

Parcerias para inovação: o desafio do plástico biodegradável – estudo de caso

Léa Velho
Paulo Velho

INTRODUÇÃO

Sabe-se hoje que se qualquer país quiser participar do mercado global, é necessário que ele se torne uma ‘economia baseada no conhecimento’. Entretanto, apesar das previsões iniciais de que os países da América Latina seguiriam o bem-sucedido caminho da indústria de manufatura observado nos países Asiáticos, as evidências têm demonstrado que os generosos e extensos recursos naturais daqueles primeiros países ainda estão a determinar o que eles exportam. Isso é verdade mesmo para aqueles países latino-americanos mais industrializados, incluindo o Brasil. Em tais circunstâncias, não deixa de ser altamente relevante perguntar se aquela continuada especialização em recursos naturais não deixaria a América Latina para trás, condenada a patinar na ‘velha’ economia.

O presente artigo é uma tentativa de responder à questão colocada acima, a partir de uma análise de caso que indica que não existe um dilema inexorável entre a exploração de recursos naturais e o processo de tornar-se intensivo em conhecimento. O caso é um exemplo de que as atividades baseadas em recursos naturais podem tornar-se indústrias de conhecimento, mas também que o conhecimento e as habilidades acumuladas no processo podem ‘migrar’ para um setor diferente. O argumento se desenvolve no sentido de mostrar que para esse processo ocorrer existe a necessidade de um ambiente estimulante no qual as políticas públicas desempenham um papel essencial. Tais ações políticas incluem tanto aquelas no nível industrial como as macro-econômicas que afetam direta ou indiretamente a exploração de recursos naturais e

as indústrias relacionadas a essa exploração, e ainda, mais especificamente, as políticas de C&T. Essas últimas são cruciais para criar o capital humano assim como as incentivar as interações entre as empresas privadas, as instituições governamentais de pesquisa e as universidades.

O caso em questão é o estabelecimento de uma planta industrial para produzir plástico biodegradável a partir do açúcar de cana no Brasil. Esse desenvolvimento está intimamente associado com as atividades de longo prazo de produção de açúcar e álcool no Brasil, vocação desenvolvida do país em função das condições naturais favoráveis, tanto em termos de extensão territorial como de fatores edafo-climáticos favoráveis ao cultivo daquela matéria-prima. Apesar disso, a emergência da indústria do bioplástico somente foi possível devido a um programa governamental específico para construir uma capacidade de pesquisa e produção de conhecimento na área de biotecnologia, que também estimulou a cooperação entre os setores público e privado.

Para contar essa estória e desenvolver o argumento é necessário, primeiro, estabelecer o cenário onde o caso se desenvolveu. Neste sentido, o contexto histórico que criou as condições e as motivações para o desenvolvimento do bioplástico a partir do açúcar é apresentado na Seção 1. A essa se segue um relato do projeto de P&D que originou a indústria em questão, ressaltando o papel dos vários atores e as relações entre eles (Seção 2). A Seção 3 fornece uma descrição do processo tecnológico para obtenção do plástico a partir do açúcar que foi desenvolvido pelo projeto de P&D, posteriormente transferido e adotado pela indústria.

As últimas três Seções se concentram em aspectos específicos do desenvolvimento do bioplástico. A Seção 4 fornece informações sobre as dimensões financeiras do projeto e a Seção 5 discorre sobre os resultados gerados, de maneira a ilustrar o impacto do projeto no que diz respeito à formação de uma capacidade de pesquisa e produção de conhecimento. Um resumo das características principais do projeto é fornecido na Seção 6. A Seção que encerra o artigo ressalta os resultados principais e mais relevantes para o desenvolvimento do argumento.

As informações para este artigo foram coletadas nos mais diferentes documentos e publicações. Entretanto, as valiosas informações e análises originaram-se de entrevistas conduzidas com vários atores que participaram direta e indiretamente do processo aqui relatado. A lista

dos entrevistados encontra-se no final do artigo. Ainda que todos os colaboradores tenham tido acesso ao texto antes da sua publicação e muitos tenham sugerido correções e modificações, qualquer erro ou má- interpretação dos fatos correm, exclusivamente, à conta dos autores deste artigo. Fica aqui nosso agradecimento à generosa contribuição de todos em termos de tempo e conhecimento que dispensaram a esse estudo.

1. O CONTEXTO E A MOTIVAÇÃO DO PROJETO DE PESQUISA PARA DESENVOLVIMENTO DE PLÁSTICO BIODEGRADÁVEL A PARTIR DO AÇÚCAR

O Brasil é o maior produtor e exportador de açúcar do mundo. A partir da cana, o Brasil produz não apenas açúcar bruto e refinado, mas também álcool anidro e hidratado usado principalmente como combustível, puro ou misturado à gasolina para uso interno. Durante os últimos 25 anos do século passado, a expansão da produção de cana-de-açúcar e da capacidade de processamento dessa matéria-prima foi enorme e ocorreu por diferentes fatores. Iniciado durante os anos 1970, o programa do álcool (Proalcool)¹ aumentou a produção daquele combustível em cerca de 30 vezes, em duas fases distintas. Primeiramente a partir da expansão da capacidade de moagem das usinas já existentes e que tinham destilarias anexas. Em seguida, iniciou-se a fase de construção de novas unidades de produção de álcool – as destilarias autônomas.² Os produtores de cana-de-açúcar foram rápidos para atender às demandas criadas pelo Proalcool. Garantias de créditos a juros baixíssimos e pré-fixados foram asseguradas pelo governo para a construção de novas destilarias e também para aquisição de terra para o cultivo da cana. Adicionalmente, em 1979, o preço dos veículos movidos a álcool foi fixado em 65% do preço equivalente de um carro movido à gasolina e os impostos e taxas de licenciamento eram sempre uma fração daquelas aplicadas aos carros à gasolina, estimulando vigorosamente a produção

¹ Embora a motivação básica para o desenvolvimento do Proalcool tenha sido o aumento brusco no preço do petróleo em 1973 e a grande dependência do país na importação daquele produto, houve ainda o colapso do preço internacional do açúcar em novembro de 1974. Com a criação do Proalcool, a cana-de-açúcar desviada para produção de álcool, fortalecendo as opções para seu uso. Em resposta a isso os produtores de açúcar passaram a ampliar suas capacidades a partir da construção de destilarias adjacentes às usinas de açúcar.

² Destilarias anexas são aquelas construídas ao lado das usinas de açúcar e que usam basicamente as mesmas facilidades. Destilarias autônomas são aquelas construídas exclusivamente para produzir etanol a partir do caldo de cana.

de carros a álcool. Outro incentivo importante durante os primeiros anos do Proalcool foi que, enquanto os postos não forneciam gasolina durante o final de semana, o álcool era vendido livremente. A distribuição de etanol era controlada pela Petrobras, empresa estatal que tinha o monopólio de distribuição de derivados de petróleo, portanto, com uma vasta rede de postos de serviço. Como resultado destes incentivos a produção anual de etanol saltou de 0,55 para 15,3 milhões de metros cúbicos entre os anos 1975 e 2004. Essa taxa de crescimento foi observada também para o açúcar que aumentou de 64 milhões de ton/ano em 1975 para 350 milhões de ton/ano em 2004.³

A capacidade instalada de processamento de cana-de-açúcar no Brasil hoje é de 360 milhões de ton/ano, espalhada pelas 320 usinas e destilarias concentradas em duas áreas de produção distintas, que utilizam quase 5 milhões de hectares de terra.⁴ Uma dessas áreas é a região Centro-Sul que é caracterizada por alta produtividade agrícola e industrial, favorecida pelas excelentes qualidades do solo e condições climáticas, além de um melhor nível tecnológico, tanto na área agrícola como industrial. Como decorrência, essa região tem um dos mais baixos custos de produção do mundo, estimado entre 10 e 12 centavos de dólar por kg de açúcar produzido. Nesta região concentram-se 85% da produção brasileira, que é colhida e processada entre os meses de abril e dezembro. A região Norte-Nordeste produz os 15% remanescentes e caracteriza-se por apresentar produtividade – tanto agrícola como industrial – mais baixa e cujo período de colheita e processamento ocorre entre dezembro e julho. Atualmente, 55% da cana-de-açúcar é processada para produzir etanol e o restante, para produzir açúcar dos mais variados tipos.⁵

Além de financiar a expansão física da produção de açúcar e álcool, parte dos recursos alocados para o Proalcool – obtidos junto ao Banco Mundial – foram direcionados para o financiamento de atividades de P&D

³ Negrão, 2005 (comunicação pessoal).

⁴ O Brasil tem cerca de 320 milhões de hectares de terra agricultável e apenas 53 milhões estão em utilização. A cultura da cana-de-açúcar utiliza cerca de 5 milhões de hectares ou seja, menos de 10% da área total cultivada, consideravelmente menos do que a área utilizada para outras culturas como soja, arroz, feijão, milho, todas essas, obviamente, sendo culturas com funções sociais diferenciadas.

⁵ Em grandes números pode-se dizer que 1 ha. de terra produz, em média, 82 toneladas de cana que, processadas, podem render 7.000 litros de etanol ou 12 toneladas de açúcar e álcool residual resultante da fermentação do melão gerado no processo.

que contemplavam projetos relacionados à produção de álcool a partir de matérias-primas alternativas (como o amido da mandioca). Mas, a maior parte dos recursos para P&D concentrava-se no fortalecimento dos programas de melhoramento da cana⁶ e no aprimoramento de novos processos de extração e fermentação, assim como na introdução de equipamentos computadorizados para aprimorar o controle, reduzindo perdas, ao longo de todo o processo industrial.⁷

O conhecimento gerado por aquela intensa atividade de P&D assim como o aprendizado acumulado pelas usinas de açúcar resultaram em um considerável aumento, não apenas na produtividade da cana, mas também nos rendimentos de açúcar e álcool (Ferreira, 2002). Outro impacto significativo foi uma drástica redução dos custos de produção, não apenas do etanol, mas também da cana-de-açúcar extraído. Hoje o Brasil é o país com mais baixo custo de produção tanto do etanol como da cana-de-açúcar⁸.

