



# Perspectivas sobre o aproveitamento de coprodutos e resíduos de cadeias agroenergéticas como estratégia de valorização da **biomassa**

Por ... *Silvio Vaz Júnior*

*Artigo avalia o potencial econômico da utilização de coprodutos e resíduos agroenergéticos, mostrando um cenário relacionado às perspectivas e aos desafios para o desenvolvimento de uma economia verde brasileira e de uma química sustentável e renovável.*

O desenvolvimento econômico das diferentes cadeias da biomassa fazem parte da agenda de P&D&I da maioria dos países desenvolvidos e em desenvolvimento, como o Brasil, mobilizando grandes quantias de recursos e esforços públicos e privados voltados para o aproveitamento otimizado da biomassa, para agregar valor às cadeias produtivas e reduzir possíveis impactos ambientais destas. No caso do Brasil, que é um dos principais países produtores de biomassa, alimentos e biocombustíveis, estes esforços são de grande relevância para a manutenção de um cenário econômico positivo e menos impactante.

Conceitos como os de biorrefinaria e de química verde enfocam o aproveitamento da biomassa de modo que se tenham cadeias de valores similares às que das derivadas do petróleo, porém com menor impacto ao meio ambiente, de forma a contemplar sistemas integrados (matéria-prima, processo, produto e resíduos) sustentáveis, de acordo com parâmetros técnicos que levam em con-

ta, dentre outros aspectos, os balanços de energia e a massa e análise do ciclo de vida. Vaz Jr. e Damaso observam a grande sinergia entre as biorrefinarias e a química verde, principalmente no que diz respeito à minimização de resíduos e de impactos ambientais, e a criação de uma “economia verde”<sup>1</sup>. Citando-se como exemplo uma biorrefinaria baseada na cana-de-açúcar como matéria-prima, esta pode integrar em um mesmo espaço físico processos de obtenção de biocombustíveis (etanol), produtos químicos (sucroquímicos), energia elétrica e calor.

Em uma escala de valoração econômica, apresentada na Figura 1, os produtos químicos desenvolvidos a partir da biomassa são os que possuem maior potencial em agregar valor a uma cadeia produtiva agroenergética, em função da participação estratégica da indústria química no fornecimento de insumos e produtos finais a diversos setores da economia, como: petroquímico, farmacêutico, automotivo, construção, agronegócio, cosméticos, etc. Biocom-

bustíveis e materiais estão em um segundo patamar de valoração, seguidos por energia e insumos químicos, como fertilizantes e defensivos agrícolas.

No Brasil, esforços têm sido feitos de modo a se levantar o potencial econômico da biomassa segundo a visão da utilização de fontes renováveis para uso e desenvolvimento de uma química sustentável nacional<sup>3</sup>. Porém, o número de trabalhos voltados exclusivamente para o aproveitamento tecnológico dos coprodutos e resíduos agroenergéticos é pequeno no Brasil, excetuando-se aqueles mais voltados para a obtenção de etanol de segunda geração e uso de efluentes. Neste contexto, cabe destacar a criação da Embrapa Agroenergia para dar apoio ao Plano Agroenergético Brasileiro<sup>4</sup>, e dentro desta o Laboratório de Aproveitamento de Coprodutos e Resíduos, que tem como principal objetivo o desenvolvimento de tecnologias que possibilitem agregar valor à biomassa residual da produção de biocombustíveis por meio de, por exemplo, desenvolvimento de compostos químicos e

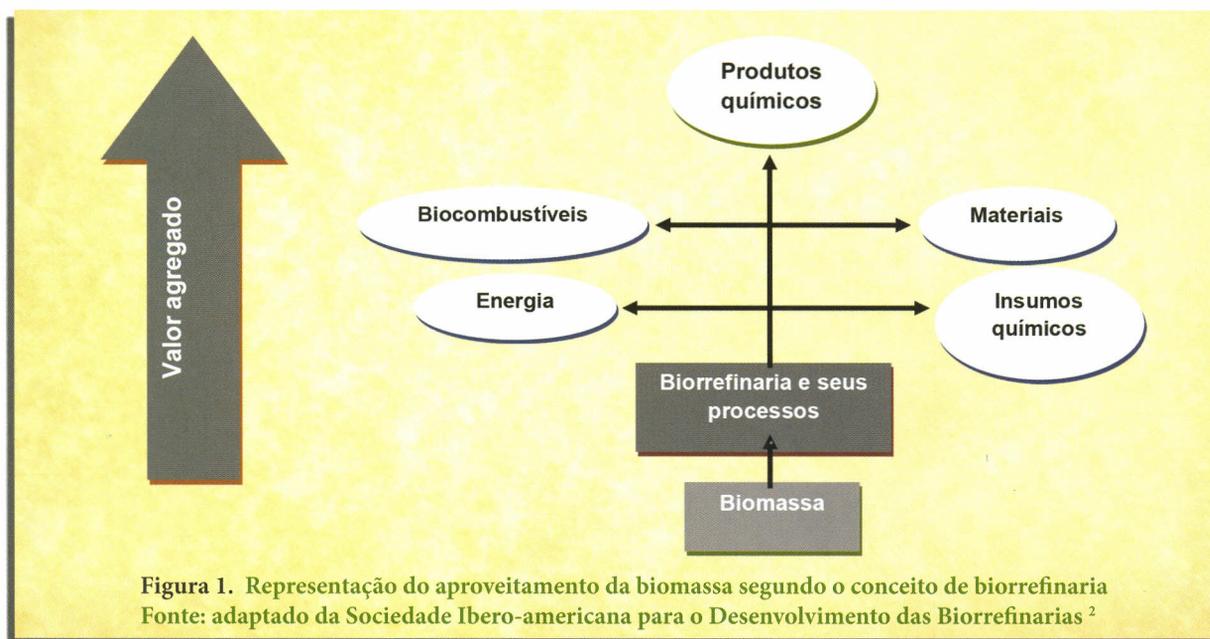


Figura 1. Representação do aproveitamento da biomassa segundo o conceito de biorrefinaria  
 Fonte: adaptado da Sociedade Ibero-americana para o Desenvolvimento das Biorrefinarias <sup>2</sup>

de materiais<sup>5</sup>. É importante destacar que o aproveitamento da biomassa agroenergética residual é fundamental para viabilizar a produção dos biocombustíveis.

De modo a facilitar o entendimento, os resíduos são materiais excedentes de um processo produtivo, de baixo ou nenhum valor, enquanto que os coprodutos são compostos químicos de interesse secundário obtidos de uma reação química de um processo, e podem ou não ter valor estratégico.

Este artigo trata do potencial econômico do aproveitamento de resíduos e coprodutos de diferentes cadeias agroenergéticas, de modo a apresentar um panorama atual de suas perspectivas e de seus desafios a serem superados para sua incorporação à crescente economia verde nacional, além de contribuir para o desenvolvimento de uma química renovável e sustentável.

