses, a waste by-product in xylitol production, by a newly isolated xylose utilizing *Bacillus sp.* strain. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 20, p. 7908-7915, Outubro 2010.

Wang, Y; Li, K; Huang, F; Wang, J; Zhao, J; Zhao, X; Garza, E; Manow, R; Grayburn, S; Zhou, S. Engineering and adaptive evolution of *Escherichia coli* W for l-lactic acid fermentation from molasses and corn steep liquor without additional nutrients. **Bioresource Technology**, v. 148, p. 394-400, Novembro 2013.

Wang, Y; Yang, Z; Qin, Peiyong; Tan, T; Fermentative L-(+)-lactic acid production from defatted rice bran. **RSC Advances**. v.4, p. 8907-8913. Janeiro 2014.

Wang, Y; Tashiro, Y; Sonomoto, K. Fermentative production of lactic acid from renewable materials: Recent achievements, prospects, and limits. **Journal of Bioscience Bioengineering**, v. 119, n. 1, p. 10-18, Janeiro 2015.

Wang, Y; Cao, W; Luo, J; Wan, Y. Exploring the potential of lactic acid production from lignocellulosic hydrolysates with various ratios of hexose versus pentose by *Bacillus coagulans* IPE22. **Bioresource Technology**, v. 261, p. 342-349, Agosto 2018.

Wee, YJ; Kim, JN; Ryu, HW. Biotechnological Production of Lactic Acid and Its Recent Applications. **Food Technol. Biotechnol.** v.44, n.2, p.163–172, Abril 2006a.

Wee, YJ; Yun, JS; Kim, D; Ryu, HW. Batch and repeated batch production of L(+)-lactic acid by *Enterococcus faecalis* RKY1 using wood hydrolyzate and corn steep liquor. **Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology**, v. 33, n. 6, p. 431-435. Julho 2006b.

Wee, YJ; Ryu, HW. Lactic acid production by *Lactobacillus* sp. RKY2 in a cell-recycle continuous fermentation using lignocellulosic hydrolyzates as inexpensive raw materials. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 18, p. 4262-4270, Setembro 2009.

Wingren, A.; Galbe, M.; Zacchi, G. Techno-economic evaluation of producing ethanol from softwood: comparison of SSF and SHF and identification of bottlenecks. **Biotechnology Progress**, v. 19, n. 4, p. 1109-1117, Julho 2003.

Wischnal, D; Arias, JM; Modesto, LF; Passos, DF; Pereira Jr, N; Lactic Acid Production from Sugarcane Bagasse Hydrolysates by *Lactobacillus pentosus*: Integrating Xylose and Glucose Fermentation. **Biotechnology Progress**, v. 35, n. 1, Outubro 2018.

Woiciechowski, AL; Nitsche, S; Pandey, A; Soccol, CR. Acid and Enzymatic Hydrolysis to Recover Reducing Sugars from Cassava Bagasse: an Economic Study. **Brazilian Archives of Biology and Technology**. v. 45, n. 3, Curitiba, Setembro 2002.

Woiciechowski, A; Carvalho, JC; Spier, MR; Habu, S. Emprego de Resíduos Agroindustriais em Bioprocessos Alimentares. In: Bicas, JL; Maróstica Junior, MR; Pastore, GM. **Biotecnologia de Alimentos**, ed.1, Atheneu Editora, 2013, cap. 6. p. 143- 171.

World Agricultural Production,. **World Wheat Production** 2019/2020. Disponível em: <<http://www.worldagriculturalproduction.com/crops/wheat.aspx>> Acesso em: 2019.

WorldAtlas. **Top Sugarcane Producing Countries**. Disponível em: <<https://www.worldatlas.com/articles/top-sugarcane-producing-countries.html>> Acesso em: 2019.

Worthington Biochem. **Introduction to Enzymes**. Disponível em: <<http://www.worthington-biochem.com/introbiochem/factors.html>> Acesso em: Junho 2019.

Wu, C; Zhang J; Du, G; Chen, J; Heterologous expression of *Lactobacillus casei* RecO improved the multiple-stress tolerance and lactic acid production in *Lactococcus lactis* NZ9000 during salt stress. **Bioresource Technology**, v. 143, p. 238-241, Setembro 2013.

Xiao Zhang e Yi-Heng Zhang, 2013, Cellulases: characteristics, sources, production, and applications.. In: Yang, ST; El-Enshasy, HA; Thongchul, N. **Bioprocessing Technologies in Biorefinery for Sustainable Production of Fuels, Chemicals and Polymers**. 2013 cap. 8, p. 131-146.