As medidas tomadas pelo governo para deslançar o Proalcool levaram o setor automotivo do Brasil a orientar sua produção para os carros movidos exclusivamente por aquele combustível, com resultados surpreendentes. Em 1980, a proporção de veículos com motor a álcool de 30% da produção total, alcançando 88% em 1983 e 96% em 1986. Esse era um claro indicador de que o Brasil havia desenvolvido uma

⁶ Durante os anos 1970 e 1980 o Brasil tinha três programas de melhoramento de cana-de-açúcar: um, mantido pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e financiado pelo Governo do Estado de São Paulo; outro, financiado pelos produtores e executado pela Copersucar e o terceiro, financiado pelo Governo Federal e desenvolvido pelo Planalsucar (o setor de pesquisa do Instituto do Açúcar e do Alcool). Este último tinha uma dotação orçamentária que equivalia a quase 70% do orçamento da Embrapa. A comparação que se faz aqui é que durante os anos 80, a Embrapa era responsável por 38 programas de pesquisa com uma gama variada de culturas e diferentes programas de melhoramento animal, enquanto o Planalsucar era totalmente dedicado à pesquisa da cana-de-açúcar.

⁷ No início do Proalcool, a vinhaça era descartada diretamente nos rios causando sérios problemas ambientais devido aos elevados níveis de DBO (demanda biológica de oxigênio). No entanto, os altos níveis de nutriente e água contidos na vinhaça tornam esse subproduto recomendado para utilização na própria lavoura de cana. Essa foi uma solução fundamental para o descarte do resíduo, permitindo seu uso como fertilizante, o que promoveu aumentos de produtividade, particularmente sensíveis nas áreas mais secas e de solos de baixa fertilidade. Não fosse isso possível, o volume extraordinário de vinhaça gerada durante o processo de fabricação do álcool poderia ter comprometido o Proalcool.

⁸ Para custos internacionais comparativos de produção de açúcar, ver : <http://www.ilovo.co.za/worldofsugar/internationalSugarStats.htm> (acessado em junho 2008)

tecnologia importante e confiável, não apenas para a produção de etanol, mas também para sua utilização como combustível, criando uma fonte renovável produzida independentemente do mercado mundial de petróleo.

Em meados dos anos 1980, no entanto, a curva ascendente de preços do petróleo no mercado internacional sofreu uma inflexão drástica. Valores que excediam 60 US\$/barril em 1981, caíram para menos de 20 US\$/barril em 1986 (WTRG Economics, 2005⁹). Além disso, a agilidade da Petrobras na descoberta de novas reservas e perfuração de novos poços a partir de desenvolvimento de tecnologia para águas profundas, aumentou de maneira sensível a produção brasileira de petróleo. Esse novo quadro forçou o governo brasileiro a reconsiderar suas metas para o desenvolvimento do Proalcool. Do lado da oferta, o ritmo de instalação de novas destilarias foi drasticamente reduzido, através da suspensão dos empréstimos com juros subsidiados. As destilarias existentes também foram afetadas: pelo menos 87 unidades estavam totalmente inativas durante a safra 87/88 (BNDES 1995). Do lado da demanda, todos os incentivos concedidos para compra e licenciamento de carro a álcool foram removidos. Esse novo quadro, aliado a alguns problemas técnicos que ainda existiam nos carros movidos a álcool, levou a uma paralisação do Proalcool. Em 1990, o número de carros a álcool produzidos caiu para menos de 100.000 unidades, comparado com uma produção de mais de 700.000 em 1986. Essas mudanças radicais de política referente ao carro a álcool levaram alguns anos para revelar de maneira plena seu impacto que ocorreu em 1998; neste ano os preços do álcool foram liberalizados, a Petrobras perdeu o monopólio que detinha sobre a compra, armazenamento e distribuição daquele produto; os subsídios que eram pagos para os produtores de álcool hidratado foram reduzidos de R\$ 0,98/litro para R\$ 0,45/litro e os subsídios pagos para os produtores de álcool anidro foram totalmente eliminados. (USDA, 2001).

Ao declínio da demanda por etanol juntou-se um decréscimo da demanda e, conseqüentemente, do preço do açúcar no mercado internacional, situação que já podia ser percebida a partir de meados da década de 80¹⁰. O cenário internacional tornou-se ainda pior para o açúcar

⁹ www.wtrg.com (acessado em junho 2008)

¹⁰ www.unica.com.br

no início dos anos 90, quando a produção mundial excedeu o consumo, ocasionando uma queda acentuada nos preços daquela *commodity* que, para alguns países, já estava abaixo do custo de produção (Landell Mills Commodities Studies, 1999). A consequência disto foi que o parque de produção sucro-alcooleira do Brasil, que havia se modernizado e expandido ao longo dos últimos 20 anos, tornou-se parcialmente ociosa. Ao mesmo tempo, ou como corolário dessa situação, as instituições de pesquisa relacionadas à produção de açúcar e álcool, tanto no setor industrial como agrícola, que vinham recebendo um aporte financeiro considerável durante a vigência do Proalcool e que vinham se especializando cada vez mais nesta cadeia produtiva, começaram a encontrar dificuldades para obtenção de recursos e passaram a redirecionar seus esforços de pesquisa para outras áreas.¹¹

Este era o cenário nacional e internacional quando a idéia de produzir-se um biopolímero a partir do açúcar foi discutida pela primeira vez. A Copersucar vinha sendo pressionada pelos seus associados a “buscar produtos alternativos dentro da cadeia produtiva da cana, como uma forma de acrescentar valor aos seus produtos e otimizar economicamente o parque industrial canavieiro” (CR). A Copersucar foi, então, em busca de parceria dentro do sistema de pesquisa e deu início a negociações com o Instituto de Pesquisa Tecnológica (IPT) que resultou no desenvolvimento de um novo processo para obtenção de bioplástico a partir do açúcar, tema central deste artigo. Nas seções que se seguem relata-se a história desse desenvolvimento, focalizando os atores sociais envolvidos e seus papéis.

2. ORIGENS E DESENVOLVIMENTO DO PROJETO PARA OBTENÇÃO DO PLÁSTICO BIODEGRADÁVEL A PARTIR DO AÇÚCAR (BIOPLÁSTICO): OS ATORES, SEUS PERFIS E SEUS PAPÉIS

O processo de produção do bioplástico no Brasil pode ser descrito em duas fases bastante distintas. A primeira, iniciada em 1991 com a aprovação de recursos para pesquisa na ordem de 2 milhões de dólares, concedidos a um consórcio de instituições constituído pelo Instituto de

¹¹ Neste período houve uma reestruturação completa do sistema de pesquisa para a cana-de-açúcar no Brasil. Alguns institutos governamentais tradicionais na área, como o Planalsucar, foram fechados. Ao mesmo tempo, os programas de melhoramento de cana-de-açúcar do Planalsucar e Copersucar foram interrompidos.

Pesquisa Tecnológica (IPT); Instituto de Ciências Biomédicas da Universidade de São Paulo (ICB/USP) e o Centro Tecnológico da Copersucar (CTC) que serão descritos a seguir. A oportunidade para o desenvolvimento do projeto apareceu quando o Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT) iniciou a implementação da segunda versão de um programa especial de financiamento de atividades em Ciência e Tecnologia (C&T) chamado de “Programa de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico” (PADCT), com recursos oriundos, em parte, de um empréstimo do Banco Mundial¹².

O projeto de bioplástico, aprovado e financiado pelo SBIO/PDE/PADCT II através da Finep, foi denominado “Produção de Plástico Biodegradável (polihidroxicanoatos) a partir da Cana-de-açúcar por via Biotecnológica” e tinha como objetivo desenvolver um novo processo para obtenção de plástico biodegradável (PHB e seus copolímeros polidroxibutirato/valerato [PHB-HV]) usando a biomassa da cana e seus produtos (principalmente açúcar) como substrato¹³. O objetivo da proposta era desenvolver o projeto completo – desde a produção de microrganismos eficientes, as fases de fermentação e extração, até a transferência da tecnologia para o setor produtivo. Para alcançar esses objetivos, foi negociada uma divisão de trabalho entre três instituições: IPT, ICB/USP e CTC. Depois de acordada entre as três instituições a trajetória tecnológica a ser explorada (escolha do microrganismo, processos fermentativos, de separação e extração) uma solicitação de patente foi submetida e concedida pelo INPI¹⁴ sob o número PI9103116-8¹⁵, em 16 de Julho de 1991. Essa patente protegia a concepção do processo de obtenção do PHB do açúcar de cana, porém não se referia ainda a

¹² Com as negociações iniciadas em meados dos anos 80, o governo brasileiro conseguiu assinar três acordos com o Banco Mundial que resultaram em empréstimos para financiar o fortalecimento e a reforma do sistema de C&T. O PADCT I (iniciado em 1985), PADCT II (iniciado em 1991) e o PADCT III (iniciado em 1998) somam juntos cerca de 772 milhões de USD, dos quais 377 milhões foram concedidos pelo BIRD/WB como empréstimo. Esses programas tinham objetivos similares, mas a idéia do envolvimento do setor produtivo nas atividades de C&T desempenharam um papel crescente entre o primeiro e o terceiro programa. Informações básicas (tanto factual como analítica) sobre o PADCT podem ser encontradas em www.mct.gov.br

¹³ Chamada Publica de Propostas SBIO 01/90-02

¹⁴ Instituto Nacional de Propriedade Intelectual < www.inpi.gov.br >

¹⁵ Os proprietários da patente são CTC e IPT. Este último fez um acordo com o ICB/USP, segundo o qual as duas instituições devem dividir igualmente os direitos de patente.

uma tecnologia existente. Concedida a patente, a pesquisa teve início com o desembolso da primeira parcela do financiamento em 1992.

Deve ser aqui mencionado que uma razão importante para aquelas instituições se associarem para este projeto foi o conhecimento prévio do trabalho de cada uma através do Proalcool. Conforme dito na introdução, o Proalcool havia destinado uma fração dos recursos para a P&D e as instituições aqui mencionadas ou já haviam colaborado uma com as outras ou tomado conhecimento dos projetos que cada uma desenvolvia através de participação em reuniões de trabalho afeitas ao Proalcool.