### Coprodutos e resíduos agroenergéticos

Os principais resíduos das cadeias agroenergéticas são: lignocelulósicos (bagaço, palha, fibras, cascas, etc.), açúcares residuais ou com alto conteúdo de impurezas (principalmente sacarose), oleafinas residuais ou também com alto conteúdo de impurezas e outros tipos que são uma mistura dos primeiros, como é o caso da torta da extração de oleaginosas, como soja, mamona e pinhão-manso – os dois últimos casos apresentam compostos tóxicos, como a ricina e os ésteres de forbol, respectivamente, que limitam seu uso<sup>6,7</sup>. Devido ao alto conteúdo de lignina, celulose e hemicelulose presente nas plantas (lignina: 18 – 35% m/m; celulose: 40 – 50% m/m; hemicelulose: 10 – 35% m/m) e as perspectivas de uso destas<sup>8</sup>, os resíduos lignocelulósicos podem ser conside-

Resíduo	Constituição principal	Proposta de uso
Bagaço	Lignina, celulose, hemicelulose, inorgânicos e água	Alimentação animal Bioeletricidade via cogeração Compostos químicos renováveis substitutos dos petroquímicos Etanol de segunda geração Materiais alternativos diversos
Palha	Lignina, celulose, hemicelulose, inorgânicos e água	Bioeletricidade via cogeração Compostos químicos renováveis substitutos dos petroquímicos Etanol de segunda geração
Vinhaça (efluente aquoso)	Matéria orgânica solubilizada, sólidos inorgânicos insolúveis, sais inorgânicos solúveis e água	Biogás Fertilizante

**Tabela 1. da cadeia do etanol de cana-de-açúcar com potencial econômico**

rados como um dos mais promissores quando comparados aos demais. De todo modo, a avaliação final da viabilidade de uso dependerá da indústria interessada, além de fatores como a quantidade e intensidade de produção do resíduo, da legislação ambiental reguladora, necessidade de redução de custos, entre outros.

Quanto aos coprodutos, estes podem ser observados em menor número, cabendo destacar somente a glicerina.

### Cadeia do etanol

Na cadeia da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) cerca de 28% m/m da biomassa produzida é bagaço<sup>9</sup>, o que faz deste o principal resíduo que pode oferecer um potencial de exploração econômica, seguido da palha e da vinhaça, não sendo observados coprodutos de relevân-

cia. A Tabela 1 apresenta estes resíduos e suas características.

O bagaço já é frequentemente utilizado na alimentação animal e na produção de bioeletricidade, ou cogeração, de modo que as usinas são autossuficientes quanto ao uso de energia elétrica<sup>10</sup>. O uso do bagaço e da palha para a produção de etanol de segunda geração (2G) é um tema que possui grande quantidade de trabalhos publicados na literatura, porém ainda não se tem uma produção comercial, além de haver gargalos a serem superados como a redução do custo de enzimas e desenvolvimento de leveduras que fermentem as pentoses da hemicelulose<sup>11</sup>. Já a vinhaça tem sido utilizada tanto na geração de biogás quanto na fertirrigação do solo; contudo, é necessário um monitoramento frequente de sua aplicação, devido ao

alto conteúdo de íons e matéria orgânica, que podem alterar as propriedades físico-químicas do solo, com as posteriores lixiviação dos íons ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{K}^+$ , etc.) e contaminação da água subterrânea<sup>12</sup>.

### Cadeia do biodiesel

Nesta cadeia são consideradas principalmente as plantas oleaginosas, como a soja (*Glycine max*), o dendê (*Elaeis guineensis*), o algodão (*Gossypium spp.* L.), o girassol (*Helianthus annuus*), a mamona (*Ricinus communis*), a macaúba (*Acrocomia aculeata*) e o pinhão-manso (*Jatropha curcas*) – este último ainda em fase experimental para a implantação de sua cultura no País. Apesar das gorduras animais também serem uma matéria-prima para o biodiesel, sua geração de resíduos não é considerada, por ser ela mesma um coproduto animal.

A cadeia do biodiesel, assim como a do etanol, apresenta-se como uma grande geradora de resíduos lignocelulósicos oriundos do esmagamento e da extração de óleo das plantas oleaginosas, além de efluentes aquosos – a soja é a principal matéria-prima, com uma produção de 68,9 milhões de toneladas na safra 2010/2011 e 6,9 milhões de toneladas de óleo<sup>13</sup>. Suas potencialidades de uso são apresentadas na Tabela 2. A partir da biomassa lignocelulósica (cachos, cascas, fibras, etc.) podem ser obtidas rações para uso na alimentação animal<sup>14</sup>, além da aplicação como cobertura para o solo, de forma a aportar matéria orgânica para a melhoria das propriedades físico-químicas destes<sup>15</sup>. Outro uso em desenvolvimento é a obtenção de materiais poliméricos, principalmente derivados da estrutura da celulose, como nanofibras para aplicações diversas<sup>16</sup>. Já a torta tem largo

uso na alimentação animal; ressaltando, novamente, que no caso da mamona e do pinhão-manso a toxicidade limita o seu uso para este fim, apesar do alto conteúdo proteico em ambos os casos, com esforços sendo feitos para a extração dos compostos tóxicos<sup>17,14</sup>.

O POME (*palm oil mill effluent*), que é o efluente aquoso da produção do biodiesel a partir do dendê, pode ser utilizado para a produção do biogás (composto majoritariamente de metano) em biodigestores anaeróbicos<sup>18</sup>, e mais recentemente são pesquisadas aplicações para a obtenção de biopolímeros, como o PHA (polihidroxialcanoato), por meio de processos fermentativos<sup>19</sup>. Cabe ressaltar que este efluente pode apresentar um impacto negativo ao meio ambiente, devido a sua carga elevada de P, C e N, entre outros, e deve ser devidamente tratado antes de seu descarte em corpos d'água<sup>18</sup>.

Quanto aos coprodutos da produção do biodiesel, a glicerina é o principal deles, podendo ser utilizada como matéria-prima para a obtenção de *commodities* químicas, polímeros e antioxidantes, o que depende em grande parte do desen-

volvimento e da aplicação de catalisadores químicos<sup>20</sup>. A glicerina é utilizada em grande quantidade pela indústria farmacêutica na formulação de cosméticos, shampoos e sabonetes, e como excipiente. Porém, existe um grande excedente devido ao aumento da oferta em função do aumento da produção de biodiesel – a produção de 90 m<sup>3</sup> de biodiesel leva também à produção de 10 m<sup>3</sup> de glicerina, e à estimativa de circulação no mercado nacional de cerca de 250 mil toneladas ao ano<sup>21</sup>.

