AgEcon SEARCH
RESEARCH IN AGRICULTURAL & APPLIED ECONOMICS

The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library

This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.

Help ensure our sustainability.

Give to AgEcon Search

AgEcon Search
http://ageconsearch.umn.edu
aesearch@umn.edu

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*

PROCESSOS DE BUSCA PARA A SOLUÇÃO DO PROBLEMA DA DESTINAÇÃO DA VINHAÇA NOS ANOS 1970 E 1980: O ABANDONO DA VIA BIOTECNOLÓGICA

ROSANA ICASSATTI CORAZZA; ;

FACULDADES DE CAMPINAS

CAMPINAS - SP - BRASIL

rosanacorazza@gmail.com

APRESENTAÇÃO COM PRESENÇA DE DEBATEDOR

CIÊNCIA, INOVAÇÃO TECNOLÓGICA E PESQUISA.

Título:
Processos de busca para a solução do problema da destinação da vinhaça nos anos 1970 e 1980: o abandono da via biotecnológica

Endereço para correspondência:
Rua Sapopemba, 522
Condomínio Caminhos de San Conrado
Caixa Condominial 396
Sousas
CEP 13.104-170 – Campinas – SP

Número do grupo de pesquisa sugerido:
12. Ciência, Tecnologia e Inovação

Apresentação em:
Sessão com debatedor

Processos de busca para a solução do problema da destinação da vinhaça nos anos 1970 e 1980: o abandono da via biotecnológica

Grupo de pesquisa: 12

Resumo
O ProAlcool não foi precedido por um estágio de pesquisas com programas específicos e coordenados objetivando a otimização dos processos produtivos ou a minimização/aproveitamento dos resíduos. Apenas depois que a imensa quantidade de vinhaça, gerada com a expansão da produção de etanol, evidenciou as dimensões do problema de sua destinação é que foram mobilizados esforços no sentido de se desenvolver possibilidades tecnológicas para sua solução. Entre 1975 e 1990, observam-se os maiores esforços no sentido de desenvolvimento de soluções tecnológicas para a destinação da vinhaça. Este artigo consiste num estudo sobre processos de busca. O estudo é desenvolvido com base em um arcabouço teórico-metodológico de corte evolucionista e com o auxílio de alguns trabalhos de referência, de um levantamento bibliográfico sobre o tema e de uma série de entrevistas com especialistas. Dentre os processos estudados, particularmente promissora parecia a alternativa da digestão anaeróbia, que oferecia a perspectiva não apenas da redução drástica da carga poluidora do resíduo, mas abria a possibilidade de geração do biogás, numa promessa de trajetória tecnológica alimentada pela crença no advento do paradigma da biotecnologia. Em meados dos anos 80, entretanto, a fertirrigação se colocava como a alternativa amplamente difundida, associando à solução do problema da destinação da vinhaça a virtude da substituição de insumos químicos para a fertilização da própria lavoura da cana-de-açúcar. Embora tenha havido grande formação de competências técnico-científicas e mesmo a articulação de uma diversidade notável de agentes, a linha de pesquisa da digestão anaeróbia - que havia acalentado tantas esperanças quanto ao fortalecimento do paradigma - foi desmobilizada.

Palavras-chave
vinhaça, processos de busca, biodigestão, biotecnologia

Processos de busca para a solução do problema da destinação da vinhaça nos anos 1970 e 1980: o abandono da via biotecnológica

Introdução

O ProAlcool não foi precedido por um estágio de pesquisas com programas específicos e coordenados objetivando a otimização dos processos produtivos ou a minimização/aproveitamento dos resíduos. Apenas depois que a imensa quantidade de vinhaça, gerada com a expansão da produção de etanol, evidenciou as dimensões do problema de sua destinação é que foram mobilizados esforços no sentido de se desenvolver possibilidades tecnológicas para sua solução.

Entre 1975 e 1990, observam-se os maiores esforços no sentido de desenvolvimento de soluções tecnológicas para a destinação da vinhaça.

Este artigo consiste num estudo sobre processos de busca. O estudo é desenvolvido com base em um arcabouço teórico-metodológico de corte evolucionista e com o auxílio de

alguns trabalhos de referência, de um levantamento bibliográfico sobre o tema e de uma série de entrevistas com especialistas.

Dentre os processos estudados, particularmente promissora parecia a alternativa da digestão anaeróbia, que oferecia a perspectiva não apenas da redução drástica da carga poluidora do resíduo, mas abria a possibilidade de geração do biogás, numa promessa de trajetória tecnológica alimentada pela crença no advento do paradigma da biotecnologia.

Em meados dos anos 80, entretanto, a fertirrigação se colocava como a alternativa amplamente difundida, associando à solução do problema da destinação da vinhaça a virtude da substituição de insumos químicos para a fertilização da própria lavoura da cana-de-açúcar. Embora tenha havido grande formação de competências técnico-científicas e mesmo a articulação de uma diversidade notável de agentes, a linha de pesquisa da digestão anaeróbia - que havia acalentado tantas esperanças quanto ao fortalecimento do paradigma - foi desmobilizada.

Para proceder à análise dos processos de busca de soluções tecnológicas para o problema da destinação da vinhaça, empregamos abaixo as quatro categorias sugeridas por Dosi (1982): a periodização do desenvolvimento da tecnologia; a identificação das áreas-problema com as quais se defrontam os esforços de desenvolvimento; a caracterização dos paradigmas; e a descrição da mudança técnica. A organização deste artigo é feita em quatro seções, seguindo as categorias propostas pelo autor.

1. Periodização do desenvolvimento tecnológico

Com o objetivo de identificar e separar os períodos de desenvolvimento normal da tecnologia daqueles de busca extraordinária, procedemos a uma breve narrativa sobre os esforços dedicados à solução do problema da vinhaça.

Enfatizamos que esta narrativa não tem nenhuma pretensão de sugerir uma interpretação "histórica" dos processos em questão. Não obstante, a necessidade de periodização dos esforços de desenvolvimento tecnológico nos obriga a escolher algumas datas que possam determinar os limites dos períodos. Assim, quando consideramos anteriormente os aspectos histórico-econômicos envolvidos no problema da destinação da vinhaça, pudemos discernir o momento da institucionalização do ProAlcool (1975) como um "divisor de águas" no tema, simplesmente devido à circunstância do agravamento do problema. A preocupação com o destino da vinhaça, entretanto, parece ser bastante antiga, datando pelo menos da primeira metade do século XX.

A identificação do problema no Brasil e o surgimento de soluções nos permitem identificar outras datas importantes, de modo que, não sem alguma arbitrariedade, empregaremos aqui uma periodização que consiste de três etapas. No período compreendido entre 1933 e 1975, localizamos a identificação do problema, a descoberta empírica da fertirrigação e, finalmente, o estabelecimento das primeiras bases científicas para seu desenvolvimento. Entre 1975 e 1990, *grosso modo*, é estabelecido um período de instalação de processos de rotinas dinâmicas ou de busca extraordinária. A partir de 1990, esses processos resultam, por um lado, na estabilização completa da trajetória tecnológica da fertirrigação (processo iniciado ao longo dos anos 80) e no progressivo abandono das trajetórias alternativas.

<u>Entre 1933 a 1975</u>, identificamos as primeiras discussões sobre o problema da vinhaça, que assinalavam os cursos d'água e as áreas de despejo ou sacrifício como seu destino. Neste período, surgem também as primeiras sugestões do emprego do resíduo para a fertilização da própria lavoura da cana-de-açúcar e o desenvolvimento dos primeiros

esforços de investigação científica dos efeitos da aplicação da vinhaça ao solo.