Não é muito claro quem teve a idéia central do projeto, nem de quem partiu a iniciativa de reunir os atores para escrever e submeter o projeto ao PADCT. Aparentemente foi o CTC que decidiu convidar o IPT para o empreendimento e este último teria convidado o ICB/USP, pois era evidente a necessidade de organismos mais eficientes para o processo fermentativo e era notório o conhecimento do ICB/USP nesta área. Parece ter havido, portanto, uma convergência de interesses da parte do IPT e CTC sendo que, por um lado, este último estava buscando novas alternativas de uso para a biomassa da cana-de-açúcar assim como para o açúcar (devido ao declínio do Proalcool e do preço do açúcar no mercado internacional) e, por outro, o IPT precisava de financiamento externo para manter sua capacidade em P&D e o pessoal técnico que havia sido formado a partir dos financiamentos do Proalcool, assim como era premente a necessidade de modernizar seus laboratórios. A seguir faz-se uma descrição resumida de cada instituição e do papel que cada uma desempenhou no desenvolvimento do bioplástico.

2.1 O INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICA (IPT)

O IPT é uma instituição pública de pesquisa ligada à Secretaria de Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento Econômico do Estado de São Paulo. Ele existe há mais de cem anos e tem a missão de suprir as demandas para os vários setores industriais e de engenharia e prover apoio tecnológico para o setor produtivo¹⁶. O IPT é organizado em unidades de pesquisa multidisciplinares chamados agrupamentos que são dedicados a desenvolver produtos e processos em vários campos da

¹⁶ Informações detalhadas sobre a estrutura técnica e administrativa do IPT está disponível em <http://www.ipt.br/institucional/organizacao/estrutura/>

engenharia, porém com um foco especial para a biotecnologia, reciclagem industrial, novos materiais, petróleo, tratamento de lixo urbano e industrial, e informática¹⁷. Quatro daqueles agrupamentos de pesquisa estavam envolvidos no desenvolvimento do bioplástico: biotecnologia, produtos orgânicos, processos químicos e avaliação econômica.

O grupo de biotecnologia do IPT foi criado no início dos anos 1970 com duas linhas principais de pesquisa: produção de biomassa a partir de lixo doméstico e esgoto; e fermentação alcoólica, numa tentativa de melhorar os processos fermentativos tradicionais. O grupo contava com financiamento substancial da Secretaria de Ciência e Tecnologia do Estado de São Paulo e também do Proalcool, situação que começou a declinar em meados dos anos 1980. No entanto, durante quase 15 anos de intensa atividade de pesquisa, o IPT adquiriu uma considerável base de conhecimento, além de formar uma massa crítica de pesquisadores – cerca de 30 pessoas – realizando tanto pesquisa básica como aplicada e biotecnologia industrial. Como esse agrupamento era ativo na área de fermentação alcoólica, era quase ‘natural’ uma colaboração entre ele e o CTC (a divisão de P&D da Copersucar, conforme explicado adiante). E foi o que aconteceu durante o Proalcool e, em menor intensidade, mesmo após o declínio daquele Programa.

O início da participação do IPT no Projeto Bioplástico aparentemente ocorreu quando o CTC procurou-o com o desafio de buscar alternativas para utilização da biomassa da cana-de-açúcar dos produtos derivados, pois se acreditava que o modelo de produção que levava apenas à obtenção de açúcar e álcool era limitado, situação evidenciada pelo mercado internacional do açúcar e o mercado interno do álcool, com seus colapsos recentes. Durante um ano, entre 1989-1990, as duas instituições buscaram e discutiram alternativas. Entre elas, a produção de plástico biodegradável a partir de fontes de Carbono – que já havia sido tentada na Europa onde já havia sido desenvolvido um processo – chamou a atenção dos pesquisadores. O processo da Europa utilizava açúcar de beterraba ou amido de batata ou trigo. A ICI (Imperial Chemical Industry) chegou a construir e colocar em operação, no Reino Unido, uma fábrica para produzir bioplástico, mas o custo de produção era muito elevado (cerca de USD 30/kg). Ficou evidente para o CTC e

¹⁷ <http://www.ipt.br/institucional/>

IPT que o responsável pelo altos custos de produção era a energia demandada ao longo do processo e que, para o caso do processo sendo discutido no Brasil, isso não seria empecilho devido ao excedente de bagaço gerado que proporcionaria uma energia de baixíssimo custo.

Resumindo, de acordo com um dos entrevistados para este estudo, o IPT e CTC resolveram apostar numa via alternativa para produzir o bioplástico a partir da biomassa da cana, em detrimento de alternativas consideradas à época, por várias razões. Primeiro, a literatura indicava que o polímero produzido tinha características muito interessantes, tanto em termos de suas propriedades físicas e biodegradabilidade, como também um grande potencial de aplicação industrial. Além disso, o discurso ecológico era destaque, tanto na agenda política nacional como internacional, o que seria um estímulo a projetos com esta característica. Mais importante, entretanto, é que os que estavam elaborando o projeto, CTC e IPT, acreditavam que eles poderiam remover os gargalos de processo encontrados pela ICI por que:

“a matéria-prima básica que tínhamos em mente era a sacarose e isso temos em abundância e a um preço extremamente baixo devido ao baixíssimos custos de produção (diferentemente da ICI); e todo o processo de produção foi concebido para ser instalado dentro de uma usina de açúcar e álcool de maneira que toda a matéria prima necessária para a produção do biopolímero (desde substrato para fermentação, solventes e fonte de energia) estaria disponível dentro da usina”. (PR)

Essa era, portanto, a principal idéia desenvolvida pelo projeto e submetida ao PADCT em 1991, após um ano de discussão, busca, revisão de literatura, funções alocadas aos diferentes integrantes da equipe e redação do projeto. O IPT tomou a liderança da elaboração do projeto e um de seus pesquisadores mais experientes foi escolhido como o pesquisador principal, tornando-se o coordenador técnico que responderia por todo o projeto.

Coube ao IPT: desenvolver o processo de fermentação e estudar os parâmetros da fermentação (cinética de crescimento e produção, condições operacionais, controle e ‘scale-up’ até 100:1); desenvolver a tecnologia de extração e purificação do plástico em escala de laboratório;

construir as primeiras provas e moldes para o material plástico produzido em escala de bancada para avaliar o potencial de utilização do mesmo; conduzir os primeiros testes de biodegradabilidade e testes de campo de acordo com as normas internacionais. A unidade de produção em escala de bancada construída no IPT tinha uma capacidade de fermentação de cerca de 10 litros de xarope de açúcar e era capaz de produzir 100 gramas de PHB (CR). Enquanto desenvolvia os parâmetros neste nível de capacidade, o IPT mantinha uma interação forte com o CTC de maneira que a transferência de tecnologia do IPT para o CTC era realizada em fluxo constante e com retroalimentação. Havia, portanto, uma interação entre as duas instituições e não apenas transferência de tecnologia de forma linear de uma para a outra.

Outro importante papel desempenhado pelo IPT era identificar e convidar outro parceiro para o projeto, o ICB/USP, que tinha uma função fundamental a ser desempenhada no desenvolvimento do processo, conforme descrito a seguir.

2.2 O INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOMÉDICAS DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (ICB/USP)

O ICB/USP é representado no Projeto Bioplástico pelo Laboratório de Genética de Microrganismos e Biotecnologia. Esse grupo é pioneiro em pesquisas na área de engenharia genética de leveduras no Brasil e obteve, ao longo dos anos, várias cepas transgênicas de levedura para diferentes aplicações.

Alguns pesquisadores deste laboratório foram particularmente ativos durante a primeira fase do Proalcool, nos anos 70 e 80, quando desenvolveram projetos de pesquisa para obter cepas de *Saccharomyces cerevisiae* para produzir, de maneira eficiente e econômica, álcool a partir do amido, na tentativa de incluir a mandioca como uma matéria prima complementar à cana-de-açúcar no Proalcool. Devido ao conhecimento acumulado por este grupo sobre a produção de leveduras engenheiradas, assim como a familiaridade deles com a cadeia de produção do açúcar, eles foram identificados facilmente pelo IPT como parceiros para o projeto a ser submetido ao PADCT.

O ICB/USP concentrou seus esforços no melhoramento de cepas de bactérias para fermentação. Era do conhecimento deles que polímeros do tipo PHA (polihidroxialcanoatos) são sintetizados por uma ampla gama de cepas de bactérias como forma de acumulação intracelular de carbono e energia sob condições adversas de crescimento e na presença de abundância de fontes de carbono. A *Ralstonia eutropha* (ou *Alcaligenes eutrophus*) é um dos microrganismos mais estudados para a produção do PHA devido a facilidade com que ele pode ser cultivado utilizando-se fontes renováveis de Carbono, e também devido ao fato de essas bactérias poderem atingir até 80% de sua matéria seca na forma de polímeros (Marangoni et al., 2000). No entanto, essas bactérias na forma que elas existem naturalmente “não eram capazes de produzir o polímero usando açúcar como matéria-prima”, que era a idéia fundamental do projeto (AC). Portanto, o trabalho do ICB/USP era ‘engenheirar’ uma bactéria adaptada às condições definidas pelo projeto. Para atender a isso, o ICB/USP conseguiu transferir cinco seqüências de genes de uma bactéria para a *Ralstonia eutropha* e obter uma nova cepa, que foi patenteada e ainda é hoje o organismo utilizado na planta comercial.

2.3 O CENTRO TECNOLÓGICO DA COOPERATIVA DE PRODUTORES DE AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO (COPERSUCAR/CTC)

A Copersucar é uma cooperativa constituída por 91 membros, todos eles produtores de açúcar e álcool, responsável pela comercialização de mais de 2,2 milhões de toneladas de açúcar no mercado internacional, o que a torna o maior exportador de açúcar do mundo.

Em 1970 a Copersucar criou o Centro Tecnológico Copersucar (CTC) dedicado a P&D que atendesse às demandas técnicas, solução de problemas técnicos e à antecipação das necessidades de inovação de seus associados. Desde sua criação, o CTC contribui de maneira incisiva para a inovação tecnológica no setor sucro-alcooleiro, tanto na área industrial como agrícola. Participou do desenvolvimento das grandes inovações (por exemplo, a definição de parâmetros e técnicas de distribuição para a utilização da vinhaça como fertilizante), assim como das inovações incrementais introduzidas ao longo de toda a cadeia produtiva. A mais visível dessas inovações ocorreu com a criação de novas variedades de cana-de-açúcar, as variedades SP, que são hoje cultivadas em cerca de 50% da área com cana no Brasil.