### Outras cadeias

As cadeias de celulose e papel e das florestas energéticas também devem ser consideradas, apesar da primeira ser a que gera mais resíduos, sobretudo efluente líquido (licor negro) e não estar diretamente ligada ao uso agroenergético. A segunda é diretamente utilizada como fonte de matéria-prima para a produção, principalmente, de briquetes e carvão<sup>22</sup>, com seus resíduos podendo ser utilizados para a produção de etanol de segunda geração<sup>23</sup>, produção de painéis e compensados e reposição de matéria orgânica no solo<sup>24,25</sup>; estas

Resíduo	Constituição principal	Proposta de uso
Biomassa lignocelulósica	Lignina, celulose, hemicelulose, proteínas, inorgânicos e água	Alimentação animal Cobertura do solo Materiais poliméricos
Torta	Lignina, celulose, hemicelulose, compostos orgânicos diversos (proteínas, ésteres, etc.), oleafinas e água	Alimentação animal
POME (efluente aquoso)	Matéria orgânica solubilizada, sólidos inorgânicos insolúveis e solúveis, oleafinas e água	Biogás Biopolímero

Tabela 2. Resíduos da cadeia do biodiesel com potencial econômico

florestas energéticas brasileiras cultivadas em 6.510.693 ha, são constituídas, na grande maioria, por *Eucalyptus* e *Pinus*<sup>26</sup>.

Segundo Cortez *et al.*, no Brasil são geradas 50 milhões de toneladas/ano de resíduos florestais e 2,9 milhões de toneladas/ano de resíduos sólidos industriais, entre eles serragens, o que leva à disponibilidade potencial de cerca de 53 milhões de toneladas/ano de resíduos da exploração da biomassa para aproveitamento em biorrefinarias<sup>27</sup>. Também de acordo com Cortez *et al.*, a indústria de papel e celulose gera de 2,5 a 2,8 toneladas de licor negro por tonelada de celulose obtida, sendo a lignina o principal constituinte após a água<sup>27</sup>. Cabe destacar que o licor negro, principalmente o originado do processo Kraft, é uma das principais fontes de poluição da indústria química mundial, devido à presença de compostos sulfurados e organoclorados, dioxinas e furanos, particulados, NO<sub>x</sub>, entre outros, os

quais podem comprometer gravemente a qualidade da água superficial e do ar<sup>28</sup>. A utilização do licor de negro se dá, principalmente, para a recuperação da lignina e seu posterior uso para geração de energia. No entanto, outros usos mais nobres para o licor estão sendo buscados, como para o desenvolvimento de produtos químicos renováveis, como resinas poliméricas, a partir do *cracking* catalítico da lignina presente no mesmo<sup>29</sup>.

### Perspectivas de aproveitamento

Como pode ser observado na Figura 1, ao nos referirmos a uma biorrefinaria, estamos nos referindo às tecnologias e processos utilizados para a transformação da biomassa nos cinco tipos de produtos apresentados (energia, insumos químicos, biocombustíveis, materiais e produtos químicos). As tecnologias são compiladas em processos os quais, por sua vez, são relacionados às chamadas plataformas tecnológicas – plataforma

bioquímica, plataforma química e plataforma termoquímica.

A Tabela 3 apresenta uma descrição de produtos-alvo de alto valor agregado que podem ser obtidos a partir de resíduos e coprodutos agroenergéticos utilizando-se diferentes plataformas tecnológicas voltadas, sobretudo, para a síntese orgânica. Nesta tabela podem ser observados somente os bloco-constructores e produtos finais para uso, os quais foram definidos segundo as características da biomassa brasileira, dados da literatura científica internacional e nacional, e demanda das indústrias químicas e correlatas nacionais. É possível notar que mesmo com os esforços louváveis de instituições como o DOE-NREL (*U.S. Department of Energy – National Renewable Energy Laboratory*) em P&D e levantamento de produtos e rotas potenciais, a maioria dos compostos “verdes”, e que em nosso caso poderão vir a ser obtidos dos resíduos agroenergéticos, ainda não

**thorco**  
Desde 1974 produzindo qualidade.

Consulte-nos e conheça melhor nossos produtos:  
[www.thorco.com.br](http://www.thorco.com.br) • (11) 4613.1177



• Caçamba para Biomassa

Qualidade **thorco**, garantia de sucesso para qualquer trabalho.

Composto-alvo	Precursor	Tipo de rota	Status	Ref.
Ácido acrílico	Glicerina	Síntese orgânica	Em desenvolvimento: melhoria de catalisadores e otimização de rendimento, entre outros	20
Ácido 2,5-furanodicarboxílico	Glucose da celulose	Síntese orgânica Síntese bioquímica via fermentação	Em desenvolvimento: melhoria de catalisadores e otimização de rendimento, entre outros	33
Ácido succínico	Xilose da hemicelulose	Síntese bioquímica via fermentação	Em desenvolvimento: melhoria de micro-organismos e otimização de rendimento	34, 35
Antioxidantes	Glicerina Lignina	Síntese orgânica <i>Cracking</i> catalítico	Em desenvolvimento: melhoria de catalisadores e otimização de rendimento, entre outros	36, 37
Derivados da celulose (ácidos, ésters, nitratos, éters, etc.)	Celulose	Síntese orgânica	Processos industriais estabelecidos	38
Etanol de segunda geração	Glucose da celulose Xilose da hemicelulose	Síntese bioquímica via fermentação	Em desenvolvimento: melhoria de enzimas e micro-organismos, otimização de rendimento e redução de custo	39
Fenóis	Lignina	<i>Cracking</i> catalítico	Em desenvolvimento: melhoria de catalisadores e otimização de rendimento, entre outros	40
Furfural	Xilose da hemicelulose	Síntese orgânica	Processo industrial estabelecido: com necessidade de melhoria de catalisadores e otimização de rendimento, entre outros	34

Gás de síntese (CO + H <sub>2</sub> )	Biomassa lignocelulósica	Gaseificação	Processo industrial estabelecido: com necessidade de otimização de rendimento, entre outros	41
5-Hidroximetilfurfural	Celulose	Síntese orgânica	Em desenvolvimento: melhoria de catalisadores e otimização de rendimento, entre outros	33
Ligninas sulfonatadas	Lignina	Síntese orgânica	Processos industriais estabelecidos	42
Xilitol	Xilose da hemicelulose	Síntese orgânica	Em desenvolvimento: melhoria de catalisadores e otimização de rendimento, entre outros	43

**Tabela 3. Compostos-alvo identificados como de alto potencial, a serem obtidos de resíduos e coprodutos da biomassa agroenergética brasileira, de forma a agregar valor a esta**

