



GABRIELA DA SILVA

**“Aprendizado do etanol celulósico no Brasil: o caso do projeto Dedini Hidrólise Rápida
(DHR)”**

CAMPINAS

2013

i



NÚMERO: 302/2013
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

GABRIELA DA SILVA

**“APRENDIZADO DO ETANOL CELULÓSICO NO BRASIL: O CASO DO PROJETO
DEDINI HIDRÓLISE RÁPIDA (DHR)”**

ORIENTADOR: PROF. DR. ANDRÉ TOSI FURTADO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA AO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS DA UNICAMP PARA
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRA EM POLÍTICA
CIÊNCIA E TECNOLÓGICA.

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA
DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELA ALUNA GABRIELA DA SILVA
ORIENTADA PELO PROF. DR. ANDRÉ TOSI FURTADO

CAMPINAS

2013

iii

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca do Instituto de Geociências
Cássia Raquel da Silva - CRB 8/5752

Si38a Silva, Gabriela da, 1989-
Aprendizado do etanol celulósico no Brasil : o caso do projeto Dedini Hidrólise Rápida (DHR) / Gabriela da Silva. – Campinas, SP : [s.n.], 2013.

Orientador: André Tosi Furtado.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências.

1. Hidrólise. 2. Políticas públicas. 3. Aprendizado. 4. Bioetanol. I. Furtado, André Tosi, 1954-. II. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Geociências. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Cellulosic ethanol learning in Brazil : the case of the project Dedini Fast Hydrolysis (DFH)

Palavras-chave em inglês:

Hydrolysis

Public policy

Learning

Bioethanol

Área de concentração: Política Científica e Tecnológica

Titulação: Mestra em Política Científica e Tecnológica

Banca examinadora:

André Tosi Furtado [Orientador]

Carlos Eduardo Vaz Rossell

Maria Beatriz Machado Bonacelli

Data de defesa: 26-08-2013

Programa de Pós-Graduação: Política Científica e Tecnológica



UNICAMP

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
POLÍTICA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA**

AUTORA: Gabriela da Silva

“Aprendizado do etanol celulósico no Brasil: o caso do projeto Dedini Hidrólise Rápida (DHR)”.

ORIENTADOR: Prof. Dr. André Tosi Furtado

Aprovada em: 26 / 08 / 2013

EXAMINADORES:

Prof. Dr. André Tosi Furtado

 Presidente

Profa. Dra. Maria Beatriz Machado Bonacelli



Dr. Carlos Eduardo Rossell



Campinas, 26 de agosto de 2013.

A minha avó Joana, meu maior exemplo de vida.

AGRADECIMENTOS

Nesse período que eu me dediquei ao mestrado desenvolvi grandes aprendizados e evolui, tanto profissionalmente, quanto pessoalmente. Apesar do curto período de duração do mestrado, o aumento de conhecimento foi grande e significativo. Nessa jornada eu tive o apoio de pessoas queridas, algumas já conhecidas e outras que vim a conhecer durante o mestrado, devido a minha estadia em Campinas.

Em primeiro lugar agradeço a Deus que me protegeu e me deu forças para realizar esse mestrado, preparando todas as coisas.

Agradeço a minha família, minha base, que com carinho, amor e palavras amigas me incentivaram a trilhar essa etapa. Agradeço aos meus pais, Pedro e Nilda, pelo apoio, amor e por acreditarem em mim; e pelos sacrifícios que fizeram para que eu chegasse até a pós-graduação. Dedico essa dissertação a minha querida avó Joana, minha amiga e parceira há 24 anos, meu exemplo de força e garra. Com seu amor incondicional e preocupação de mãe, foi a base em todos os momentos da minha vida, e minha força nessa jornada do mestrado. A minha irmã Heloísa, obrigada por “aguentar” todas as minhas reclamações, pelo apoio, por nossas conversas e pelas leituras aos capítulos da dissertação. Agradeço a todos meus familiares, cada um com sua importância, carinho e amor, em especial minhas tias e minha prima Camila, com a qual morei no primeiro semestre do mestrado.

Agradeço a todos os professores do Departamento de Política Científica e Tecnológica, os quais contribuíram para a minha formação, me tornando uma pesquisadora mais completa e multidisciplinar. Agradeço a secretária do departamento, Adriana, pelo seu apoio e ajuda sempre que eu precisei. Meu muito obrigado aos funcionários da secretaria da pós, os quais me ajudaram e tornaram essa jornada mais agradável, Gorete, Dilma, Valdir, Rafael e Valdirene. Val, muito obrigada por todo o apoio e ajuda, desde o dia da matrícula.

Agradeço a CAPES pelo financiamento da minha pesquisa e ter proporcionado que eu pesquisasse um tema de minha escolha e que tenho muito interesse.

Agradeço aos colegas de sala que fiz no mestrado, os quais contribuíram para meu crescimento enquanto pesquisadora e pessoa. E aos amigos que eu tive o prazer de conhecer morando em Campinas, os quais foram meu apoio durante o mestrado, pessoas que levarei no meu coração e

quero manter na minha vida, Kalinde, Stephanie, Izadora, Dante, Daiane e Letícia. Quero agradecer a Izadora por ter sido vizinha de quarto, companheira de academia e por ter vivido comigo as ansiedades e alegrias do mestrado, uma amiga querida. Sou muito grata a Kalinde pelo coração de ouro, por estar sempre disposta a ajudar e por ter sido parceira. Agradeço a Daine, por ter sido companheira e professora na academia, além de amiga.