Em 2004 o CTC foi transformado no Centro de Tecnologia da Cana tendo mantido o acrônimo e a missão de desenvolver tecnologia para o setor. O CTC não é mais o braço de P&D exclusivo dos associados da Copersucar, tornando-se aberto a todos os produtores e fornecedores de cana, açúcar e álcool que queiram se associar a ele. Hoje, aquele CTC conta com mais de 100 associados, entre eles usinas de açúcar e álcool, destilarias, cooperativas e produtores de cana independentes. Financeiramente, o Centro é mantido por contribuições de seus associados que, em troca, recebem o privilégio e preferência de acesso aos resultados da P&D, além de assistência técnica a preços diferenciados¹⁸.

O papel do CTC no Projeto Bioplástico foi crucial. Foi ele quem desenvolveu, junto com o IPT, a tecnologia para extração e purificação do plástico via solvente, o que gerou a patente PI 9302312-0. Participou ativamente na otimização do processo de fermentação, pesquisando e testando as dimensões e números de reatores necessários. Entretanto, a principal tarefa do CTC era realizar o ‘scale-up’ do processo e equipamentos desenvolvidos em dimensões de bancada pelo IPT. Isso envolveu a transferência e adaptação de uma unidade piloto de escala intermediária (10Kg de PHB/ batelada de fermentação de cerca de 150 litros de xarope de açúcar) que eles tiveram que construir e operar nos laboratórios do CTC. Durante a ampliação de escala, apareceram inúmeros problemas de engenharia, especialmente aqueles relacionados com a fase de extração do polímero, solucionados em conjunto pelas equipes técnicas do IPT e CTC. E foi com base nas informações de engenharia fornecidas por esta unidade piloto que foi possível elaborar um projeto industrial pré-comercial com capacidade de produção de 5 toneladas de PHB/ano.

Em 1994 o processo tecnológico para obtenção do biopolímero PHB, em escala de bancada com capacidade intermediária foi considerado concluído. Além disso, o CTC tinha desenvolvido um projeto em escala pré-comercial de uma unidade piloto de produção que poderia alcançar entre 50 e 60 ton/ano quando estivesse operando com sua capacidade plena, embora pudesse iniciar as operações em escala bem reduzida, cerca

¹⁸ <http://www.ctc.com.br/>

de 5 ton/ano. Neste estágio, a Copersucar reuniu seus cooperados para um encontro de demonstração de resultados. O objetivo era encontrar parceiros entre as usinas associadas que se dispusessem a instalar uma unidade piloto de produção que serviria, também, como treinamento dos futuros operadores, além de fornecer dados e informações tanto para a ampliação de escala como para uma avaliação econômica do processo.

Foi a Usina da Pedra (Upedra), tradicional produtora de açúcar e álcool, que se voluntariou chegando, assim, a um acordo com a Copersucar. No contrato assinado entre Copersucar e Upedra ficou estabelecido que esta última arcaria com os custos de construção, fornecendo os equipamentos necessários para construção e a estrutura necessária para operação da unidade piloto, mantendo o registro detalhado das despesas. Caso o projeto tivesse sucesso, a Copersucar reembolsaria os custos dando à Upedra a prioridade de licenciamento e uso da tecnologia. No caso de fracasso do empreendimento, a Upedra arcaria com as perdas do montante investido. O contrato formal tinha também a concordância tanto do IPT como do ICB/USP, pois presumia o pagamento de licença pelo uso da patente do processo que pertence às três instituições.¹⁹ A duração do contrato era de cinco anos, iniciado em junho de 1996, dando à Upedra o prazo de um ano para construir a unidade e iniciar sua operação. Portanto, o IPT estaria liberado para buscar outros parceiros que desejassem explorar a tecnologia se a Upedra não estivesse produzindo o PHB comercialmente em 2001.

Em 1995 a unidade piloto começou a operar na Upedra com a assistência técnica do CTC e visitas ocasionais do IPT. Em 1997 a produção atingiu algo entre 8 e 10 ton de PHB, ou seja, 20% da capacidade plena prevista para a planta piloto. Com efeito, não havia necessidade de se produzir uma quantidade de PHB maior do que o necessário para testes e ensaios com o produto, sendo que os rendimentos eram ainda muito baixos devido a problemas de ajuste técnico. Apesar disso, a unidade piloto de produção fornecia informações importantíssimas para uma avaliação econômica do processo. Os dados coletados revelaram, por exemplo, que: “o custo de produção do PHB, usando o processo desenvolvido pelo IPT e CTC e instalado na Upedra, estava entre 2 e 3

¹⁹ O contrato diz que 3% da receita da fábrica deveria ser paga pelo uso da tecnologia: 1.5% iria para Copersucar e 1.5% seria dividida igualmente entre o IPT e ICB.

USD/kg, o que era extremamente favorável quando comparado com os custos estimados pela ICI nos anos 80 (algo entre 20 e 30 USD/kg) e, mais tarde, pela Monsanto que havia comprado a fábrica da ICI tendo sido capaz de reduzir aqueles custos para 14 USD/kg. Mesmo com estes valores a Monsanto resolveu encerrar as operações da fábrica no Reino Unido” (PR)²⁰.

As estimativas de custo feitas para a unidade piloto foram baseadas em dois cenários: uma unidade autônoma produzindo 10.000 ton de PHB/ano e localizada fora da usina de açúcar e a outra, considerava uma fábrica integrada à usina de açúcar. As vantagens no custo de produção da fábrica de PHB integrada à usina são óbvias, mas mesmo no caso da autônoma o custo não excederia 3 USD/kg de PHB produzido. (Rossel et al., 2005).

Entre 1997 e 2000 o processo de produção melhorou consideravelmente e foram estabelecidas parcerias entre o CTC e alguns processadores e transformadores de plástico para buscar aplicações comerciais para o PHB. Em 2000, a Upedra concluiu que a fase de projeto piloto tinha sido satisfatória e que o potencial para utilização do produto obtido era enorme, passando, então, a negociar o licenciamento da tecnologia e dando início à fase de comercialização do produto com algumas companhias específicas que desejavam testá-lo para diferentes formas de processamento e aplicação. É quando tem início o que se considera neste estudo como a segunda fase do processo de desenvolvimento do Bioplástico. A próxima seção relata como a Upedra procedeu, como parte de sua estratégia, de maneira a alcançar seus objetivos para introdução do produto no mercado.

2.4 USINA DA PEDRA E A PHB INDUSTRIAL S.A. (PHBISA)

“[A visão da PHB Industrial é] ser reconhecida globalmente como a primeira companhia do mundo a produzir PHB a partir de uma fonte renovável, em escala comercial, com uma tecnologia limpa e ecologicamente correta”²¹.

²⁰ Biopol, um copolímero de resina composta de PBH produzido pela Monsanto chegou a ser vendido por algo entre USD10,00 e 20,00 por kg, dependendo do grau de pureza. (Nonato et al, 2001, p.4).

²¹ <http://www.biocycle.com.br/site.htm>

A empresa PHB Industrial S.A. (PHBISA) foi criada em 2000; a planta piloto foi remodelada, o processo de produção ajustado e começou a operar a plena capacidade de 50-60 ton de PHB/ano, tendo seu produto recebido o nome de Biocycle.²² A partir daí, todo o controle de operação e o processo de tomada de decisão e definição de estratégias passou a ser feito exclusivamente pela PHBISA. A Copersucar, de acordo com o definido em contrato em 1995, teve que reembolsar os custos decorrentes e pagos pela UPedra pela instalação da unidade de produção piloto. A Copersucar pagou seus débitos concedendo à Upedra o direito de uso, sem custos, de todo o equipamento que pertencia à Copersucar e que estava em operação na planta piloto.

PHBISA é uma sociedade entre dois grandes e tradicionais grupos da indústria sucro-alcooleira – Irmãos Biagi (proprietários de outras cinco usinas, incluindo a UPedra) e Irmãos Balbo (proprietários de três usinas de açúcar e álcool). O técnico da PHBISA entrevistado para esse estudo afirmou que a Opera esteve envolvida desde o princípio na busca por novos usos alternativos para a biomassa da cana-de-açúcar e que foram eles (da opera) que sugeriram à Copersucar realizar a análise prospectiva do plástico biodegradável (SO). Isso explica, de certa maneira, a disposição imediata da UPedra de responder ao chamado da Copersucar no encontro de demonstração com os cooperados descrito acima. A racionalidade dessa decisão de assumir a iniciativa de instalar e operar a planta piloto, foi:

“Açúcar e cana-de-açúcar são o nosso negócio. Biopolímeros a partir do açúcar representam um negócio com futuro, produzido com tecnologia limpa, ligada à preservação do meio ambiente e capaz de ser integrada ao processo de produção que já existe em nossas usinas e que possibilitariam usar parte dos equipamentos que tradicionalmente, devido ao ciclo produtivo da cana, ficam ociosos por pelo menos metade do ano”. (SO pp.10)

Após a conclusão de um processo de produção economicamente viável, em 2004, foi projetada uma planta comercial com uma capacidade de 2.000 ton/ano (Pessoa Jr. et al, 2005). Os planos eram para um crescimento progressivo da capacidade que iria de 5.000 para, 7.000 e daí

²² Depositado no Inpi sob o número 823034437 em 21/02/2001.

uma duplicação atingindo 14.000 toneladas de PHB/ano. Durante a elaboração deste artigo, a fábrica estava operando com uma capacidade de 60 ton/ano, das quais 80% estava sendo exportada e o remanescente sendo utilizado como amostra para o desenvolvimento de aplicações para o produto. Não havia ainda realização de lucro, pois o custo de operação da planta, de acordo com o técnico da unidade, era apenas coberto pela venda do produto. A viabilidade econômica do empreendimento só poderá ser alcançada a partir de uma escala de produção de 10.000 ton/ano.