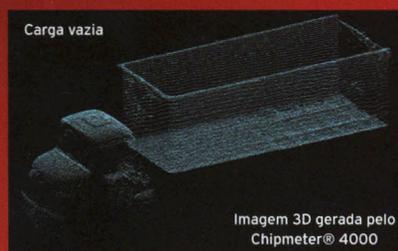
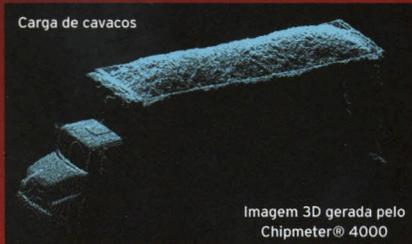
alcançaram a etapa de escalonamento industrial – ao menos é o que pode ser observado na literatura especiali-

zada e na mídia. Um bom exemplo é o ácido succínico: tido como uma das principais oportunidades para com-

postos químicos renováveis, devido à sua grande possibilidade de aplicação como bloco-construtor<sup>30</sup>, ainda não se

# CHIPMETER<sup>4000</sup>

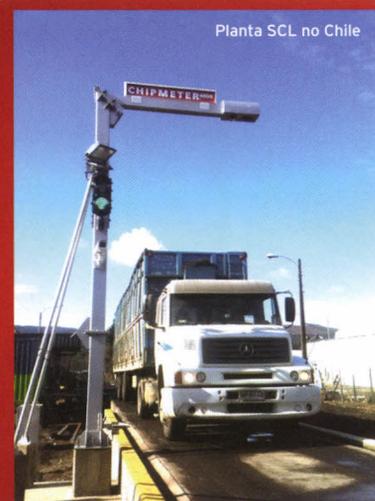
## MEDIÇÃO DE VOLUME DE CARGAS DE CAVACO E BIOMASSA



A Woodtech, empresa Chilena, que há mais de 20 anos segue entregando soluções para medir volume sobre transportes terrestres em diversas indústrias.

Presente na Europa, Estados Unidos e América Latina, principalmente no Brasil.

O Chipmeter® 4000 é um sistema de tecnologia 3D que possibilita a medição do volume de cavaco e/ou biomassa sobre caminhões de forma segura, precisa, rápida e rastreadel. O sistema proporciona melhor controle do volume de insumos ingressados na planta, melhor informação das medições, aumento da eficiência no processo de medição, rastreamento de todas as transações, redução da intervenção humana no processo e ainda possibilita a integração destas informações aos sistemas de gerenciamento (ERP) das empresas.



**WOODTECH**  
MEASUREMENT SOLUTIONS

AN EXCELSYS  
COMPANY

ricardo.righetti@woodtechms.com · (+55 47) 3268 5050

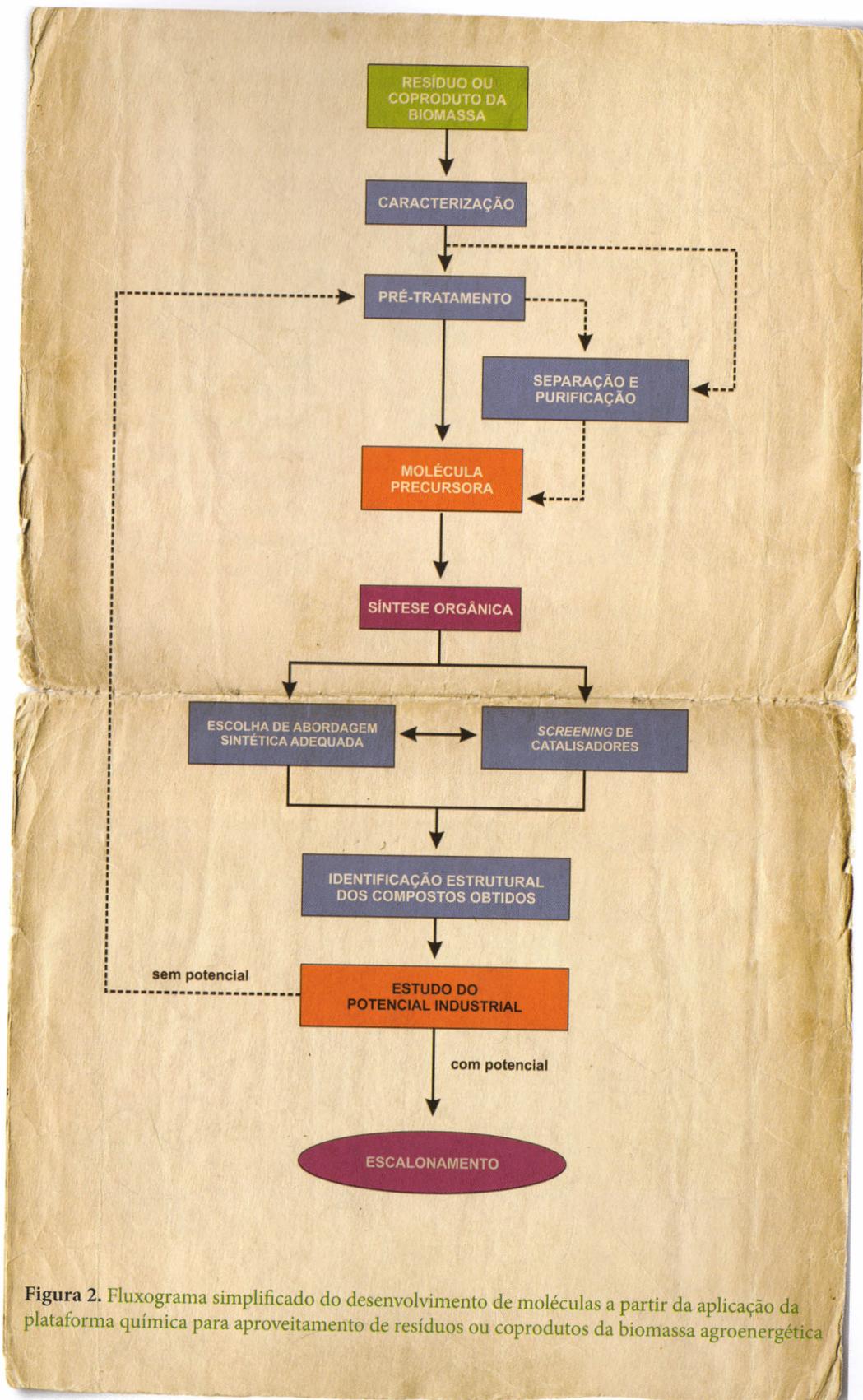


Figura 2. Fluxograma simplificado do desenvolvimento de moléculas a partir da aplicação da plataforma química para aproveitamento de resíduos ou coprodutos da biomassa agroenergética

tem uma rota de síntese consolidada, mesmo com o grande número de publicações e patentes. Contudo, é necessário avaliar cada molécula segundo o cenário brasileiro e dois dos principais aspectos a serem considerados são: i) a indústria química brasileira importa quase que em sua totalidade compostos de alto valor agregado de uso, principalmente, em química fina, não tendo tecnologia nacional desenvolvida que possa inverter o déficit deste setor<sup>31</sup>; ii) a necessidade de intermediários de síntese, principalmente para fármaco-químicos<sup>32</sup>, pode se tornar mais interessante do que a busca por bloco-construtores, que é o que se vê no cenário internacional.