Contribui para essa periodização a evidência proporcionada pelo fato de que, desde a criação do Instituto do Açúcar e do Álcool (IAA), em 1933, notas e artigos aparecidos em sua publicação mensal - a revista Brasil Açucareiro - já eram dedicados à discussão do problema das "caldas de destilaria". Desde os primeiros números dessa publicação, já se discutia a possibilidade da utilização da vinhaça como fertilizante, uma vez que eram observadas conseqüências nocivas de seu lançamento em cursos d'água (perda da qualidade da água para outros fins, redução da piscosidade, mal cheiro).

Plaza-Pinto (1999) comenta que aplicação da vinhaça na cultura da cana parece ter sido iniciada de forma acidental - impressão partilhada pelo Prof. Dr. Nadir Glória - prosseguindo empiricamente até o início dos anos 50, quando foram iniciados os trabalhos pioneiros de Almeida (*apud* Plaza-Pinto, 1999).

Os primeiros esforços efetivamente envidados no sentido inventariar as possibilidades de solução para o problema da destinação da vinhaça também datam da primeira metade do século XX. De acordo com o trabalho de 1984 de Rezende (*apud* Plaza-Pinto, 1999:73), datam da década de 40 os estudos desenvolvidos pela Comissão de Estudos de Caldas, criada em 1943 pela Secretaria de Agricultura, Indústria e Comércio do Estado de Pernambuco com este fim. Os resultados desses esforços foram organizados em um relatório que examinava algumas alternativas para tratamento ou aproveitamento da vinhaça, principalmente sobre as possibilidades de irrigação com vinhaça diluída. Nenhuma alternativa julgada eficiente ou economicamente viável foi identificada. A irrigação com vinhaça foi julgada insatisfatória porque, na forma como se apresentava à época, requeria diluição na proporção de 1:10, o que requeria enorme volume de água. O processo tornava-se por isso muito caro e, mesmo diluído, o resíduo provocava corrosão nos equipamentos, bombas e tubulações.

Mas foi no início dos anos 1950 que a preocupação com a destinação da vinhaça ganhou os contornos de um objeto de investigação científica no país, com o advento de vários estudos na área da agronomia. Durante o VIII Congresso Internacional das Indústrias Agrícolas, realizado na Bélgica em 1950, uma equipe de agrônomos brasileiros (Almeida *et alii*, *apud* Plaza-Pinto, 1999) apresentou um trabalho discutindo os efeitos da adição de vinhaça ao solo, lançando os fundamentos para outros trabalhos que viriam reforçar este procedimento e, conseqüentemente, a prática atual da agroindústria canavieira.

Antes de 1950, a vinhaça era considerada inadequada para a irrigação devido a sua elevada acidez. As experiências da equipe liderada por Almeida demonstraram que, ao contrário, a vinhaça era corretivo de acidez do solo, tendo efeitos positivos sobre suas características físicas e microbiológicas, constituindo-se assim num bom fertilizante. Além disso, os estudos comprovavam que a vinhaça contribuía para o aumento da produtividade agrícola por hectare.

A partir dos trabalhos de Almeida, a fertirrigação passou a ser recomendada como alternativa ao lançamento da vinhaça em cursos d'água e áreas de sacrifício, sendo sugerida a aplicação de 500 a 1000 m^3 de vinhaça por hectare. Esta recomendação se fundamentava na observação dos agrônomos sobre o grande favorecimento do desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar nessas condições.

Mais tarde, Glória, em seu trabalho de 1976 (*apud* Margulis, 1982), ponderava que as quantidades recomendadas pelos trabalhos de Almeida se revelariam contraproducentes pois levavam, ao longo do ciclo de vida da cana-de-açúcar, a uma maior sensibilidade das

plantas nos períodos de estiagem. A autor imputa a este efeito a não generalização da prática da fertirrigação à época, a despeito das recomendações agronômicas.

De acordo com Margulis (1982), ao lado dos trabalhos da década de 1950, o assunto do uso da vinhaça *in natura* como fertilizante não recebeu maior atenção, não tendo sido estudado de forma mais aprofundada em razão da escala de produção de álcool ser à época ainda pequena, sendo pequeno também seu potencial poluidor. Dessa forma, segundo o autor, as Usinas continuaram a desenvolver técnicas empíricas para o uso *in natura* da vinhaça como fertilizante. Entretanto, os cursos d'água mais próximos às destilarias e as áreas de sacrifício continuaram a ser os destinos privilegiados do resíduo.

Não seria possível, portanto, afirmar que a fertirrigação tenha experimentado algum grande aperfeiçoamento no período, uma vez que consistia na simples repetição de práticas anteriores. Embora tenha havido o desenvolvimento de conhecimentos científicos na área da agronomia nos anos 50, a aplicação da vinhaça ao solo tendia a se basear nos conhecimentos (empíricos) preexistentes. Em função dessas observações, argumentamos que este período - de 1933 a 1975 - corresponderia, nos termos de Dosi (1982), a uma etapa de desenvolvimento normal da tecnologia da aplicação da vinhaça *in natura* como fertilizante.

Entre 1975 e 1990, observam-se os maiores esforços no sentido de desenvolvimento de soluções tecnológicas para a destinação da vinhaça, de modo que podemos identificar - com o auxílio de alguns trabalhos de referência (particularmente o realizado em 1979 pela PROMON e o de Margulis, de 1982), de um levantamento bibliográfico sobre o tema e de uma série de entrevistas com especialistas - um verdadeiro feixe de possibilidades tecnológicas, em estágios diferenciados de desenvolvimento principalmente ao longo dos anos 80, para a solução do problema.

Como salienta Margulis (1982), o ProAlcool não foi precedido por um estágio de pesquisas com programas específicos e coordenados objetivando a otimização dos processos produtivos ou a minimização/aproveitamento dos resíduos. Foi depois de já estabelecidas as ambiciosas metas de aumento da produção de álcool (e de vinhaça), que diversos centros de pesquisa se voltaram ao estudo do problema. Assim, foi apenas quando a imensa quantidade de vinhaça (que passou a ser gerada com a expansão da produção de etanol após o ProAlcool) evidenciou as dimensões do problema de sua destinação, que foram mobilizados esforços no sentido de se desenvolver possibilidades tecnológicas para sua solução. Essas possibilidades incluíam: a aerobiose, a reciclagem do efluente na fermentação, a fertirrigação, a combustão, a produção de levedura, o uso na construção civil, na fabricação de ração animal e a digestão anaeróbia.

A aerobiose, a reciclagem na fermentação e a fertirrigação constituem soluções mais simples do ponto de vista tecnológico, já contavam com certo conhecimento por parte da agroindústria sucroalcooleira e encontravam, portanto, alguma difusão. É provável que a baixa sofisticação tecnológica desses processos tenha tornado possível sua utilização em escala "industrial" logo após os primeiros anos da implementação do ProAlcool.