Xu, Z; Wang, Q; Wang, P; Cheng, G; Ji, Y; Jiang, Z. Production of lactic acid from soybean stalk hydrolysate with *Lactobacillus sake* and *Lactobacillus casei*. **Process Biochemistry**. v. 42, n. 1, p. 89-92, Janeiro 2007.

Xu, K; Xu, P; Betaine and Beet Molasses Enhance L-Lactic Acid Production by *Bacillus coagulans*. **Plos One** Junho 2014.

YARA, Mercado da Soja. Disponível em: < <https://www.yarabrasil.com.br/nutricao-de-plantas/soja/mercado-da-soja/>> Acesso em: Abril 2019.

Zambom, MA; dos Santos, GT; Modesto, EC; Alcalde, CR; Gonçalves, GD; da Silva, DC; da Silva, KT; Faustino, JO. Valor nutricional da casca do grão de soja, farelo de soja, milho moído e farelo de trigo para bovinos. **Acta Scientiarum Animal Science**, Maringá, v. 23, n. 4, p. 937-943, 2001.

Zhang YX, Vadlani PV, Kumar A, Hardwidge PR, Govind R, Tanaka T et al., Enhanced D-lactic acid production from renewable resources using engineered *Lactobacillus plantarum*. **Appl Microbiol Biotechnol** v.100 n.1 p.279–288 Janeiro 2016.

Zheng et al., 2010, Strain improvement of *Sporolactobacillus inulinus* ATCC 15538 for acid tolerance and production of D-lactic acid by genome shuffling. **Appl Microbiol Biotechnol**. v. 85 n. 5 p.1541-1549. Fevereiro 2010.

Ziglio, B; Bezerra, JRMV; Branco, IG; Bastos, R; Rigo, M. Elaboração de Pães com Adição de Farinha de Sabugo de Milho. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 9, n. 1, Janeiro/Junho 2007.

Zou, H; Wu, Z; Xian, M; Liu, H; Cheng, T; Cao, Y; Not only osmoprotectant: Betaine increased lactate dehydrogenase activity and L-lactate production in *Lactobacilli*. **Bioresource Technology**, v. 148, p. 591-595, Novembro 2013.

---

## ANEXO 1

Tabela 8. Principais países dos quais o Brasil importou ácido lático em diferentes períodos

Importações Brasileiras de Ácido Lático				
Países	2018 (US\$)	2017 (US\$)	2016 (US\$)	2015 (US\$)
Alemanha	4.786.222,00	3.312.472,00	2.849.278,00	225.823,00
Países Baixos (Holanda)	1.723.172,00	1.690.998,00	1.432.620,00	1.738.912,00
China	1.158.261,00	1.345.566,00	514.098,00	750.628,00
Estados Unidos	1.073.388,00	702.046,00	243.635,00	163.370,00
Reino Unido	988.055,00	1.171.213,00	822.513,00	851.954,00
Bélgica	615.399,00	892.085,00	271.234,00	823.752,00
Dinamarca	184.584,00	122.498,00	-	-
Espanha	157.701,00	3.788.022,00	103.207,00	277.562,00
Japão	156.766,00	58.216,00	50.721,00	143.569,00
França	35.354,00	17.231,00	31.715,00	17.048,00
México	25.695,00	1.386,00	441,00	5.999,00

Fonte: Camex Stat

Tabela 9. Principais países para os quais o Brasil exportou ácido lático em diferentes períodos

Exportações Brasileiras de Ácido Lático				
Países	2018 (US\$)	2017 (US\$)	2016 (US\$)	2015 (US\$)
Países Baixos (Holanda)	15.045.933,00	12.113.591,00	6.530.393,00	6.424.567,00
Argentina	1.829.004,00	1.735.236,00	2.184.131,00	2.428.498,00
Colômbia	703.572,00	767.083,00	592.121,00	413.672,00
Paraguai	696.080,00	658.620,00	1.180.016,00	1.813.819,00
Guatemala	592.582,00	539.773,00	639.955,00	604.076,00
República Dominicana	546.746,00	531.648,00	760.693,00	752.398,00
Honduras	449.468,00	334.858,00	328.198,00	265.889,00
Costa Rica	400.532,00	570.847,00	529.347,00	622.331,00
Espanha	347.590,00	328.153,00	343.991,00	363.122,00
Chile	275.929,00	202.089,00	576.746,00	352.593,00
Peru	228.082,00	125.262,00	139.174,00	57.840,00

Fonte: Camex Stat