Essa escala de produção que tornaria o processo economicamente viável é conhecida desde 1997. A construção de uma unidade de produção de 10.000 ton/ano demanda um investimento considerável. Os custos de investimentos para as diferentes fases do processo de uma unidade das dimensões acima são estimados na seguinte ordem de grandeza: processo fermentativo, US\$ 15.000.000,00; unidade de extração e purificação, US\$ 15.000.000,00; utilidades US\$ 5.000.000,00; Terraplenagem e construção civil são estimados em US\$ 1.000.000,00; para a recuperação do PHB, US\$ 1.600.000,00 e US\$ 600.000,00 para as facilidades como escritórios, controle, etc. Isso significa um investimento total de cerca de US\$ 38.200.000,00, que equivale à construção de uma nova usina de açúcar com a capacidade da UPedra. A PHBISA reconhece que um investimento dessa escala demanda parceiros comerciais, potenciais investidores (SO).

A rota para desenvolver um processo viável na escala de 60 ton/ano não tem sido fácil, de acordo com a percepção de um dos protagonistas deste processo. Foi necessário um investimento considerável, tanto em termos de capital como em treinamento de recursos humanos, além de um longo processo de aprendizado e ajuste dos parâmetros técnicos. Mais difícil ainda, de acordo com nosso entrevistado, tem sido a procura por usuários potenciais do PHB de forma a estabelecer parceiros comerciais de longo prazo. E é aqui que parece estar o nó górdio de todo o desenvolvimento deste novo produto: buscar aplicações para o PHB e criar mercado para esses novos produtos.

Em vistas disso, a PHBISA tem implementado uma estratégia de buscar desenvolver testes e experimentos que são realizados por inúmeros pesquisadores, tanto do Brasil como do exterior, em diferentes áreas,

assim como processadores e transformadores industriais de polímeros. A PHBISA contrata ainda, consultores de diversas áreas para desenvolver diferentes usos comerciais para o biopolímero e também para promovê-lo para as diferentes e potenciais áreas de aplicação. De acordo com informações de alguns pesquisadores, a Basf teria recebido uma enorme quantidade do produto para o desenvolvimento de testes em seus laboratórios²³. Segundo o porta-voz da PHBISA, as seguintes áreas de aplicação estão sendo investigadas por apresentarem grande potencial: (Ortega Filho, 2003): embalagem para cosméticos, alimentação e pesticidas; agricultura: copos para semeadura de essências florestais; área médica: próteses, liberação controlada de medicamentos e sutura.

Com essa estratégia de pesquisa, promoção e marketing, têm se estabelecido uma extensa rede informal de pesquisa cujos membros recebem, sob encomenda, amostras de PHB para o desenvolvimento de testes para diferentes aplicações, testes de biodegradabilidade, desenvolvimento de blendas e uso em diferentes produtos. Um dado importante sobre essa rede que vem se formando é que, até o ano 2000, nenhum dos atores envolvidos possuía qualquer experiência com a produção ou aplicação do PHB. A partir de 1995 e até 2000, a Upedra operou a unidade produtora de maneira a testar a viabilidade do processo, treinar o pessoal envolvido na produção, ajustar o sistema operacional da fábrica e produzir amostras do polímero que permitisse sua distribuição aos pesquisadores e processadores interessados. Em 2000, com a criação da PHBISA, ficou claro que para a operação comercial, a empresa tinha que formar novas competências para o desenvolvimento do produto, comercialização e assistência pós-venda. Isso indicava a necessidade de integrar à rede engenheiros de material que pudessem desenvolver testes mais específicos, inclusive para uma caracterização técnica do material, além de desenvolver novas blendas para novos usos. A PHBISA foi buscar essa competência junto ao Departamento de Materiais da Universidade Federal de São Carlos (DEMA/UFSCar), cujo papel no desenvolvimento do produto será tratado a seguir.

²³ A BASF realizou recentemente um seminário interno do qual participou seu pessoal de P&D e os representantes da PHBISA com o objetivo de trocarem informações sobre o PHB. Isso pode ser entendido como uma indicação de interesse da Basf pelo produto “devido ao fato de que o PHB em blendas com plásticos biodegradáveis derivados do petróleo acrescentam características desejáveis a este último produto”.

2.5 DEPARTAMENTO DE MATERIAIS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS (DEMa/UFSCAR)

No ano de 2000 a DEMa/UFSCar foi convidada pela PHBISA para se tornar um centro de referência para testes e pesquisa de aplicações do PHB. Embora, naquela época, os pesquisadores nunca tivessem trabalhado com uma resina biodegradável, eles eram bastante ativos na pesquisa com polímeros tradicionais, possuindo reputação respeitável nesta área.

O acordo entre as duas instituições previa o envio pela PHBISA de amostras de todas as bateladas de fermentação para ser analisada pela DEMa/UFSCar de maneira a gerar uma caracterização consistente do produto. Nos últimos cinco anos, mais de 250 amostras foram analisadas e o resultado disso é que “[...] hoje, o produto possui uma especificação técnica, com pequenas variações decorrentes da própria complexidade do processo. Pode-se dizer que o produto já tem um selo técnico e uma caracterização comercial. Ou seja, é um produto consistente” (JA).

O DEMa/UFSCAR construiu um novo laboratório de 300 m², chamado de Centro de Polímeros Biodegradáveis, inaugurado em 2007, para trabalhar como centro de referência na análise de biopolímeros. A construção do laboratório, incluindo seus equipamentos e mobiliário foram pagos pela PHBISA que também contratou um pesquisador sênior em tempo integral e seus técnicos.

É importante ressaltar que desde a fase inicial do projeto e no decorrer do desenvolvimento do Biocycle, desenvolveu-se uma extensa rede de partes interessadas que tem se expandido e tornado mais complexa nos últimos anos. No princípio, essa rede era formalmente constituída por três instituições (IPT, ICB/USA and CTC); em 1995 incorporou um grupo produtor de açúcar e álcool (Biagi, da UPedra); foi oficialmente transformada em uma joint-venture na constituição da PHBISA em 2000 (em parceria com outro produtor de açúcar e álcool, Irmãos Balbo); começou a contratar os trabalhos da DEMa/UFSCAR no mesmo ano. Mas além desse processo formal de constituição, uma rede de atores muito mais complexa começou a ser formada em torno do projeto, na verdade agora um empreendimento, constituído por pesquisadores de outras universidades, transformadores industriais de polímeros, consultores – nacionais e estrangeiros – e usuários de polímeros.

Não foi possível identificar todas as instituições e organizações que têm solicitado amostras do PHB para pesquisa ou desenvolvimento de aplicações. As indicações fragmentadas, no entanto, indicam que essa rede é ativa na troca de experiência e conhecimento, tanto sobre o processo como sobre o produto. O setor acadêmico é o componente mais visível dessa rede e, dado que os membros deste setor publicam, acaba sendo possível detectar o dinamismo da rede a partir de um levantamento de suas publicações científicas.²⁴

Essa seção apresentou a história do desenvolvimento do processo para obtenção do plástico biodegradável (PHB) obtido do açúcar, com foco nos atores envolvidos e seus papéis. Um resumo dos principais eventos que ocorreram ao longo do desenvolvimento e em ordem cronológica é apresentado no quadro abaixo. A racionalidade e natureza do processo desenvolvido e no que ele consiste serão objeto da próxima seção.

3. A RACIONALIDADE DO PROCESSO TECNOLÓGICO PARA OBTENÇÃO DO PLÁSTICO A PARTIR DO AÇÚCAR (PHB) NO BRASIL

O desenvolvimento de compostos novos e biodegradáveis que possibilitem a substituição dos químicos tradicionais nas atividades industriais tem sido uma busca constante em vários países. Entre esses produtos químicos, os plásticos e polímeros, de modo geral, têm sido privilegiados, sendo um dos alvos principais. Uma tendência das pesquisas nessa linha é a utilização de amido para elaboração de material para embalagem que já está sendo utilizado de maneira intensa em vários países. Entretanto, algumas características físicas e químicas dos polímeros de amido dificultam sua aplicação mais ampla para outros propósitos industriais, em substituição ao plástico. Novos processos biotecnológicos estão sendo desenvolvidos e, de acordo com alguns cientistas, estarão maduros em breve para permitir um grande avanço na pesquisa e produção de polihidroxibutirato. Isso poderia acontecer, por exemplo, por meio do desenvolvimento de plantas transgênicas, como milho, que

²⁴ Uma lista completa das publicações diretamente ligadas ao desenvolvimento do Biocycle, desde o projeto original de pesquisa em 1991 até o aparecimento da marca (*brand name*), pode se encontrar em http://www.hsrb.ac.za/research/output/outputDocuments/4221_Velho_Development_ofsugar-basedplasticinBrazil.pdf

teriam a habilidade de sintetizar grandes quantidades de compostos para a produção de polímeros biodegradáveis, matéria prima para a indústria de plástico.

A discussão sobre a viabilidade do desenvolvimento de plásticos biodegradáveis tem se intensificado durante as duas últimas décadas. Apesar das limitações com respeito à funcionalidade (por exemplo,

Cronologia do Desenvolvimento do Biocycle (PHB)

Fase 1: IPT, ICB/USP e CTC. Mais tarde, Usina da Pedra

- 1989 – CTC consulta IPT para buscarem alternativas para o uso da biomassa da cana-de-açúcar de açúcar e o plástico biodegradável (PBH) é escolhido como rota.
- 1990 – PT elabora a proposta de projeto “Produção de Plástico Biodegradável (polihidroxialcanoatos) via Biotecnológica a partir de açúcar”, que é submetido ao PADCT
- 1991 – Projeto Aprovado pelo PADCT
Um pedido de patente de processo para obtenção de PHB a partir de açúcar é submetido e concedido pelo Inpi sob o número PI9103116-8
- 1992 – COPERSUCAR celebra um consórcio com o IPT (e ICB/USP) para desenvolver uma tecnologia de produção de PHB.
Desembolso da primeira parcela dos recursos do financiamento PADCT e início dos trabalhos.
IPT desenvolve uma unidade de produção de bancada: capacidade de fermentação de 10 litros de xarope de açúcar e produção de 100 gramas de PHB
- 1993 – Copersucar decidiu construir uma unidade piloto em função dos resultados obtidos pelo IPT –capacidade da unidade: 10 kg de PHB por batelada de fermentação de cerca de 150 litros de xarope de açúcar
- 1994 – A unidade piloto da Copersucar ajusta os parâmetros de engenharia e é considerada um sucesso.
O CTC desenvolve um projeto industrial pré-comercial (unidade de produção piloto)
Demonstração da unidade de produção piloto da CTC para os associados da Copersucar.
A Usina da Pedra se voluntária para hospedar a unidade de produção piloto e da início à construção com o apoio técnico do CTC
- 1995 – A unidade piloto de produção da Usina da Pedra inicia operações com o apoio técnico do CTC.
- 1997 – A Unidade Piloto de produção opera com 20% de sua capacidade (8-10ton de PHB/ano).
A Copersucar estabelece parceria com processadores de plástico no Brasil e outros países em busca de aplicação comercial para o PHB.