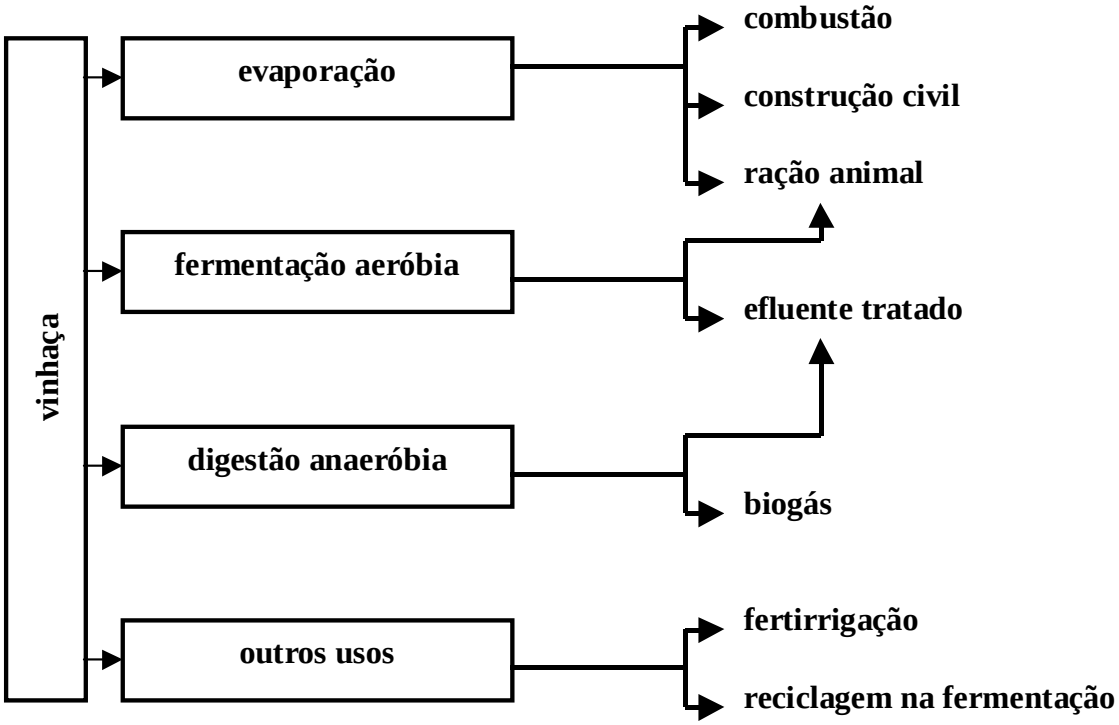
A combustão, a produção de levedura, o uso na construção civil e na fabricação de ração animal, bem como a digestão anaeróbia, encontravam-se em desenvolvimento, cada uma delas em graus diferenciados de amadurecimento e de intensidade de pesquisa. É possível que sofisticação tecnológica dessas soluções tenha representado um obstáculo a sua difusão dentro de um setor tradicionalmente pouco intensivo em tecnologia.

Cada uma dessas alternativas, suas principais vantagens e as áreas-problemas com

as quais se defrontavam os esforços de desenvolvimento tecnológico são apresentadas brevemente no próximo item. Mais adiante, no item que apresenta a mudança tecnológica, são descritas e analisadas as duas alternativas que ganharam mais força: a fertirrigação, em termos da difusão de sua adoção; e a digestão anaeróbia, pelo fato de ter mobilizado de competências e instituições e constituir uma "aposta" na emergência da biotecnologia como paradigma tecnológico.

O estudo das tecnologias que mencionamos permite que as classifiquemos em quatro grupos (ver figura abaixo), segundo o tipo de tratamento necessário: 1) tecnologias que requerem a concentração do resíduo por evaporação; 2) fermentação aeróbia; 3) digestão anaeróbia; e 4) outros usos para vinhaça não tratada.

Figura 1 - Grupos de opções tecnológicas para destinação da vinhaça



Fonte: Corazza (2001).

A descrição das trajetórias associadas a essas vias de desenvolvimento tecnológico acima mencionadas é realizada em Corazza (2001). A criação de novas competências e a mobilização de diferentes instituições por trás dessas vias ou trajetórias tecnológicas nos permite falar, para empregar a expressão de Dosi (1982), de um período de busca extraordinária, ou de uma fase pré-paradigmática, que detalharemos mais adiante, no item sobre a descrição da mudança tecnológica.

Essa afirmação deve ser qualificada, no entanto, uma vez que os esforços de pesquisa - que se concentraram no enfrentamento das áreas-problemas apresentadas abaixo - se concentraram no âmbito de instituições públicas de pesquisa, com um envolvimento pequeno, como veremos, da indústria sucroalcooleira.

2. Identificação de áreas-problemas

A maior área-problema que se coloca a todas as opções tecnológicas para a

destinação da vinhaça é representada pela necessidade de tratamento e/ou disposição final de uma enorme quantidade de resíduo.

Dentre as opções que requerem a evaporação prévia do efluente, a maior área-problema que se coloca ao desenvolvimento (e ao uso) dessas tecnologias se refere ao fato de que a evaporação é energo-intensiva, podendo inviabilizar economicamente os projetos que as utilizam.

Além dessa área-problema comum a esse grupo de opções tecnológicas, cada uma delas apresenta outras limitações.

A combustão da vinhaça consiste na concentração do efluente (por evaporação) e sua queima em caldeira. Embora tenha sido apresentada no início dos anos 80 como uma alternativa comercialmente viável por empresas que poderiam se tornar fornecedoras desta tecnologia, como a Alfa Laval e a HCG, Cortez *et alii* (1998a) ressaltam que a combustão da vinhaça não preencheu as expectativas. Outra área-problema que se coloca ao desenvolvimento (ou ao uso) dessa opção diz respeito ao problema da corrosão dos equipamentos. Vale notar que o balanço energético na destilaria não compensa, dado o estado atual dos conhecimentos neste particular, o consumo energético da evaporação. Caso sejam tenham prosseguimento, as pesquisas sobre esta alternativa devem buscar a melhoria do balanço energético e a redução do problema da corrosão.

Na construção civil, por sua vez, a vinhaça concentrada pode ser adicionada à massa de cimento. Há ainda estudos sobre a fabricação de materiais de construção, principalmente tijolos, a partir da vinhaça. Duas áreas-problemas suplementares se colocam ao desenvolvimento dessa tecnologia. Por um lado, as características higroscópicas da vinhaça fazem com que, em dias mais úmidos, os tijolos estejam sujeitos a ruir e, por outro lado, os custos de transporte do efluente para áreas distantes das usinas tendem a ser proibitivos. Mesmo considerando que estudos feitos na FEAGRI/Unicamp têm logrado obter uma melhor resistência do material obtido, é necessário dizer que, devido ao problema dos custos de transportes, a possibilidade de redução da descarga de vinhaça pelo emprego desta tecnologia é muito limitada.

A fabricação de ração animal a partir da vinhaça também é uma possibilidade estudada durante os anos 80. O principal nutriente da ração produzida a partir do efluente seria a levedura. O resíduo deve ser tratado para a redução do nível de potássio, podendo ser utilizado como ração de bovinos, suínos e aves. Embora reporte-se que a ração assim produzida não interfira no sabor ou odor do leite e seus derivados, que tenha boa aceitação pelos animais e que a taxa de conversão (ganho de peso com relação ao consumo de ração) seja adequada, as limitações a seu emprego são importantes. Uma área-problema aqui consiste na necessidade de se acrescentar à vinhaça sais de amônia e de magnésio para se obter o fermento seco.

A fermentação aeróbia possibilita, segundo descreve Plaza-Pinto (1999), a utilização da vinhaça como substrato microbiano para a produção de proteína unicelular (puc), a ser empregada como complemento na formulação de rações animais. A vantagem de se produzir proteína por processo fermentativo está na velocidade de desenvolvimento da biomassa, superior à velocidade de obtenção de fontes convencionais de proteína, através dos ciclos agrícolas. Além disso, essa produção independe de condições climatológicas e não está sujeita à sazonalidade. A principal desvantagem reside nos investimentos e custos operacionais elevados, devido à necessidade de instalar um complicado sistema de controle de processo, além de manter as condições assépticas.

A utilização de lagoas de oxidação para a redução da vinhaça é, também, baseada na

fermentação aeróbia combinada com a fermentação anaeróbia. A estabilização da matéria orgânica é levada a cabo por meio da ação de bactérias, fungos e algas, que fornecem a maior parte do oxigênio proveniente de sua própria atividade fotossintética. Com isso, é possível atingir a completa utilização das substâncias orgânicas oriundas da vinhaça, depois de um determinado tempo de retenção. O conteúdo do reservatório deve ser passado por um separador contínuo para coletar a biomassa com alto valor proteico e descarregar o efluente tratado.