### Plataforma química

A plataforma química é aquela que envolve métodos, processos e técnicas baseados exclusivamente em reações químicas.

Na maioria das vezes, um componente

da biomassa é extraído e purificado, sendo posteriormente utilizado como reagente de partida em uma rota sintética, que frequentemente utiliza-se de catalisadores para o aumento do rendimento do produto de interesse e para a diminuição dos tempos de reação. Assim, é possível notar que vários aspectos da química verde, como o uso de catalisadores e a redução da geração de resíduos, podem ser aqui aplicados, sendo que o primeiro aspecto pode se tornar um item extremamente estratégico para esta plataforma.

No caso do aproveitamento da celulose e da hemicelulose do resíduo lignocelulósico, deve-se antes obter estes polímeros e os seus açúcares constituintes, destacando-se a glicose (hexose) e a xilose (pentose), respectivamente, para a posterior obtenção de moléculas de interesse industrial<sup>44</sup>. Para o caso da lignina, o que se busca inicialmente é a quebra de sua estrutura molecular, de modo a liberar, principalmente,

compostos fenólicos, os quais poderão ser testados, por exemplo, como monômeros em rotas de preparação diversas – a formação de compostos não polares também poderá ser obtida após esta quebra estrutural. Quanto à glicerina, que é um triálcool, esta pode ser utilizada como molécula precursora na obtenção, por exemplo, do ácido acrílico, que pode ser utilizado como monômero para a produção de polímeros, adsorventes, entre outros<sup>20</sup>.

A obtenção de compostos bloco-construtores, que originam um grande número de outros compostos de interesse econômico, e de intermediários de síntese, que podem ser utilizados em química fina, é a abordagem usual para os projetos de P&D<sup>30,35,45</sup>. Compostos bloco-construtores, como o furfural e o xilitol (oriundos da xilose constituinte da hemicelulose) e hidroximetilfurfural (oriundo da glicose), entre outros, podem adicionar grande valor aos carboidratos<sup>35,44,46</sup>, com o mesmo



**SIEBERT**  
Sua eficiência. Nosso propósito.

A **Siebert** traz para o Brasil a mais alta tecnologia em trituração móvel de alta performance:

- ▶ Trituração até 120 ton/h
- ▶ Baixos custos de manutenção
- ▶ Separação magnética
- ▶ Motorização elétrica ou a diesel
- ▶ Opção móvel ou estacionária
- ▶ Baixo consumo de combustível
- ▶ Mais no site [hammel.siebert.com.br](http://hammel.siebert.com.br)

**HAMMEL**  
RECYCLINGTECHNIK

Entre em contato conosco: 41 3014.0434 | [info@siebert.com.br](mailto:info@siebert.com.br) | [www.siebert.com.br](http://www.siebert.com.br)

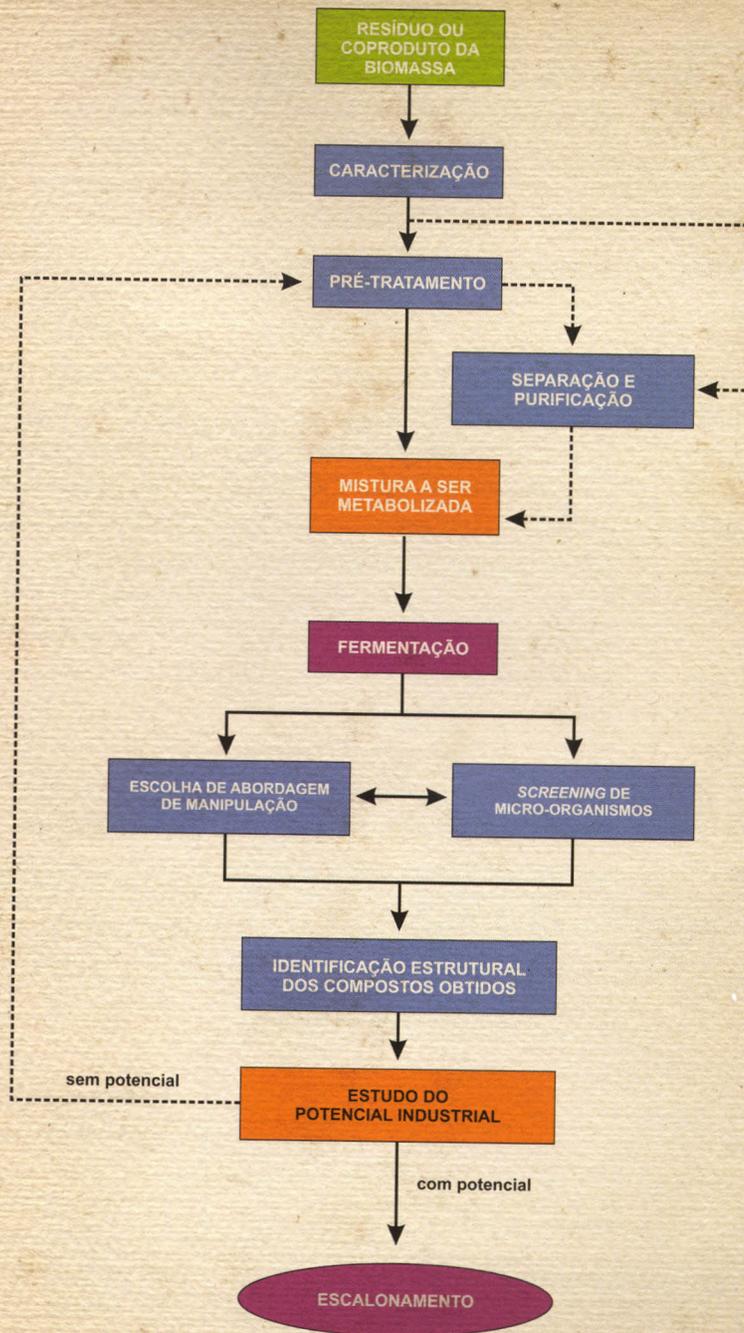


Figura 3. Fluxograma simplificado do desenvolvimento de moléculas a partir da aplicação da plataforma bioquímica para aproveitamento de resíduos ou coprodutos da biomassa agroenergética



podendo-se estender aos derivados da lignina e da glicerina, como já citado na Tabela 3.