Fase 2: PHB Industrial SA

2000 – Joint Venture entre Biagi e Balbo para a criação da PHB Industrial SA e criação da marca Biocycle para o produto.

A fábrica é ajustada para alcançar sua plena capacidade de 50-60 ton/ano
O Departamento de Materiais da Universidade Federal de São Carlos (DEMa/UFSCar) torna-se centro de referência para testes de material e pesquisa para aplicação do PHB.

2004 – Conclusão de um processo de produção economicamente viável.

Projeto para uma planta comercial com capacidade de produção de 2.000 ton/ano e previsão de expansão para 14.000 tons/ano

2000-2005 – Elaboração das especificações técnicas do PHB realizadas pela DEMa/UFSCar

Busca de aplicação para o PHB e criação de mercado.

Contato com processadores, transformadores, usuários e pesquisadores.

sensibilidade à umidade que o amido apresenta, rigidez do polihidroxibutirato [PHB] e sua falta de flexibilidade que dificulta sua transformação em materiais plásticos especializados), a vantagem do uso potencial desses materiais é nitidamente reconhecida.

Resinas de polímeros biodegradáveis têm grande potencial de competição no mercado de resinas e plásticos. Entre 1987 e 1992, o valor de mercado para a indústria de plástico cresceu de US\$ 26,2 bilhões para US\$ 31,3 bilhões. Baseado em dólares constantes de 1987, isso se traduz em um acréscimo anual de quase 5%. Em 1992 as resinas de polímeros biodegradáveis respondiam por menos de 2,5 milhões de toneladas, ou seja, apenas 0,08% do mercado de material plástico e resinas (Uri et al, 1995). É consenso entre os especialistas e analistas de mercado que a razão pela qual as resinas poliméricas biodegradáveis não têm uma fatia maior do mercado é devido unicamente ao seu custo de produção e, conseqüentemente, preço.

Apesar das limitações técnicas e altos custos, à medida que adentramos um século com novas prioridades para formas renováveis de energia e reciclagem de resíduos, com legislações ambientais cada vez mais severas, na forma de taxas extras sobre os materiais não-biodegradáveis convencionais, cresce o interesse renovado nos biopolímeros e na eficiência com a qual eles podem ser produzidos. Portanto, o aumento na utilização de resinas poliméricas biodegradáveis

requer algum tipo de intervenção dos governos no mercado de materiais plásticos e resinas.

Com efeito, Nonato et al (2001) ressaltam que “o desenvolvimento de um mercado para *commodities* como o plástico biodegradável só se viabiliza com uma redução drástica do custo de produção” (p.2). Novas tecnologias de produção são, provavelmente, a rota mais apropriada para reduzir o diferencial de custo entre os plásticos sintéticos e os bioplásticos e também melhorar as propriedades do material.

Além da redução de custos, é fundamental que todo o ciclo de vida do bioplástico seja ambientalmente seguro. Esse argumento permeia toda a racionalidade do processo produtivo do PHB aqui descrito. PHB refere-se ao Polihidroxibutirato e seus copolímeros (PHV) que são termoplásticos semicristalinos produzidos a partir de fermentação biológica de carboidratos renováveis, neste caso, utilizando-se o açúcar. O PHB tem sido descrito como “o primeiro exemplo de um verdadeiro termoplástico obtido a partir de processo biotecnológico” que é realmente biodegradável. Embora esse produto seja estável no ambiente natural, sua taxa de degradabilidade é bastante alta nas condições de processamento e fusão²⁵.

A integração da planta de produção de PHB a uma usina de açúcar, como neste caso, oferece vantagens únicas, não apenas da perspectiva econômica, mas também do ponto de vista de um processo ambientalmente seguro. A primeira dessas vantagens é, sem dúvida, a garantia de uma matéria-prima com baixo custo de produção e em grandes volumes. O Brasil, como já dito, é o país que produz açúcar a custo mais baixo. Segundo, as usinas de açúcar no Brasil têm disponibilidade energética – tanto térmica como elétrica – obtida a partir de fontes renováveis e quase gratuitas: o bagaço da cana processada; conta com eficiente sistema de manejo e utilização dos resíduos industriais e agrícolas; tem amplo conhecimento e disponibilidade de processos fermentativos de larga escala; dispõe de solventes naturais e biodegradáveis (resultantes da fermentação alcoólica) necessários para o processo de separação do PHB com alto grau de pureza (Nonato et al, 2001).

O processo de produção de PHB aqui relatado é descrito por Nonato et al (2001, p. 3):

²⁵ <http://www.azom.com/details.asp?ArticleID=1881>.

“O processo envolve um primeiro passo que é a fermentação, onde cepas de *Ralstonia eutropha* [...] são aerobicamente multiplicadas até atingir uma alta densidade de células em um meio bem equilibrado que consiste de açúcar e nutrientes inorgânicos. O crescimento de células é, então, desviado para a síntese do PHB por meio de uma limitação nos nutrientes mantendo-se, no entanto, a fonte de carbono, que é continuamente introduzida na forma de um xarope com alta concentração de açúcar. Após 45-50 horas, o processo fermentativo é suspenso, quando atinge uma massa de células secas de cerca de 125-150 kg/m³, contendo cerca de 65-70% de PHB. O meio já fermentado é inativado termicamente através de um trocador de calor, diluído com água e então floculado. O procedimento de separação e concentração rende um mosto que contém entre 20-30% de sólidos, que é submetido a um processo de extração de múltiplo estágio com álcoois intermediários em tanques-reatores de agitação contínua²⁶. O extrato é purificado para remoção de precipitados e então resfriado para recuperação do gel de PHB. Os solventes do gel são removidos por via mecânica e concentração térmica. A pasta resultante de PHB é misturada com água e destilada para remover o solvente remanescente. Os grânulos de PHB são então coletados por uma peneira, secados a vácuo, compostos e extrusados em pelets.”

Esse procedimento rende um polímero de alta pureza através de extração via solvente, evitando os impactos ambientais negativos causados por outros processos. É importante reforçar novamente que a produção do PHB a partir do açúcar de cana foi concebida (pelo IPT e CTC) como um processo a ser integrado ao processo operacional das usinas usando, não apenas o açúcar como substrato, mas também todas as facilidades que a usina pode oferecer com grandes vantagens para o processo, tais como: aquecimento e refrigeração, energia elétrica, tratamento e utilização de águas usadas e efluentes industriais. Essa é razão pela qual o custo de produção é tão baixo quando comparados com outros processos disponíveis na literatura.

A expectativa para o desenvolvimento industrial da produção de PHB pela agroindústria açucareira no Brasil, é grande. De acordo com

²⁶ Este último é uma melhora considerável sobre os processos anteriores para obtenção do PHB que utilizavam solventes clorados orgânicos, que são prejudiciais para a saúde humana e para o ambiente. No processo aqui desenvolvido, o solvente utilizado para a extração e purificação do PHB é o álcool isoamílico, um produto secundário resultante da fermentação alcoólica e que não oferece nenhum risco nem para o homem nem para o ambiente. (Rossel et al, 2005).

alguns especialistas, existe ainda uma grande margem para melhorias do processo produtivo que está sendo hoje utilizado, melhorias que deverão resultar em custos ainda mais baixos de produção e de capital, menor geração de efluentes líquidos e sólidos, além de menor consumo de energia. Além do mais, há possibilidade de utilização do bagaço da cana hidrolisado em vez do açúcar como substrato, o que promoveria uma redução ainda maior dos custos²⁷.

4. A DIMENSÃO FINANCEIRA DO DESENVOLVIMENTO DO PROCESSO

Estimar os investimentos realizados no projeto por cada participante e nas diferentes fases, não é uma tarefa fácil. Durante a primeira fase do desenvolvimento, os valores financeiros envolvidos foram estimados pela Copersucar e encontram-se na Tabela 1. Esses, no entanto, podem estar subestimados porque não relacionam as quantidades despendidas pela Upedra no estabelecimento e operação da planta piloto no período compreendido entre 1995 e 2000.

Deve ser ressaltado aqui que o apoio do governo foi dado também na forma de concessão de bolsas de mestrado e doutorado para pessoas que trabalhavam no projeto, cujos valores não estão computados nos investimentos do projeto. Os resultados obtidos nesse estudo, no entanto, revelaram que pelo menos 15 bolsas de mestrado e três de doutorado foram concedidas a estudantes que desenvolviam trabalhos de pesquisa diretamente relacionados ao desenvolvimento do processo de produção do bioplástico. Com relação à Fase 2 do projeto, o investimento realizado pela PHBISA é tratado como segredo de negócio. A única informação fornecida por aquela empresa é que até agora foram investidos cerca de US\$ 9 milhões. Nesta fase também houve investimento de outras agências governamentais. É o caso, por exemplo, da Fapesp que concedeu auxílio da ordem de US\$ 135.000, 00 para um projeto da DEMa/UFSCar em parceria com a PHBISA. Outro auxílio foi recentemente aprovado para os mesmos parceiros, porém os valores não estavam ainda disponíveis ao público. A Fapesp, da mesma forma que o CNPq e Capes, concedeu bolsas de estudo para estudantes de mestrado e doutorado que trabalharam em diferentes aspectos da produção e utilização do PHB em diferentes universidades no país.