A digestão anaeróbia da vinhaça, cujo desenvolvimento será tratado em maior detalhe no item sobre a descrição da mudança tecnológica, tem a seu favor o argumento da utilização econômica do resíduo, por meio da produção do biogás. Áreas-problemas para o desenvolvimento da digestão anaeróbia consistem no longo tempo de retenção e a granulação do lodo de microorganismos. A eliminação da DBO, embora grande, não dispensa o tratamento posterior, *end-of-pipe*.

Com relação à vinhaça não tratada, identificamos dois usos possíveis. Em primeiro lugar, sua reciclagem interna, na fermentação; em segundo lugar, a fertirrigação.

A reciclagem da vinhaça na fermentação é um expediente empregado para substituir a água como diluidor (razão 1:3 entre vinhaça e água). A área-problema que se coloca a um maior desenvolvimento desta tecnologia refere-se à existência de um limite técnico no aproveitamento da vinhaça para este fim impede que a redução da vinhaça, embora efetiva, possa ser muito significativa. De acordo com Cortez *et alii* (1998a), foi a empresa Alfa Laval que desenvolveu um processo para reciclagem da vinhaça, denominado Biostil, o qual emprega o efluente para diluição do caldo antes da fermentação, proporcionando economias de água e de energia.

A fertirrigação, que como vimos já era conhecida empiricamente há bastante tempo, teve no aumento da produção da vinhaça ocasionado pela implementação do ProAlcool e na proibição da descarga do resíduo nos cursos d'água no final dos anos 70, dois fortes estímulos a seu desenvolvimento. Na fertirrigação, "os técnicos... [encontraram] uma solução alternativa [à] disposição direta [do resíduo] nos rios" Cortez *et alii* (1992:129). O desenvolvimento da técnica enfrentava duas áreas-problemas maiores. Em primeiro lugar, a determinação de quantidades de aplicação que resultassem em benefícios do ponto de vista agrícola, pois a prática revelava que o uso da vinhaça podia comprometer a qualidade da cana. Em segundo lugar, a concepção de sistemas de aplicação que, por um lado, reduzissem os custos de transporte do resíduo até a lavoura e, por outro, evitasse os problemas da corrosão dos equipamentos. As vantagens da fertirrigação incluem especialmente o benefício da disposição de grandes volumes de vinhaça a baixo custo e a economia em insumos, ao diminuir os gastos com fertilizantes químicos. Atualmente, o efluente é largamente utilizada com o objetivo de fertilização do solo, retornando, portanto, ao canavial; porém, é importante antecipar que ainda hoje, uma parte dela é depositada em áreas de descarte, a níveis de acima de 400m^3/ha, com grande potencial poluente. Os benefícios e áreas-problemas dessa alternativa são detalhados mais adiante.

3. Descrição da mudança tecnológica

Continuando com a caracterização do ambiente de busca pelas soluções tecnológicas para o problema da destinação da vinhaça, cabe neste momento descrever mais detalhadamente dois processos que se desenvolveram de maneira importante a partir de 1975: aquele voltado ao desenvolvimento da fertirrigação e aquele voltado ao desenvolvimento da digestão anaeróbia.

Trataremos em primeiro lugar do processo de desenvolvimento da digestão anaeróbia e, a seguir, do processo de superação das dificuldades técnico-econômicas ou áreas-problemas da fertirrigação.

Primeiramente, é necessário observar que o direcionamento de esforços - seja em termos de recursos financeiros, seja na forma do empenho no desenvolvimento de competências técnico-científicas - na busca do tratamento microbiológico da vinhaça a partir da metade dos anos 70 deve ser compreendido à luz daquilo que pareciam ser, aos olhos dos observadores da época, sinais da possível emergência de um novo paradigma: o da biotecnologia. Na próxima seção, identificaremos as dimensões desse "paradigma", segundo as recomendações de Dosi (1982).

No momento, basta dizer que os esforços de desenvolvimento de competências técnico-científicas em biotecnologia nos anos 80 podem ser observados tanto em Universidades Públicas e Instituições Públicas de Pesquisa como em laboratórios industriais. Os principais grupos de pesquisa vinculados a universidades que contribuíram de algum modo para o desenvolvimento da digestão anaeróbia da vinhaça pertenciam às três universidades estaduais paulistas (USP, UNICAMP e UNESP) e à Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). As Instituições Públicas que realizavam P&D e que tiveram papel central no desenvolvimento da digestão anaeróbia da vinhaça foram, por sua vez, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), o Centro de Pesquisas da Petrobrás (CENPES), o Laboratório de Controle de Poluição de Águas (COPPE/UFRJ) e a Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental (Cetesb). Os principais laboratórios industriais envolvidos foram a Biometano (pequena empresa de biotecnologia), a Penedo Agroindustrial S/A (PAISA, que é uma destilaria de Penedo, AL) e a Usina São Martinho (Pradópolis, SP).

No setor sucroalcooleiro, de baixa intensidade tecnológica, é surpreendente o envolvimento da destilaria PAISA e da Usina São Martinho nas atividades de P&D da digestão anaeróbia. Se desde logo este envolvimento é explicado por características pessoais dos empresários dirigentes dessas empresas, não se pode deixar de lado suas expectativas quanto ao futuro da biotecnologia e quanto ao retorno financeiro de seus investimentos.

A expectativa era de que investimentos neste desenvolvimento poderiam gerar, particularmente no contexto pós primeira crise do petróleo (1973), resultados econômicos extremamente atrativos. Era natural que essa possibilidade fosse vista como um rico veio a ser explorado, pois à biotecnologia atribuía-se a capacidade de poder engendrar oportunidades de negócios excepcionalmente lucrativos.

Assim é que em 1975 o IPT começou a investir em capacitação técnico-científica em biotecnologia. Havia uma percepção de que os combustíveis "biológicos" podiam se tornar complementares aos combustíveis fósseis e de que a energia obtida por via biotecnológica, especificamente o biogás, era particularmente promissora. Os trabalhos se iniciaram com a produção de gás a partir de resíduos urbanos, lixo e lodo de esgoto, na Divisão de Química do IPT.

A pesquisa em digestão anaeróbia já era uma área em expansão em meados dos anos 70, com estudos empíricos na China e na Índia para uso rural, com a intenção de se produzir energia a partir de resíduos da agropecuária. O IPT a partir de 1975 e, mais tarde, os grupos da Cetesb e da COPPE (UFRJ) contribuíram para o avanço do conhecimento científico nesta área.

Rosenberg (1982) já observara o modo pelo qual a tecnologia pode modelar a

ciência em condições industriais, ou seja, pela determinação da agenda de pesquisas. Neste sentido, pode-se dizer que a perspectiva de desenvolvimento da biotecnologia associada à expectativa de resultados econômicos promissores do uso da via biotecnológica para geração de energia (biogás) certamente atuaram como fatores de peso na determinação da agenda de pesquisa científica e tecnológica das Instituições envolvidas no desenvolvimento da digestão anaeróbia.

Como em outras áreas que dependiam do conhecimento biotecnológico à época, alguns dos desafios tecnológicos que se colocavam ao desenvolvimento da digestão anaeróbia careciam de informações científicas ainda não disponíveis. A viabilização técnica do processo dependia, por exemplo, da estabilização do processo de digestão anaeróbia. Era preciso conhecer melhor e identificar as condições que contribuíam para um estado favorável de agregação (floculação) dos microorganismos, para a manutenção de uma relação ótima e estável entre as populações de bactérias envolvidas (acidogênicas e metanogênicas). Em outras palavras, era necessário fazer avançar o conhecimento científico para conseguir responder as questões tecnológicas.