A Figura 2 ilustra de uma forma simplificada a aplicação da plataforma química ao desenvolvimento de tecnologias de aproveitamento de coprodutos e resíduos. Inicialmente o resíduo da biomassa deverá passar por uma caracterização química completa, que visa determinar sua constituição química, além de algumas propriedades físico-químicas que sejam de interesse. Em seguida, tem-se o pré-tratamento do resíduo, quando este for necessário, o que permitirá a separação da molécula precursora de interesse, e caso esta não possua a pureza adequada, realiza-se uma etapa de purificação. Com a obtenção da molécula precursora, parte-se para a etapa de síntese orgânica, na qual estão envolvidas a procura pelos melhores catalisadores (*screening* catalítico de catalisadores diversos: heterogêneos inorgânicos, e homogêneos inorgânicos

e enzimáticos) e a abordagem adequada para o desenho das rotas de síntese.

Após a síntese do produto-alvo, como um composto bloco-construtor, este deverá ser devidamente identificado quanto a sua estrutura química e pureza. Feita a identificação química, parte-se para a etapa de estudo do potencial do produto-alvo e de sua rota de síntese, e quando estes apresentam potencial industrial, a próxima etapa é o escalonamento visando a produção industrial. Caso produto e rota não apresentem viabilidade, pode-se reiniciar a busca por uma nova molécula precursora, por um novo produto-alvo ou composto-alvo, ou por ambos.

Cabe comentar o desenvolvimento e uso de catalisadores para esta plataforma, dada a importância destes para melhoria de rendimentos e seletividades (enantioseletividade, regioseletividade e estereoseletividade). As zeólitas têm sido aplicadas na glicolização, oxidação, hidrólise e pirólise de carboidratos

e hidrogenação da glicerina<sup>47,20</sup>, e no *cracking* de ligninas<sup>48</sup>. Os metais (sais solúveis e insolúveis, e complexos) têm sido aplicados em catálise heterogênea (Ni, Pd/C, Ru/C, Co-Mo, Ni-Mo, Ru/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, etc.) para a redução de ligninas e de glicerina<sup>48,35</sup>; complexos metálicos de V, Mn, Co, Pd, Fe, Re e Cu, como catalisadores homogêneos e heterogêneos para a oxidação de amido e celulose, entre outras reações<sup>49</sup>. Já as enzimas, como celulase, β-glucosidase e xilanase, são largamente utilizadas na hidrólise da celulose e da hemicelulose<sup>50</sup>.

### Plataforma Bioquímica

A plataforma bioquímica tem grande similaridade com a plataforma química no que diz respeito às etapas de caracterização dos resíduos ou coprodutos, pré-tratamento (quando necessário), identificação estrutural e estudo do potencial industrial. Contudo, as principais particularidades desta plataforma dizem respeito ao uso de micro-orga-



### Soluções em tecnologia de transformação do subproduto animal, por meio dos sistemas:

- **Misto** - aumento de produção com equipamentos existentes
- **Batelada e Contínuo** - automação e controle
- **Baixa Temperatura** - qualidade diferenciada
- **Hidrólise Contínua** de penas e pelos
- **Slurry** - para grandes produções

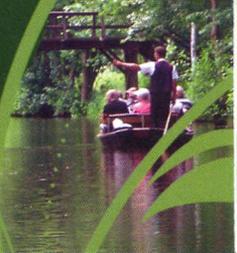


Evaporadores

Secadores de Discos

Digestores Contínuos

Rua Cyro Correia Pereira, 3210 - CIC CEP 81460-050 • Curitiba • Paraná • Brasil  
Fone 55 41 3389 0055 • Fax 55 41 3389 0035 • [www.haarslev.com.br](http://www.haarslev.com.br) • [info@haarslev.com.br](mailto:info@haarslev.com.br)



nismos (fungos, bactérias, leveduras e microalgas), os quais possuem mecanismos bioquímicos que permitem a síntese de compostos-alvo, sejam eles bloco-construtores, intermediários de síntese ou compostos que tenham uma aplicação direta, como um tensoativo. Na Figura 3 é ilustrada, também de uma forma simplificada, a aplicação da plataforma bioquímica.

Assim como para a plataforma química, o resíduo da biomassa deverá passar por uma caracterização química completa, que visa determinar sua constituição química, além de propriedades físico-químicas de interesse. Em seguida, tem-se o pré-tratamento do resíduo, quando este for necessário, o que permitirá a disponibilização do meio para a metabolização por parte de micro-organismos. Parte-se, então, para a etapa do processamento bioquímico (geralmente é a fermentação), na qual estão envolvidas a procura pelos melhores micro-organismos (*screening*) e a abordagem adequada para o desenho das rotas de produção – em alguns casos necessita-se de aplicação de técnicas de biologia molecular e de engenharia genética. Após a síntese bioquímica do produto-alvo, este deverá ser devidamente identificado quanto à sua estrutura química e pureza. Feita a identificação química, parte-se para a etapa de estudo do potencial do produto obtido e de sua rota de síntese bioquímica, e quando estes apresentam potencial industrial, a próxima etapa é o escalonamento visando a produção industrial. Caso produto e rota não sejam de interesse industrial, pode-se reiniciar a busca por uma nova molécula precursora, por um novo produto-alvo ou composto-alvo, ou por ambos.

Quanto aos micro-organismos utilizados nos bioprocessos, pode-se destacar

a levedura *Saccharomyces cerevisiae* para a fermentação de glicose a para produção de etanol (1G e 2G)<sup>50</sup>, as bactérias *Escherichia coli* para a metabolização da glicose e produção do 1, 3-propanodiol, *Clostridium acetobutylicum* pela fermentação do glicerol também para a produção de 1, 3-propanodiol, *Lactobacillus delbrueckii* para a produção de ácido láctico via fermentação da glicose, e *Anaerobiospirillum succiniciproducens* para a produção de ácido succínico através da fermentação de açúcares (pentoses e hexoses<sup>55</sup>). Contudo, apesar do alto potencial de obtenção de compostos, é um tanto quanto difícil considerar a plataforma bioquímica como substituta da química, já que a primeira dificilmente possibilitará rendimentos e purzas possibilitadas pela segunda, devendo-se pensar em uma sinergia entre elas, principalmente quando se pensa no conceito de biorrefinaria.