²⁷ O custo de produção do PHB é fortemente dependente do preço do açúcar, responsável por quase 29% do custo final.

Tabela 1. Estimativas de investimentos para o desenvolvimento do processo de produção do PHB

| Organização | Finalidade | Valor (US\$) |
|-----------------------------|--|--------------|
| Finep | Para o IPT e ICB/USP, equipamento de laboratório, compra de material e outras despesas de pesquisa. | 1.843.666,00 |
| IPT | Recursos próprios para pessoal (até 06/98) | 901.778,72 |
| Copersucar | Pessoal envolvido na unidade piloto de bancada e estudos preliminares. | 167.124,00 |
| Copersucar | Compra de equipamentos e material de laboratório. | 44.307,00 |
| Copersucar | Pessoal alocado para o projeto, "start-up" e acompanhamento da produção em escala piloto na UPedra | 2.078.220,00 |
| Copersucar (Usina da Pedra) | Compra de equipamento, material, montagem, manutenção e operação da planta piloto de produção na Usina da Pedra. | 2.476.724,00 |
| Total | | 7.511.820,00 |

5. RESULTADOS (ACADÊMICO E RELATIVOS A PROPRIEDADE) DO PROJETO

Além das atividades de P&D desenvolvidas ao longo da última década pelos diferentes atores, formou-se um número significativo de especialistas qualificados na área de produção de plástico a partir do açúcar. Embora nenhuma das instituições envolvidas no desenvolvimento do processo tenha se comprometido de maneira explícita com o treinamento de recursos humanos acadêmicos, o fato de o projeto ter envolvido o ICB/USP e o IPT (ambos envolvidos com pós-graduação) assim como o DEMa/UFSCar, acabou por levar a que isso ocorresse naturalmente.

Um levantamento na base de dados de três das mais importantes agências governamentais que concedem bolsas de estudo para a pós-graduação revelou que vários candidatos realizaram seus trabalhos de pesquisa sobre o tópico aqui discutido, na maioria das vezes, supervisionados por pesquisadores diretamente envolvidos com o projeto PHB. Isso revela que o projeto estimulou a aquisição e produção de conhecimento sobre biopolímeros no Brasil. Vale a pena mencionar que antes de 1990 não havia publicação sobre biopolímeros no país, segundo dados do Science Citation Index.

A face mais visível do conhecimento gerado e os recursos humanos treinados ao longo do processo de desenvolvimento do PHB é revelada

pelo número de teses de mestrado e doutorado ligadas ao projeto, que é apresentado na Tabela 2, abaixo.

Tabela 2. Resultados do desenvolvimento do processo de produção de bioplástico

| | |
|---|----|
| Teses de mestrado | 15 |
| Dissertações de doutorado | 3 |
| Artigos publicados em revistas nacionais | 31 |
| Artigos publicados em revistas internacionais | 31 |
| Registros e patentes | 10 |

Fonte: elaboração própria, a partir da lista de publicações e teses fornecidas pelas instituições de pesquisa envolvidas. A lista completa de publicações e patentes está à disposição dos interessados e pode ser obtida por solicitação aos autores deste estudo.

6. RESUMO DAS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

6.1 CAPACIDADE DE ABSORÇÃO E APRENDIZADO DA EMPRESA

O objetivo do projeto era produzir um bioplástico (PHB) a partir do açúcar, de maneira ambientalmente segura e integrada a uma usina de açúcar. Esse contexto propiciaria um ambiente ideal e seguro, da perspectiva de obtenção de matéria prima em grandes quantidades (açúcar) e baixo custo, além de acesso a energia elétrica e térmica também a custos reduzidos. Tudo isso obtido a partir de uma fonte agrícola renovável eram indicações seguras para a construção de uma fábrica de grande capacidade para a produção do PHB.

O próprio conceito do projeto era inovador. A bibliografia indicava uma série de limitações no processo de produção do PHB tais como: alto custo devido à demanda por energia, uso de solventes tóxicos, falta de garantia de continuidade de fornecimento de matéria prima, entre outros. Esse processo de produção integrado a uma usina de açúcar foi imediatamente reconhecido como uma solução inteligente que propiciaria a remoção dos obstáculos identificados anteriormente, a ponto de, como garantia, patentear-se imediatamente a idéia do processo, que foi desenvolvida com sucesso. Esse desenvolvimento demandou a geração

de novos conhecimentos básicos (engenharia genética de novas cepas de bactérias para fermentação); desenvolvimento de processos adaptados de fermentação, separação e extração; engenharia e ampliação de escala para unidades pilotos de dimensões crescentes (de 100 gramas de PHB/batelada de 15 litros para 60 ton/ano). Embora não fizesse parte do projeto original, os empreendedores do projeto decidiram desenvolver atividades de pesquisa que identificassem aplicações para o PHB. Resumindo, o desenvolvimento do processo foi totalmente baseado em conhecimentos desenvolvidos localmente (excetuando-se a literatura internacional utilizada como base) e envolveu todo tipo de atividade de P&D (desde a pesquisa básica até o trabalho dentro da fábrica que levou à operação de uma planta totalmente nova).

Isso foi possível por duas razões principais. Primeiro, devido à capacidade, tanto de P&D como de produção, em áreas relacionadas que há muito já vinham sendo desenvolvidas no Brasil. Essa capacidade existente incluía equipes qualificadas de pesquisadores, tanto em instituições governamentais como nas universidades; conhecimento acumulado na produção de cana-de-açúcar, açúcar e álcool, etc. Por exemplo, as pessoas que foram entrevistadas para este estudo deixaram claro que os principais passos na produção do PHB são a fermentação e a extração. Embora o processo fermentativo para a produção de etanol não seja exatamente o mesmo que para a produção de PHB, a experiência acumulada para o primeiro caso foi extremamente significativa para o desenvolvimento do processo de fermentação do PHB. O mesmo se aplica para a extração de PHB e o processo de cristalização e separação do açúcar. Portanto, o desenvolvimento do processo deu-se sobre uma experiência e conhecimento existentes, apesar da necessidade de geração de novos conhecimentos. Na medida em que alguns conhecimentos já eram dominados, e na medida em que a unidade de produção de PHB era situada dentro de uma usina de açúcar e operada por pessoas familiarizadas com e experientes na produção de açúcar e álcool, é razoável assumir que a PHBISA tinha uma capacidade significativa para absorver o novo processo.

A segunda razão tem a ver com o financiamento. O projeto de pesquisa não teria sido desenvolvido sem os recursos concedidos pelo governo via PADCT/MCT. A Copersucar e a PHBISA somente se envolveram e investiram quantidades consideráveis de recursos em P&D

e na instalação da planta piloto devido aos resultados favoráveis produzidos dentro do projeto financiado pelo PADCT, embora um dos entrevistados insistisse em afirmar que a planta que eles construíram tinha pouca relação com o procedimento desenvolvido pelo IPT/Copersucar/USP. É necessário ressaltar a importância fundamental das instituições públicas de pesquisa e da Copersucar na definição de todos os parâmetros do processo produtivo, na capacitação dos técnicos que dele participaram e que acabaram migrando para a PHBISA, além claro, do microrganismo produzido pela USP que, ainda hoje, é a pedra fundamental do processo produtivo adotado pela PHBISA.

6.2 CONEXÕES E INTERAÇÕES

É claro que o processo de desenvolvimento do bioplástico (*Biocycle*) foi possível somente porque uma densa rede de instituições e pessoas foi construída. A partir de sua fase inicial em 1990, uma rede formalmente constituída por três instituições (IPT, ICB/USA and CTC) foi estabelecida, tornou-se mais complexa e se intensificou durante os últimos anos. É curioso observar que as três instituições originalmente envolvidas compõem uma tríade clássica: pesquisadores acadêmicos, instituto público de pesquisa e setor privado. Isso sugere até um processo de inovação “linear” a partir da pesquisa básica até a inovação de produto e processo (na verdade, o surgimento de uma nova indústria no país), não fosse pelo fato de que durante todo o processo as interações entre as instituições foram a regra.

Agora que o processo parece estar sob controle da PHBISA, a rede formada mudou um pouco o seu objetivo: aplicação do produto e criação de mercado. Essa rede é ainda mais complexa do que a primeira, pois envolve agora pesquisa acadêmica de várias universidades, mas também um grande número de companhias privadas que vão cadeia abaixo, desde os processadores e transformadores de plástico até o usuário final do produto.

6.3 POLÍTICA INDUSTRIAL

A ação do governo que tornou esse projeto possível foi, estritamente falando, desenhada como um instrumento de política de C&T. Embora um dos pilares do PADCT fosse estimular a interação

entre os setores acadêmico e industrial, seria um exagero afirmar que o PADCT pode ser considerado parte de uma política industrial nacional.

Por outro lado, quando se pensa no Proalcool e no impacto que ele teve sobre várias políticas públicas – desde política energética para transporte, passando pela agrícola, social (criação de empregos, migração da região Nordeste para a Sudeste), política ambiental e industrial (relacionada com a indústria automobilística, produção de etanol, etc) – e assumindo que a motivação para o projeto PHB foi gerada pela oscilação do Proalcool, então parece razoável estabelecer uma ligação entre este caso e a política industrial. Por exemplo, se o mercado do etanol não tivesse sido liberalizado e os subsídios para a produção do açúcar e álcool não tivessem sido eliminados, é bem possível que a motivação para a busca de usos alternativos da biomassa da cana-de-açúcar não tivesse acontecido. Mas isso se pode apenas sugerir....O que pode ser afirmado sem dúvida alguma é que o biopolímero baseado no açúcar (o *Biocycle*) é uma história de sucesso de um instrumento de política de C&T que tinha como objetivo promover P&D e transferência de tecnologia para o setor produtivo.

7. CONCLUSÕES

O caso aqui analisado é uma evidência de que, dadas as condições corretas, uma indústria baseada em recursos pode se tornar intensiva em conhecimento. Ele também mostra que o conhecimento, experiência e habilidades acumuladas em atividades baseadas no uso e transformação de recursos pode migrar para um setor diferente, no presente caso, permitindo o estabelecimento de uma indústria totalmente nova.