Desse modo, engendrar as oportunidades tecnológicas para o desenvolvimento da trajetória tecnológica da digestão anaeróbia era tarefa que impunha necessidades urgentes de ampliação da base científica e proporcionar um acúmulo crítico de conhecimentos. Isso explica porque o grupo de especialistas do IPT dedicado ao estudo do tema, que fora montado inicialmente com dois pesquisadores, cresceu e deu origem ao Agrupamento de Biotecnologia da Divisão de Química, que incorporou o tratamento de uma diversidade de resíduos, dentre os quais a vinhaça e os efluentes de cervejaria.

A incorporação do tratamento da vinhaça como objeto das pesquisas desse grupo do IPT se deu entre os anos de 1980 e 1981. As principais motivações que levaram à pesquisa da digestão anaeróbia da vinhaça advinham da perspectiva de reduzir sua carga poluidora (pela diminuição da maior parte de suas demandas química e biológica de oxigênio), produzindo, ao mesmo tempo, grande quantidade de energia (sob a forma de biogás, rico em metano) e um corretivo orgânico de solo (biofertilizante, produzido como material residual do processo de digestão anaeróbia).

Este fato é coerente com o movimento geral da pesquisa biotecnológica à época. Ao discutir o desempenho da biotecnologia nos anos 80, Silveira (1993) observa que no início daquela década viveu-se um momento de euforia, associado à "perspectiva de substituição de produtos químicos por produtos verdes, ecologicamente seguros".

Nesta época, empresas e pesquisadores holandeses haviam desenvolvido reatores de fluxo ascendente (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket* - UASB), solucionando problemas de projeto e de bioquímica. Os pesquisadores do IPT julgavam que, com o auxílio desse tipo de reator, seria possível diminuir significativamente o tamanho dos equipamentos, viabilizando técnica e economicamente o tratamento da vinhaça e a produção de energia.

As principais áreas-problemas a serem resolvidas para o aperfeiçoamento da tecnologia da digestão anaeróbia da vinhaça consistiam em: reduzir o tempo de retenção (que em princípio chegava a ser de 20 ou mais dias e inviabilizava o uso industrial dos reatores) e dominar a granulação do lodo (as bactérias têm de apresentar um determinado nível de agregação para que a digestão seja eficiente). Para solucionar essas áreas-problemas, colocava-se o desafio de projetar e operar reatores modernos (UASB) alimentados por vinhaça.

O processo estudado, neste momento era o mesofílico, ou seja, um processo em que as reações se davam à temperatura de aproximadamente 35°C. Como a vinhaça sai da

destilaria com uma temperatura próxima a 100°C, havia a necessidade de resfriá-la antes de alimentar o reator. Na segunda metade dos anos 80, a Usina São Martinho decidiu investir no processo termofílico, em que a temperatura na qual as reações se processam é de cerca de 55°C. A maior vantagem de se trabalhar a essa temperatura é que, neste caso, a velocidade das reações é maior, o que significa que o tempo de retenção é diminuído, podendo então o reator ser ainda menor e levando a ganhos econômicos.

Havia, porém, algumas novas áreas-problemas a serem superadas: por um lado, o sistema termofílico é mais instável do que o mesofílico, devendo ser, portanto, melhor controlado e, por outro lado, como a usina opera de sete a oito meses por ano, no período de não operação as bactérias não podem ficar sem alimentação. Como no processo mesofílico a temperatura é próxima da do ambiente, a morte de bactérias não é muito relevante. No termofílico supunha-se, pelo que já se conhecia, que seria muito maior. O processo tinha, como se pode notar dificuldades técnicas inerentes, que foram enfrentadas na Usina. Esses problemas foram resolvidos, possibilitando a construção de pilotos e de um reator em escala industrial. Entretanto, a tecnologia não chegou a se difundir e o reator da São Martinho, ainda que continue em operação, trabalha apenas com 25% de sua capacidade.

A Usina Boa Vista, também do interior de São Paulo, que chegou a converter toda a sua frota de caminhões para operar com biogás como combustível, optou pela reconversão (ao diesel) no início dos anos 90, por questão de redução de custos de transporte.

Assim, a despeito dos progressos técnicos alcançados pela digestão anaeróbia da vinhaça, inclusive no que diz respeito ao *design* industrial do reator, o processo permanece inviável do ponto de vista econômico. A viabilidade econômica da digestão anaeróbia da vinhaça apenas se tornaria possível na eventualidade de alteração de alguns fatores que caracterizam o atual ambiente seletivo em que se insere a tecnologia: a) um maior rigor da regulamentação da fertirrigação, b) a valorização do biogás ou inserção das usinas na matriz energética brasileira e c) superação da crise do ProAlcool.

De qualquer maneira, a digestão anaeróbia foi uma linha de pesquisa que se desenvolveu bastante no Brasil, criou uma grande capacitação técnico-científica, angariou reconhecimento dos cientistas nacionais junto aos pares no cenário científico internacional (como se pode constatar pelas publicações em periódicos internacionais e pela hospedagem, no Brasil, de importantes eventos científicos relacionados ao tema).

Os desenvolvimentos experimentados pela fertirrigação - isto é, o avanço da trajetória tecnológica da fertirrigação - também oferecem motivos razoáveis para que os esforços de desenvolvimento da digestão anaeróbia não tenham resultado até o momento numa perspectiva efetiva para a destinação da vinhaça.

A constituição da vinhaça, rica em água e minerais, associada às dificuldades técnicas e econômicas envolvidas em seu tratamento aparecem como as razões arroladas com maior freqüência para justificar a adoção e a ampla difusão da prática vigente para o destino da vinhaça, a fertirrigação. Este é o nome pelo qual ficou conhecida a técnica amplamente adotada pela agroindústria canavieira nacional, notadamente a partir da década de 80 em substituição ao lançamento do resíduo em cursos d'água, a qual consiste na infiltração da vinhaça *in natura* (ou não tratada) no solo, com objetivo de fertilizá-lo e, ao mesmo tempo, de irrigar a cultura da cana-de-açúcar. A fertirrigação é empregada como expediente substituto ao uso da fertilização química, constituindo uma fonte de nutrientes minerais, principalmente de potássio.

Os esforços de aperfeiçoamento da fertirrigação como alternativa para a destinação

da vinhaça foram concentrados em duas direções: na determinação das quantidades do resíduo a serem aplicadas e na concepção de técnicas de aplicação.

De acordo com Glória, desde os primeiros estudos sobre os efeitos da vinhaça na cultura da cana, demonstrou-se que a vinhaça traz um aumento da produtividade agrícola por hectare. Entretanto, o pesquisador adverte que a aplicação de quantidade elevada do resíduo (cerca de 400 m^3/ha), conduz a efeitos negativos à qualidade da matéria-prima, principalmente, atraso na maturação, diminuição do teor da sacarose da cana, aumento de impurezas no caldo (teor de cinzas e níveis de potássio e amido). Portanto, a aplicação de vinhaça sem o conhecimento da dosagem adequada poderá promover um desequilíbrio de nutrientes, comprometer a qualidade da matéria-prima, além de não satisfazer totalmente às necessidades da cultura.

Com os trabalhos de Glória (*apud* Plaza-Pinto, 1999), evidenciou-se sérias limitações às quantidades de vinhaça a ser infiltrada no solo, sendo que a quantidade aplicada depende das características do solo e da composição da vinhaça.

Assim, muitos esforços foram empenhados nos anos 70 e 80 para o estudo da composição da vinhaça (evidenciou-se que ela varia de maneira importante segundo os processos produtivos e segundo as regiões produtoras, por exemplo), para a análise da reação do solo e de seus componentes a diferentes taxas de aplicação do resíduo e para a determinação das quantidades ideais a serem aplicadas em diferentes tipos de solo. Estes são estudos relevantes, de acordo com Margulis (1982) para a determinação da "equivalência" entre as quantidades aplicadas de vinhaça e as quantidades de fertilizante químico que é substituída por esta aplicação.