### Plataforma Termoquímica

Assim como a plataforma química e a plataforma bioquímica, as etapas de caracterização dos resíduos, a identificação estrutural e o estudo do potencial industrial são comuns. Contudo, as principais particularidades desta plataforma dizem respeito ao uso de processos termoquímicos que levam à combustão, à carbonização, à pirólise (rápida ou lenta), à torrefação e à gaseificação, fornecendo diferentes produtos-alvo. Os principais produtos

Os produtos químicos desenvolvidos a partir da biomassa são os que possuem maior potencial em agregar valor a uma cadeia produtiva agroenergética

destes processos são: i) carbonização: carvão para produção de energia térmica e para redução metálica na siderurgia<sup>51</sup>; ii) combustão: energia térmica<sup>52</sup>; iii) gaseificação: gás de síntese ( $\text{CO} + \text{H}_2$ ) a ser utilizado em síntese orgânica de várias moléculas de uso na indústria química<sup>41</sup>; iv) pirólise rápida: bio-óleo e bio-carvão (ou bio-char), a serem utilizados como substituto de combustíveis fósseis e para aporte de matéria orgânica ao solo<sup>53</sup>; v) torrefação: ou pré-carbonização: briquetes para produção de energia térmica<sup>54</sup>.

Como visto na Tabela 3, a gaseificação é o processo que pode adicionar maior valor ao resíduo da biomassa, já que a partir do gás de síntese (*syngas*) obtêm-se diversos compostos químicos de origem renovável que podem substituir os petroquímicos.

Na Figura 4 é também ilustrada, de uma forma simplificada, a aplicação da plataforma termoquímica.

Assim como para as duas plataformas

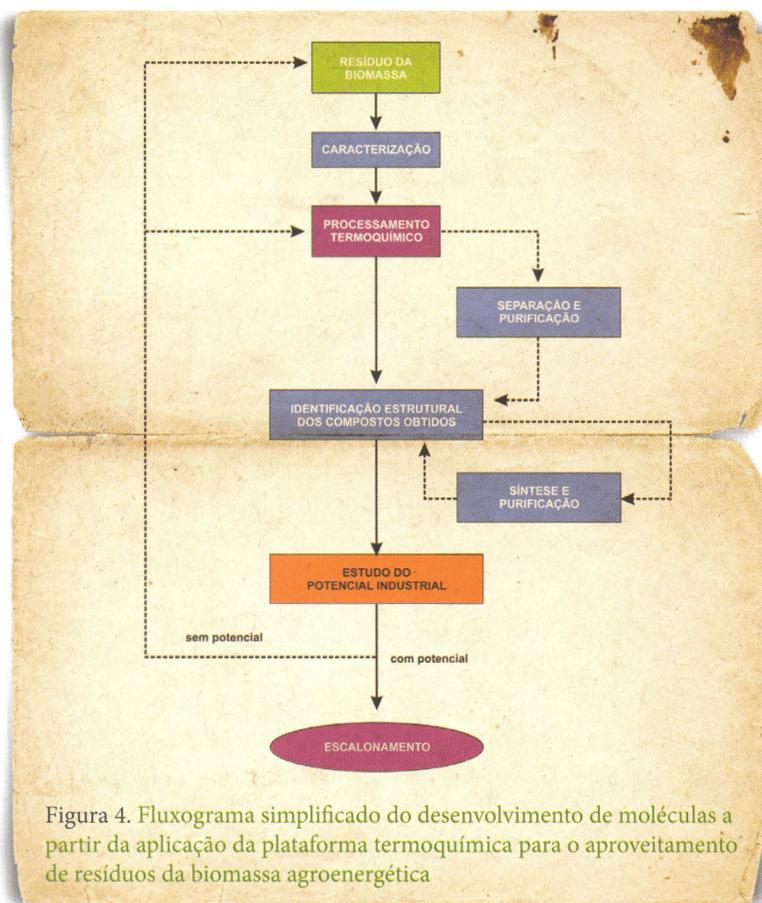


CO  
CO  
Fell



A John  
por tra  
flores!  
produ!

Escuta  
prazo.



anteriores, o resíduo da biomassa deverá passar por uma caracterização química completa, que visa determinar sua constituição química, além de propriedades físico-químicas que sejam de interesse. Em seguida, tem-se o processamento termoquímico do resíduo – há, em alguns casos, a necessidade de purificação das moléculas obtidas. Após a obtenção do produto-alvo, este deverá ser devidamente identificado quanto à sua estrutura química e pureza. Existe a possibilidade de utilizar um produto-alvo termoquímico como precursor de outras moléculas de maior valor agregado via síntese química, como é o caso do gás de síntese ( $\text{CO} + \text{H}_2$ ) que é utilizado como reagente na síntese de várias moléculas orgânicas de interesse industrial, como hidrocarbonetos combustíveis, por meio da reação de Fisher-Tropsch<sup>55</sup>. Feita a identificação química, parte-se para a etapa de estudo do potencial do produto obtido e de sua

## COLHEITA DE BIOMASSA A PARTIR DE FLORESTAS PLANTADAS CONTRIBUI PARA A GERAÇÃO DE ENERGIA RENOVÁVEL

Feller-Buncher 643K: seu parceiro na colheita de florestas energéticas



A John Deere é comprometida com o mercado florestal brasileiro. Cada máquina florestal John Deere tem por trás de si um time profissional de suporte ao produto, dedicado em oferecer as melhores soluções florestais, com peças, serviços e treinamentos necessários para que sua frota opere com alta produtividade, disponibilidade e baixos custos operacionais.

Escutamos nossos clientes e esse foco guia nossas ações, construindo parcerias sustentáveis de longo prazo. Entre em contato conosco - [jdeb@johndeere.com](mailto:jdeb@johndeere.com) - tel: 11 4196-3999



[www.JohnDeere.com.br](http://www.JohnDeere.com.br)



No Brasil são geradas 50 milhões de toneladas/ano de resíduos florestais e 2,9 milhões de toneladas/ano de resíduos sólidos industriais, entre eles serragens, o que leva à disponibilidade potencial de cerca de 53 milhões de toneladas/ano de resíduos da exploração da biomassa para aproveitamento em biorrefinarias

rota envolvida, e quando estes apresentam potencial industrial, a próxima etapa é o escalonamento visando a produção industrial. Caso produto e rota não sejam de interesse industrial, pode-se reiniciar a busca por uma nova molécula, por um novo produto-alvo, ou por ambos.

#### Desafios envolvidos

Como já comentado, muitos dos produtos-alvo aqui apresentados são objeto de extensa produção literária, principalmente nas áreas de Química

Orgânica, Biotecnologia e Engenharia Química. Porém, na maioria das vezes não se tem processos estabelecidos para a sua produção industrial, o que aponta para a existência de desafios de caráter científico, caráter técnico e de caráter econômico, em separado ou concomitantes. Porém, deve-se considerar que o mercado mundial de produtos químicos envolve valores em torno de USD 100 bilhões ao ano, onde cerca de 3% desse montante diz respeito aos bioprodutos, ou derivados da biomassa, havendo uma estimativa de aumento

desta participação total para 25% até o ano 2025<sup>56</sup>. Estes valores dão uma ideia das possibilidades e dos riscos envolvidos. Para o caso das especialidades químicas e da química fina, a atual participação de renováveis de cerca de 25% para ambos os segmentos, poderá chegar a 50%, enquanto que para os polímeros os atuais 10% poderão chegar a 20%, também em 2025<sup>57</sup>.