Sucesso do tipo que foi aqui relatado, no entanto, não acontece de maneira natural e também não é inexorável. Ele requer atitudes pró-ativas de todos os setores, negociação de interesses, compromisso com o acordo de todas as partes envolvidas e investimento da parte do governo. Resumindo, os seguintes aspectos devem ser ressaltados como os condicionantes do sucesso do desenvolvimento do bioplástico:

- Os atores relevantes já tinham experiência em trabalharem juntos durante o Proalcool (isso mostra as dificuldades de se avaliar os impactos dos programas de P&D);

- Os investimentos prévios realizados tanto pelo governo como pelo setor privado (representado pela Copersucar) em P&D na agroindústria do açúcar e álcool.
- A capacidade de pesquisa existente no setor público de pesquisa (universidade e instituto público de pesquisa);
- A existência de um programa do governo para fortalecer a capacidade de pesquisa em biotecnologia e estimular ligações entre o setor público e privado.

Apesar de poder ser considerado um sucesso, deve-se ressaltar que a fábrica comercial e economicamente viável de PHB está ainda em construção. Existem fortes indicações de que sua finalização está para acontecer num futuro próximo, tão logo se consolide um mercado firme para o PHB, o que ainda não é o caso. O futuro vai nos dizer.

Entrevistas realizadas para o estudo:

Carlos Eduardo Vaz Rossell
Cooperativa de Produtores de Cana, Açúcar e Álcool - Centro de Tecnologia.

Jose Geraldo da Cruz Pradella
Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Divisão de Química, Agrupamento de Biotecnologia (IPT)

Ana Clara Guerrini Schenberg
Universidade de São Paulo, Instituto de Ciências Biomédicas, Departamento de Microbiologia (USP)

José Augusto Marcondes Agnelli
Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Departamento de Engenharia de Materiais (UFSCar)

Luiziana Ferreira da Silva
Universidade de São Paulo (USP)

Sylvio Ortega Filho
PHB Industrial S.A.

REFERÊNCIAS

- BNDES (1995) Setor sucroalcooleiro: álcool. Informe Setorial, 18/10/1995.
- BRÄMER, C. O.; SILVA, L. F.; GOMEZ, José Gregório Cabrera; PRIEFERT, H.; STEINBÜCHEL, A. (2002). Identification of the 2-methylcitrate pathway involved in the catabolism of propionate in the polyhydroxyalkanoate producing strain *Burkholderia sacchari* IPT 101T and analysis of a mutant with altered composition of the accumulated polyester. *Applied and Environmental Microbiology*, EUA, v. 68, n. 1, p. 271-279.
- BRÄMMER, C. O.; VANDAMME, P.; SILVA, L. F.; GOMEZ, J. G. C.; STEINBÜCHEL, A. (2001). *Burkholderia sacchari* sp. nov., a polyhydroxyalkanoate-accumulating bacterium isolated from soil of a sugarcane plantation in Brazil.. *International Journal Of Systematic And Evolutionary Microbiology*, England, v. 51, n. 5, p. 1709-1713.
- Brasil aperfeiçoa plástico que não agride meio ambiente (2002) http://www.radiobras.gov.br/ct/2002/materia_111002_3.htm
- DOANE, W. (1992), New Uses for Starch, in *New Crops, New Uses, New Markets: 1992 Yearbook of Agriculture*, U.S. Department of Agriculture, Washington, DC.
- DOANE, W., SWANSON, C. L., AND FANTA, G. F. (1992), Emerging Polymeric Materials Based on Starch, *Materials and Chemicals from Biomass*, 12, 197-230.
- FERREIRA, C. O. (2002) Avaliação Preliminar do Potencial de Produção de Etanol de Cana-de-açúcar. *Economia & Energia*, n.34, Set/Out. <http://ecen.com/eee34/limites_álcool.htm>
- History of biodegradable plastic <<http://www.ftns.wau.nl/agridata/historybiodegrplast.htm>> Biodegradable Plastics – Developments and Environmental Impacts (2002) <<http://www.deh.gov.au/settlements/publications/waste/degradables/biodegradable/chapter1.html>>
- KNAPP, R. (2003) Brazilian Sugar <http://www.fas.usda.gov/htp/sugar/2003/Brazilsugar03.pdf>, 6pp.
- MARANGONI, C.; FURIGO-Jr, A. & ARAGÃO, G.M.F (2000) Oleic Acid improves poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hidroxyvalerate) production by *Ralstonia eutropha* in inverted sugar and propionic acid. *Biotechnology Letters*, 22:1635-1638.
- MICHAEL, D. (2003) Biopolymers from crops: their potential to improve the environment < <http://www.regional.org.au/au/asa/2003/c/11/michael.htm>>

NEGRÃO, L.C.P. (2005) Personal communication based on data from SPC/DAA/Brazilian Secretary of Agriculture and OCDE.

NOLAN-ITU Pty Ltd (2002) Biodegradable Plastics – Developments and Environmental Impacts < <http://www.deh.gov.au/settlements/publications/waste/degradables/biodegradable/chapter1.html> >, Australian Government/Department of the Environment and Heritage.

NONATO, R.V. ; Mantelatto, P.E. and Rossell, C.E. (2001) Integrated Production of biodegradable plastic, sugar and ethanol. *Applied Microbiol Biotechnology*, 57:1-5.

ORTEGA FILHO, S. (2003) O Potencial da Agroindústria Canavieira do Brasil. Palestra proferida na Faculdade de Ciências Farmacêuticas-USP em Dezembro de 2003.

PADCT II(1992) Produção de Plásticos Biodegradáveis a Partir da Cana-de-açúcar de Açúcar por Via Biotecnológica < http://react.cesar.org.br:21500/consult/owa/geral_print.formata_ >

PESSOA-Jr, Adalberto; ROBERTO, I.C.; MENOSSI, M.; SANTOS, R.R.; ORTEGA FILHO, S. And PENNA, T.C.V. (2005) Perspectives on Bioenergy and Biotechnology in Brazil. *Applied Biochemistry and Biotechnology*; vo. 121-124, pp.59-70.

ROSSELL, C.E.V; NONATO, R.V.;MANTELATTO, P.E and LEAL, M.R.L.V. (2005) Production of Biodegradable Plastic (PHB), Sugar and Ethanol in a Sugar Mill.?

SCHMITZ, T.G.; SEALE, JR J. L.; BUZZANELL, P. G. (2002) Brazil as a Dominant Player in the World Sweetener Market: Do Prices Matter? In Proceedings of the FAO/MOZAMBIQUE SUGAR CONFERENCE Sugar and development in Africa and the world: sustainability, diversification and trade Maputo, Mozambique, 10 – 12 October 2002 Sugar and Beverages Group Raw Materials, Tropical and Horticultural Products Service Commodities and Trade Division Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, 2003, pp32-42

URI, N.D.; BOYD, R.; BEACH, E. D. (1995), Increasing Biodegradable Polymer Use, *Technological Forecasting and Social Change* 48, 161-176

USDA (2001), Plastic Made More Flexible, More Degradable, <http://www.ars.usda.gov/is/AR/archive/apr97/plastic0497.htm> (last accessed 20/02/2006).

STUD, T. (1990), Degradable Plastics: New Technologies for Waste Management, *Research and Development*, March, 50-56 (1990).

Resumo

Existiria um dilema inexorável entre a especialização de determinado país em direção à exploração dos recursos naturais e a possibilidade de tal país tornar-se intensivo em conhecimento? O presente artigo discute um estudo de caso, evidenciando que as atividades baseadas em recursos naturais podem tornar-se indústrias baseadas em conhecimento, mas que também os conhecimentos e habilidades acumuladas neste processo podem “migrar” para diferentes setores. O caso que se trata aqui relata o estabelecimento de uma planta industrial para manufaturar plástico biodegradável a partir da cana-de-açúcar de açúcar no Brasil. Tal desenvolvimento está intimamente associado com as atividades de produção de açúcar e álcool no Brasil. Levadas a efeito ao longo dos últimos séculos, essas atividades têm propiciado a acumulação de conhecimento e desenvolvimento tecnológico que se assenta sobre fatores extremamente favoráveis como solo, clima e extensão territorial – condições propícias ao cultivo da cana-de-açúcar. Além disso, a emergência da indústria do bioplástico só foi possível devido a um programa específico do governo dirigido a desenvolver capacitação em pesquisa e produzir conhecimento na área de biotecnologia, que acabou também estimulando a cooperação entre os setores público de pesquisa e o privado. Portanto, a lição mais importante a ser tirada deste estudo de caso é que existe um papel fundamental a ser desempenhado pelas políticas públicas e, mais especificamente, pela política científica e tecnológica (C&T) caso os países ricos em recursos naturais queiram incrementar suas atividades tecnológicas relacionadas.

Palavras-chave

Plástico biodegradável. Produção de cana-de-açúcar. Ciência, tecnologia e inovação. Pesquisa e desenvolvimento. Parcerias. Biotecnologia. Política industrial.

Abstract

Is there an inescapable dilemma between exploiting natural resources and becoming knowledge-intensive? This article presents a case study that provides evidence that not only natural resource-based activities can be knowledge industries, but also that the accumulated knowledge and skills can “migrate” to a different sector. The case in question is the establishment of an industrial plant to manufacture biodegradable plastic from sugar in Brazil. This development is closely associated with the long term activity of sugar and alcohol production in Brazil, which is based on the natural endowments of soil, climate and geographical extension that favors sugar cane cultivation. This notwithstanding, the emergence of the bioplastic industry was only possible because of a specific

government scheme to build research capacity and knowledge production in biotechnology which also stimulated cooperation between the public and the private sector. Therefore, the most important lesson from the case seems to be that there is a key role to be played by public policies, and more specifically by S&T policy, if natural resources rich countries want to upgrade their related technological activities.

Keywords

Biodegradable plastic. Sugar production. Science, technology and innovation. Research and development. Biotechnology. Partnership. Industrial policy.

Os Autores

LÉA VELHO é professora titular do Departamento de Política Científica e Tecnológica da Universidade de Campinas (DPCT/Unicamp). E-mail: velho@igl.unicamp.br

PAULO VELHO é consultor independente. E-mail: pauvelho@uol.com.br