Glória (1984) ressalta o valor fertilizante da vinhaça, principalmente para solos arenosos, mas alerta para o risco da aplicação de grandes volumes por hectare. Os dados apresentados demonstram que até 50 m^3/ha não representam perigo de salinização do solo.

É fato que substituindo, pelo menos em parte, o uso de fertilizantes, tendo a fertilidade do solo mantida após anos de cultivo de cana-de-açúcar (a matéria orgânica é rapidamente mineralizada e os conteúdos de cálcio, potássio, nitrogênio e fósforo do solo aumentam) e observando aumentos de produtividade, a fertirrigação é realmente atraente e constitui hoje prática muito difundida. Neste aspecto, os autores consultados são unânimes. É muito difícil, entretanto, saber qual é a quantidade efetivamente aplicada de vinhaça na lavoura. Além de inexistirem dados ou estimativas oficiais, os autores consultados apresentam dados contrastantes. Plaza-Pinto (1999) comenta, por exemplo que a grande maioria das Usinas aplica quantidades que variam de 120 a 300 m^3/ha. Margulis (1982), por sua vez, fala em quantidades "típicas" que variam entre 35 e 180 m^3/ha.

Além dos temas de pesquisa indicados acima, outros estudos científicos foram conduzidos na área da agronomia confirmando o aumento da produtividade da safra submetida à fertirrigação deve, sem dúvida, ter fornecido um forte incentivo à difusão da prática.

Margulis (1982), ao fazer um estudo sobre as perspectivas tecnológicas para a destinação da vinhaça, mostra-se realmente entusiasmado com a fertirrigação, ressaltando que:

> *"os resultados evidenciam os efeitos do uso do vinhoto in natura como fertilizante sobre a produtividade, qualidade da matéria-prima, [...] longevidade das soqueiras, comparando-se geralmente com a adubação mineral usual"* (Margulis, 1982:37).

Quanto ao desenvolvimento de sistemas de aplicação da vinhaça ao solo, o objetivo das pesquisas eram a redução dos custos desta aplicação e a minimização dos problemas de

corrosão.

Foram criados muitos sistemas de aplicação, que podem ser agrupados em dois tipos básicos: equipamentos móveis e sistemas fixos. Os principais equipamentos móveis são os caminhões-tanque e os conjuntos VDV (veículo distribuidor de vinhaça). Os sistemas fixos compreendem sulcos e canais (os chamados "vinhotodutos") e os equipamentos de irrigação por aspersão.

Os caminhões-tanque transportam o resíduo diretamente (das destilarias) ou indiretamente (de tanques de armazenamento) para a lavoura. Os conjuntos VDV consistem simplesmente de um trator acoplado a um tanque para distribuição da vinhaça na lavoura. Sua vantagem com relação aos caminhões-tanque reside no fato de proporcionarem uma menor compactação do solo (possuem pneus de baixa pressão).

Com relação aos sistemas fixos, a aspersão é feita com canhão hidráulico acionado por moto-bomba, a qual aspira a vinhaça diretamente dos sulcos e canais construídos ao longo da lavoura. Neste caso, as bombas e tubulações são feitas de material que suporta temperaturas mais altas e a ação corrosiva da vinhaça. De acordo com Margulis (1982), as bombas são de aço inoxidável, enquanto que as tubulações são principalmente de aço carbono e de PVC rígido.

Margulis (1982) identificava a predominância dos equipamentos na aplicação da vinhaça. Plaza-Pinto (1999) afirma que a utilização de caminhões-tanque ainda predomina nos canaviais paulistas, atingindo 80% da área total irrigada. O autor comenta que este fato faz da aplicação da vinhaça o segundo fator responsável pelo consumo de diesel por caminhões (o primeiro fator é o transporte da cana).

Dentre esses sistemas, a determinação do mais eficiente e vantajoso economicamente depende, como salienta Margulis (1982) da relação entre uma série de variáveis, tais como: a topografia, a distância da área de aplicação à destilaria, o volume de resíduo a ser incorporado ao solo, o tipo de vinhaça em questão e a utilização ou não conjunta de outras águas residuárias.

No que diz respeito à topografia, quando as destilarias se localizam numa área de maior elevação com relação à lavoura, torna-se economicamente atraente a construção de "vinhotodutos", uma vez que a declividade do terreno torna possível a distribuição "por gravidade", dispensando bombas e caminhões. Quanto à distância entre a área de aplicação (na lavoura) e a destilaria, Margulis (1982) refere-se a uma distância máxima de 20 km para que a aplicação seja economicamente viável. O autor explica que esta é a distância usualmente citada na literatura. O volume do resíduo a ser aplicado refere-se à escala de produção. Destilarias de grande capacidade implicam a necessidade de aplicação de grandes volumes, envolvendo maiores distâncias para aplicação. Isto faz com que exista uma deseconomia de escala no custo da aplicação da vinhaça ao solo, relacionada de maneira proporcional à capacidade da destilaria. O tipo de vinhaça (sua composição) também tem influência sobre o tipo ideal de aplicação. Um resíduo mais concentrado requer taxas menores - e, portanto - áreas maiores de aplicação. Se as outras águas residuárias forem destinadas à fertirrigação, áreas maiores de aplicação serão necessárias. É claro que, em todos os casos, o tipo de solo é fator importante a ser considerado: solos arenosos e/ou mais pobres em nutrientes admitem taxas maiores de aplicação por hectare, tornando a fertirrigação menos custosa.

Observamos, então, que a ocorrência de sinergias técnicas (desenvolvimento dos sistemas de aplicação da vinhaça ao solo) e a contribuição de retornos econômicos (aumento da produtividade e redução de custos) representaram condições favoráveis ao

fortalecimento da trajetória tecnológica da fertirrigação.

Consideramos que à medida em que se fortalecia a trajetória, com um número maior de adesões à tecnologia, tornavam-se maiores os riscos dos investimentos em métodos mais complexos e mais caros para a solução do problema da destinação da vinhaça. Estariam mais reduzidos os "prêmios" para as apostas na alternativa biotecnológica da digestão anaeróbia da vinhaça.

Na interpretação de Cortez *et alii* (1992), as principais razões da ampla difusão (hoje, quase a totalidade das indústrias utiliza aproximadamente 60% da vinhaça produzida para fertirrigação) desta prática, são:

i. O baixo investimento inicial requerido (tanques de decantação, caminhões, bombas e dutos).
ii. O reduzido custo de manutenção (pouco pessoal, diesel e eletricidade gerada localmente).
iii. A rápida disposição da vinhaça no solo (sem necessidade de grandes reservatórios reguladores).
iv. Os ganhos compatíveis com o investimento (há lucros com a reciclagem do potássio no solo e o retorno do investimento é bastante rápido).
v. O "fechamento" do ciclo interno que envolve a parte agrícola e a industrial no mesmo setor, diminuindo a dependência de insumos externos (fertilizante).
vi. O não envolvimento de tecnologia complexa.
vii. O aumento da produtividade da safra e da produtividade na fabricação do açúcar.

Mesmo diante das vantagens proporcionadas pela adoção da fertirrigação, restam ainda dúvidas quanto à adequação da prática do ponto de vista da proteção dos recursos naturais, principalmente no que diz respeito a seus efeitos de longo prazo. Esses aspectos são discutidos mais adiante, no item sobre contribuições para ruptura ou estabilidade das trajetórias tecnológicas em estudo.

4. Caracterização do paradigma tecnológico envolvido nos processos de busca

Nesta seção, propomos uma identificação das dimensões que caracterizam o paradigma ao qual se relaciona o processo de busca empreendido no desenvolvimento da digestão anaeróbia.