#### Desafios científicos

Os desafios científicos envolvem a criação de ambientes acadêmicos e

industriais propícios para o desenvolvimento de mão-de-obra especializada, o que envolve formação e qualificação em nível técnico, de graduação, de especialização, de mestrado, de doutorado e de pós-doutorado. Isso demanda uma visão estratégica do governo federal e da iniciativa privada, com uma parceria constante entre ambos estes atores. Outro desafio científico a ser superado diz respeito ao desenvolvimento de conhecimento nacional e não a importação de *know-how* estrangeiro, como é frequente no Brasil. Esta é uma questão que define um país como um *player* efetivo no cenário ou como um país secundário do ponto de vista de conhecimento de alto valor, ou que só produza e exporte matérias-primas e *commodities*.

### Desafios técnicos

Os desafios técnicos são, sobretudo, tecnológicos e envolvem o desenvolvimento ou a melhoria de tecnologias que permitam o escalonamento dos processos desenvolvidos em laboratório, como métodos de separação, otimização de processos, eficiência energética, entre outros.

A não superação deste tipo de desafio pode inviabilizar a produção de uma determinada molécula que possa apresentar um grande potencial de mercado em sua etapa de P&D. Portanto, uma etapa bem planejada de P&D deve ter um apoio tecnológico à devida altura, de modo a poder tornar a escala laboratorial possível de alcançar a escala industrial.

### Desafios econômicos

Um dos principais desafios econômicos diz respeito à captação e ao aporte de recursos nos projetos de P&D&I e, posteriormente, nos projetos de demons-

tração de tecnologias.

Projetos industriais geralmente têm que captar recursos dentro ou fora de suas organizações. No Brasil o aporte de *seed money* e de *venture capital*, recursos comumente utilizados para negócios de alto risco, ainda é bastante tímido, necessitando um maior estímulo por parte das agências de financiamento, como Finep e BNDES, em parceria com investidores privados – isto já vem sendo feito pela Finep; porém, necessita-se de maior agilidade.

Quanto à captação de recursos por instituições públicas de P&D, geralmente esta se dá junto ao CNPq, à Finep, ao BNDES e às fundações estaduais de apoio à pesquisa. Contudo, o corte frequente de orçamento e o atraso na liberação de recursos aprovados têm sido os maiores entraves para a execução dos projetos. Existe, ainda, a necessidade de uma maior aproximação entre estas instituições de pesquisa e a iniciativa privada, de modo a facilitar as ações de transferência de conhecimento. Ascensão e o possível declínio dos produtos químicos ditos “verdes” também é algo a ser considerado no planejamento orçamentário de projetos de desenvolvimento ou de produção de compostos renováveis, já que cenários internacionais anteriores da indústria química apontam para o cuidado em relação a fatores externos de mercado<sup>57</sup>.

### Conclusão

Buscou-se mostrar o grande potencial econômico dos resíduos e coprodutos da biomassa agroenergética para a agregação de valor à cadeia do etanol, do biodiesel, das florestas, entre outras. Este potencial em grande parte é atribuído a possibilidade de desenvolvimento de moléculas de compostos para a química fina e química, por exemplo,

**BREMER**  
SÍMBOLO DE CONFIANÇA

ISO 9001  
BUREAU VERITAS  
Certification  
Sistema de Gestão da Qualidade certificado  
Conforme a Norma ISO 9001:2008

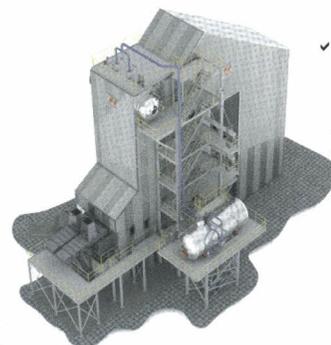
### Caldeiras Flamotubulares

**HBFR • HBFI • HBFC**

- ✓ Grelha rotativa ou fixa refrigeradas a água
- ✓ Vapor Saturado ou Superaquecido
- ✓ Produção de 1 a 40 ton/h vapor
- ✓ Pressão de trabalho de 10 a 23kgf/cm<sup>2</sup>



Caldeira Aquatubular  
**Lignodyn**



- ✓ Grelha rotativa ou fixa refrigeradas a água
- ✓ Vapor Saturado ou Superaquecido
- ✓ Produção de 10 a 120 ton/h vapor
- ✓ Pressão de trabalho de 15 a 88kgf/cm<sup>2</sup>

Aquecedor de Fluido Térmico **HBFT**

- ✓ Grelha rotativa ou fixa refrigeradas pelo próprio fluido

- ✓ Fabricado em paredes membranas no processo de solda contínua por arco submerso

- ✓ Capacidade de 0,5 a 10 Gcal/h

- ✓ Baixo custo operacional



Compromisso com o Futuro

como os bloco-constructores e os intermediários de síntese. Porém, materiais e produtos energéticos também têm despertado um grande interesse em sua exploração.

Quando são avaliados produtos-alvo apontados como potenciais em outras regiões do mundo, nota-se que nem sempre estes refletem as necessidades brasileiras, justificando a utilização de informações próprias obtidas em estudos realizados no Brasil, de forma a melhor direcionar, para o cenário nacional, o planejamento técnico-científico e os recursos de investimento.

As plataformas químicas, bioquímicas e termoquímicas são fundamentais para a exploração de todo o potencial acima comentado. Porém, ainda são necessárias fortes ações visando o desenvolvimento de tecnologias nacionais, que compreendem, principalmente, pré-tratamentos, rotas de síntese, catalisadores, micro-organismos e equipamentos. Desafios científicos, técnicos e econômicos deverão ser superados em conjunto entre governo e iniciativa privada, o que permitirá que a biomassa torne-se uma alternativa viável para manter a qualidade de vida e a qualidade ambien-

tal da sociedade brasileira.

\*Químico, Doutor em Química Analítica - Pesquisador da Embrapa Agroenergia  
Embrapa Agroenergia  
Parque Estação Biológica, Av. W3 Norte (final), Brasília/DF, CEP 70770-901  
[\\*silvio.vaz@embrapa.br](mailto:silvio.vaz@embrapa.br)

As Referências Bibliográficas deste artigo pode ser obtidas em:  
[www.biomassabioenergia.com.br/?biomassa0312](http://www.biomassabioenergia.com.br/?biomassa0312)



Há uma grande sinergia entre as biorrefinarias e a química verde, principalmente no que diz respeito à minimização de resíduos e de impactos ambientais, e a criação de uma “economia verde”