Segundo Dosi (1982), as dimensões que caracterizam um paradigma são: a) as tarefas genéricas às quais o paradigma se aplica; b) as tecnologias de materiais que ele seleciona; c) as propriedades químicas e físicas que ele explora; e d) os *trade-offs* técnico-econômicos que ele focaliza.

Como já mencionamos anteriormente, o direcionamento de esforços para o desenvolvimento do tratamento microbiológico da vinhaça a partir da metade dos anos 70 pertence à crença na emergência do paradigma da biotecnologia.

Essa crença ou as expectativas otimistas sobre os impactos da biotecnologia foram sustentadas, de acordo com Silveira (1993), pelos processos de busca implementados por inúmeras empresas nos anos 80.

Esperava-se uma ubiqüidade muito grande da biotecnologia. Esperava-se sua aplicação a uma ampla gama de tarefas genéricas, sendo capaz de exercer fortes impactos sobre os mais diferentes mercados, num movimento de ampla restruturação dos mesmos.

As tarefas genéricas às quais se aplicaria o novo paradigma envolveriam, assim, setores tão distintos quanto: produtos terapêuticos humanos, sistemas de dignósticos humanos, agricultura, especialidades químicas e monitoramento ambiental. Estes são os

setores que aparecem no prognóstico de vendas de produtos biotecnológicos feitos para os mercados norte-americanos em 1991 por Quintero (citado por Silveira, 1993).

Segundo trabalho de 1993 de Kageyama *et alii* (*apud* Aguiar *et alii*, 1994), as aplicações da biotecnologia à agricultura referiam-se: à microbiologia agrícola (visando à produção de microorganismos de uso agrícola), à cultura de células e tecidos, ao dignóstico de doenças e presença de pesticidas em alimentos (por meio da análise de anticorpos monoclonais e pobres em ácidos nucléicos), à engenharia genética de plantas (para introdução de novas características) e às técnicas de mapeamento genético (para os programas de melhoramento).

As tecnologias materiais selecionadas pelo pretendido paradigma da biotecnologia envolvem o emprego e a manipulação de organismos vivos, seu material genético ou características de seus processos biológicos, para elaboração ou modificação de produtos e processos.

As tecnologias materiais envolvidas pela biotecnologia moderna podem ser agrupadas em dois níveis, a partir do trabalho coordenado por Silveira em 1990 (*apud* Aguiar *et alii*, 1994):

- Intermediário: Que envolve, entre outras, as seguintes tecnologias materiais: culturas de tecidos vegetal e animal, técnicas mais elaboradas de fermentações para a produção de enzimas, ácidos orgânicos, aminoácidos, edulcorantes etc.; transferência de embriões; produção industrial de organismos para controle biológico e fixação de nitrogênio atmosférico.
- Sofisticado: Que envolve basicamente técnicas do DNA recombinante para microorganismos, principalmente na área de biofármacos.

A necessidades de elevado controle dos processos fermentativos (incluindo aí a granulação dos microorganismos, o controle das diferentes populações de bactérias envolvidas - acidogênicas e metanogênicas -, as condições de físico-químicas dentro do biodigestor etc.) e de aperfeiçoamentos nos equipamentos (para permitir o melhor aproveitamento do resíduo, maximizando a produção do biogás e minimizando a carga poluente ao final do processo) colocam, em nossa opinião, a digestão anaeróbia nos processos biotecnológicos intermediários.

As propriedades químicas e físicas exploradas pelo paradigma da biotecnologia seriam aquelas próprias aos processos biológicos, como as propriedades de biocatálise (como no caso das atividades de enzimas e outros biocatalisadores), de fermentação (processos fermentativos, em que está incluída a digestão anaeróbia), de crescimento biológico ou divisão celular (nas culturas de tecidos animal e vegetal, por exemplo) e na combinação genética (nos processos de engenharia genética).

Quanto aos *trade-offs* técnico-econômicos nos quais o paradigma da biotecnologia tenderia a focalizar, Wilkinson (1993) refere-se ao *trade-off* fundamental representado pela capacidade de lançar produtos (de alto valor agregado), segmentando os mercados de *commodities* e incorporando o preço-prêmio, ou seja: o desafio de "negociar" no mercado o elevado valor agregado de produtos (ou processos) extremamente intensivos em P&D.

O efeito ubíquo que se esperava da biotecnologia foi qualificado por Silveira (1993). O autor argumenta que:

> *"as dificuldades tecnológicas, os elementos regulatórios envolvidos no lançamento de produtos e principalmente a incerteza quanto ao retorno dos gastos de pesquisa têm atuado no sentido de selecionar produtos de alto valor adicionado e que, na*

maior parte, não competem com as linhas estabelecidas pelas empresas" (Silveira, 1993).

Isso não quer dizer que as firmas que incorporaram técnicas e materiais biotecnológicos e que exploraram as referidas propriedades do "paradigma" tenham direcionado seus esforços de P&D para segmentos de maior valor agregado. O que se sucede, de acordo com o autor, é uma dificuldade efetiva das "biotecnologias em competir com produtos" que já foram beneficiados por um processo de aprendizado longo e cumulativo.

Isso explica em parte o fato de não se ter verificado a propalada capacidade da biotecnologia em reestruturar mercados.

Indicamos, seguindo uma elaboração encontrada em Silveira (1993), algumas razões para os modestos impactos verificados pela biotecnologia, as quais também contribuem para explicar porque esses impactos não são tão ubíquos quanto se esperava inicialmente:

a) dificuldades no domínio tecnológico;
b) cumulatividade nas trajetórias de produtos (e processos) padronizados, os quais os produtos (e processos) biotecnológicos supostamente deveriam substituir;
c) persistência no estado pré-paradigmático, com rotas alternativas com idênticas probabilidades *ex-ante* de sucesso.

Essas são limitações que devem ter contribuído para a redução das perspectivas de maiores desenvolvimentos pela digestão anaeróbia, trajetória tecnológica que se produzia pela exploração das possibilidades que deveriam estar sendo abertas pelo avanço do paradigma da biotecnologia.

Não causam estranheza essas observações, uma vez que já foi observado que a biotecnologia obteve sucesso justamente nos casos em que proporcionou uma maior continuidade das trajetórias tecnológicas estabelecidas, ao invés da ruptura tecnológica dos mercados tradicionais. Salles-Filho (1993) comenta que os investimentos em agrobiotecnologia têm se mostrado relacionados não apenas à entrada em novos mercados, mas também à renovação de mercados em decadência. É exatamente neste sentido que se colocam os investimentos no desenvolvimento de variedades resistentes a herbicidas, as quais proporcionam a recuperação da venda de agroquímicos e possibilitam às empresas atuantes no setor a capacitação necessária para que se engajem em uma nova trajetória.

O estado pré-paradigmático vivenciado então pela biotecnologia - numa fase de transição, como a chamou Salles-Filho (1993) - parece aliar-se aos desenvolvimentos "menores" dentro da trajetória da fertirrigação, à inexistência de um maior rigor da regulamentação desta prática, à falta da valorização do biogás ou da inserção das usinas na matriz energética brasileira e, finalmente, à não superação da crise do ProAlcool como elementos explicativos da inviabilidade, nos anos 80 (e pelo menos até o início dos anos 2000), da continuidade da trajetória tecnológica da digestão anaeróbia.

Discussão

Ao longo dos anos 70 e 80, diversas opções tecnológicas para a destinação da vinhaça eram objeto de pesquisa de diversas instituições, incluindo aí Universidades públicas, Instituições Públicas de Pesquisa, empresas privadas e as próprias usinas. Particularmente promissora parecia a alternativa da digestão anaeróbia, que oferecia a perspectiva não apenas da redução drástica da carga poluidora do resíduo, mas abria a possibilidade de geração do biogás, numa promessa de trajetória tecnológica alimentada pela crença no advento do paradigma da biotecnologia. Em meados dos anos 80, entretanto,

a fertirrigação se colocava como a alternativa amplamente difundida, associando à solução do problema da destinação da vinhaça a virtude da substituição de insumos químicos para a fertilização da própria lavoura da cana-de-açúcar. Embora tenha havido grande formação de competências técnico-científicas e mesmo a articulação de uma diversidade notável de agentes, a linha de pesquisa da digestão anaeróbia - que havia acalentado tantas esperanças quanto ao fortalecimento do paradigma - foi desmobilizada.

O que terá faltado, em termos de políticas públicas, para a continuidade da trajetória da biodigestão?

Talvez tenha faltado uma política (qualquer que pudesse ter sido ela). Afinal, é flagrante a omissão do poder público com relação ao problema do que fazer da vinhaça dado o tremendo esforço de ampliação da produção de etanol representado pelo ProAlcool. É lícito supor que o prosseguimento da trajetória da biodigestão teria tido mais chance caso tivesse se constituído (a exemplo do que ocorreu em torno da fertirrigação) a constituição de um sistema tecnológico (envolvendo, por exemplo, o estímulo ao uso de carros movidos a biogás, o envolvimento da indústria automobilística e a construção de uma infra-estrutura de distribuição).

Mas é preciso compreender essa "estória" como portadora de uma lição sobre possibilidades futuras para o próprio desenvolvimento da indústria sucroalcooleira: sua inclusão numa matriz energética regional (como o que já vem ocorrendo com o aproveitamento energético do bagaço), sua maior integração como setor de transportes... Mas essa ainda é "outra estória", que talvez um dia ainda venha a ser contada.

Bibliografia

AGUIAR, A. R. C; BASTOS-FILHO, G. S.; KIYUNA, I. (1994). Propriedade intelectual e biotecnologia. *Informações Econômicas*, 24(10):09-41.

BECKEL, J. (1995). Innovación en tecnologías y sistemas de gestión ambientales en empresas líderes latinoamericanas: experiencias empresariales en materia de desarrollo, aplicación y difusión de tecnologías ambientalmente racionales. *Estudios e Informes de la CEPAL*. Santiago de Chile: Publicaciones de las Naciones Unidas.

CHEN, J. C. P. (1993). Byproducts of cane sugar processing. Cap. 10, pp 375-431. In: Chen, J. C. P.; Chou, C. C. (Ed.) *Cane sugar handbook*: a manual for cane sugar manufactures and their chemists. 12 ed. New York, John Wiley & Sons.

CHEN, J. C. P.; GREEN, J. (1993). Environmental quality assurances. Cap. 31, pp 740-776. In: Chen, J. C. P.; Chou, C. C. (Ed.) *Cane sugar handbook*: a manual for cane sugar manufactures and their chemists. 12 ed. New York: John Wiley & Sons.

CORAZZA, R. I.; SALLES-FILHO, S. (2000). Opções Produtivas mais Limpas: perspectiva evolucionista. *Anais do XXI Simpósio de Gestão da Inovação Tecnológica - Pacto 2000*. São Paulo: USP.

CORAZZA, R. I.; SALLES-FILHO, S. (2000). Soluções tecnológicas para o problema da vinhaça nos anos 80: um estudo sobre a formação de uma trajetória tecnológica. In: Dagnino, R. *et alii* (Org.) *Jornadas Latino-Americanas de Estudos Sociais da Ciência e Tecnologia* - IV ESOCITE. Campinas, SP: Unicamp.

CORAZZA, R. I. (2001). *Políticas públicas para tecnologias mais limpas*: uma análise das contribuições da economia do meio ambiente. Campinas: DPCT-IG/Unicamp (Tese de Doutorado).

CORTEZ, L. et *alii* (1992). Principais subprodutos da agroindústria canavieira e sua valorização. *Revista Brasileira de Energia*, 2(2):111-146.

CORTEZ, L. *et alii* (1998a). Biodigestion of vinasse in Brazil. *Int. Sugar Jnl.*, 100(1196):403-413.

CORTEZ, L. *et alii* (1998b). Environmental aspects of the alcohol program in Brazil. *1998 ASAE Annual International Meeting*, Orlando, Florida. July 11-16.

CRAVEIRO, A.M.; SOARES, H. M.; SCHMIDELL, W. (1986). Technical aspects and cost estimation for anaerobic systems treating vinasse and bewery/soft drink wastewaters. *Water Science and Technology*, 18(12):123-134.

CRAVEIRO, A.M. (1983). Produção de biogás a partir da vinhaça. *Saccharum*, 6(25):16-26.

CRAVEIRO, A.M. (1987). Anaerobic treatment of stillage using UASB reactors. In: GARCIA, R. (Ed.) *Simposio Latinoamericano*: biotecnologia para la producción de biomassa y tratamiento de desperdicios - BIOT 87. Memorias. Antígua, Guatemala, 18-20 febrero.

CRAVEIRO, A.M. *et alii* (1984). Digestão anaeróbia de vinhaça: estágio de desenvolvimento do processo. *III Congresso Brasileiro da Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil (STAB) e V Convenção da Associação Civil dos Técnicos Açucareiros da América Latina e das Caraíbas (ACTALAC).* São Paulo, 19-24 de agosto.

CRAVEIRO, A.M.; ROCHA, B. M.; SCHMIDELL, W. (1986). Anaerobic digestion of vinasse in high-rate reactors. In: *AQUATECH 86 Conference Papers.* Anaerobic treatment: a grown-up technology. Amsterdam, The Netherlands, 15-19 September.

DOSI, G. (1982). Technological paradigms and technological trajectories: a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. *Research Policy*, (11):147-162.

MARGULIS, S. (1982). Vinhoto: poluição hídrica, perspectivas de aproveitamento e interação com o modelo matemático de biomassa. *Texto para discussão de energia n. 10.* Rio de Janeiro: IPEA/INPES.

MICT (Ministério da Indústria, Comércio e Transportes) *Programa Nacional do Álcool – ProAlcool*. http://www.mict.gov.br/spb/deaa/deaindex.htm. (*Site* consultado em 03/1999).

MMA (Ministério do Meio Ambiente) (1999). http://www.mma.gov.br. (*Site* do consultado em 03/1999).

PLAZA PINTO, C. (1999). *Tecnologia da digestão anaeróbia da vinhaça e desenvolvimento sustentável.* Campinas: FEM/Unicamp. (Dissertação de Mestrado).

PROMON (1979). *Vinhoto: avaliação técnico-econômica de processos de aproveitamento.* Centro de Tecnologia PROMON.

ROSENBERG, N. (1982). *Inside the black box*: technology and economics. Cambridge: Cambridge University Press.

SALLES-FILHO, S. L. M. (1993). *A dinâmica tecnológica da agricultura*: perspectivas da biotecnologia. Campinas, Unicamp/IE. (Tese de Doutorado).

SICCT (Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia do Estado de São Paulo) (1985). *Subsídios preliminares para definição de uma política tecnológica em digestão anaeróbia.* Programa Estadual de Biotecnologia. Subprograma de Digestão Anaeróbia. São Paulo: Departamento de Ciência e Tecnologia.

SILVEIRA, J. M. F. J. (1993). O desenvolvimento da biotecnologia e sua repercussão nos padrões de concorrência industriais. *Indicadores Econômicos FEE*, 21(1):130-142.

SILVEIRA, J. M. F. J.; SALLES-FILHO, S. L. M. (1988). Desenvolvimento da

biotecnologia no Brasil. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, Brasília, 26(3):317-341.

SOUZA, M.E.; FUZARO, G.; POLEGATO, A.R. (1992). Thermophilic anaerobic digestion of vinasse in pilot plant UASB reactor**.** *Water Science and Technology*, 25(7):213-222.