As meninas da minha república, as quais trouxeram alegria e luz ao meu dia a dia: Sabrina, Gabriela, Maira, Beatriz, Naara, Ruth, Esther, Karol, Ana e Débora. Karol e Ana, obrigada pela parceria no nosso quarto e terem feito meus dias mais felizes. E Ana sua escrivaninha e cadeira foram fundamentais para eu terminar a dissertação, muito obrigada. Fiquei na casa apenas sete meses, mais vou levar o que aprendi com elas para a vida.

Meu muito obrigado aos amigos que fiz nas reuniões da igreja: Késia, Michele, Saulo, Marcos, Fabíola, Gediel, e tantos outros, com os quais aprendi muito. Levarei essas amizades comigo na vontade de mantê-las por muitos anos e com muito carinho.

Agradeço ao meu amigo Leandro, uma amizade que me surpreendeu, por sempre estar presente, seja por mensagem ou pessoalmente, acompanhou minha trajetória no mestrado. Agradeço também, ao meu amigo Alessandro, por escutar minhas reclamações e dividir histórias e idéias durante o mestrado.

Quero agradecer a minha amiga Giovanna, parceira desde a faculdade de economia e que esteve presente no meu dia a dia, sendo vizinha, colega de classe e amiga. Obrigada pela amizade, pelas conversas, pelas leituras atentas aos meus capítulos e toda a ajuda durante o mestrado, e pela sua parceria no congresso internacional em Medellín, Colômbia. Que a nossa parceria e amizade perdure por muitos e muitos anos.

Meu muito obrigada ao Celso, meu grande amigo, que esteve bem presente no meu último semestre do mestrado, lendo os capítulos, introdução e até a conclusão. Obrigada pelas conversas sinceras e por acreditar em mim, quero sua amizade constante na minha vida.

Aos meus amigos de sempre, que estudaram comigo desde o colégio, Bruna, Guilherme e Mariana, quero agradecer muito, por dividirem uma vida comigo. Estiveram sempre ao meu lado, apesar da distância física se fizeram presentes, dividiram alegrias, conquistas e amenizaram as

frustrações. Estas pessoas são muito queridas por mim, vocês são um exemplo de amizade sincera, para sempre.

Ao meu namorado e melhor amigo Guilherme, quero agradecer pelo suporte e por ter sido parte do que me faz forte há anos, mas principalmente pela constância em minha reta final do mestrado. Obrigada pela leitura atenta ao meu capítulo um e por nossas conversas diárias, grande parte relacionadas a dissertação (risos). Muito obrigada por tornar a fase final mais leve e mais feliz.

Ao meu orientador, prof. Dr. André, só tenho o que agradecer. Um exemplo de professor e de pessoa. Sou muito grata pela sua orientação, paciência e atenção. Também lhe agradeço por ter proporcionado a oportunidade de eu trabalhar na pesquisa “Metodologia de Avaliação de Projetos de P&D do Setor Elétrico”, encomendada pela CHESF. Obrigada aos pesquisadores participantes desse projeto, Cássio e Edmundo pela ajuda e pelos ensinamentos.

Quero agradecer a professora Maria Beatriz Machado Bonacelli por ter participado da minha banca de qualificação e defesa, pela sua leitura atenta, comentários e sugestões inteligentes, os quais contribuíram no avanço do meu trabalho, além disso, pela sua disposição em colaborar. Sou muito grata ao pesquisador Carlos Eduardo Vaz Rossell pela participação ativa na minha banca de qualificação e de defesa e por ter sido um dos meus entrevistados. Sua participação foi fundamental para a elaboração dessa dissertação. Através dos seus comentários e críticas na minha banca pude avançar e aprofundei minhas análises desse estudo de caso.

Agradeço também, aos meus entrevistados, José Luiz Olivério e Paulo Soares pela colaboração e disposição em participar das entrevistas.

Enfim, sou muito grata a todos que participaram dessa etapa da minha vida e contribuíram, direta ou indiretamente, para elaboração dessa dissertação. Muito obrigada.



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**APRENDIZADO DO ETANOL CELULÓSICO NO BRASIL: O CASO DO
PROJETO DEDINI HIDRÓLISE RÁPIDA (DHR)**

RESUMO

Dissertação de Mestrado

Gabriela da Silva

Devido à questão da dependência das energias de fontes fósseis, intensificou-se a corrida tecnológica para a produção de combustíveis alternativos renováveis no mundo inteiro. Assim, faz-se necessário que o Brasil entre nessa corrida para não perder essa janela de oportunidade e continuar no estado-da-arte da produção do bioetanol. Dentro dessa corrida tecnológica pelas tecnologias denominadas de segunda geração, a hidrólise se apresenta como a mais viável, no curto e médio prazo, para tornar-se o processo de produção dominante de etanol combustível para automóveis. O bioetanol combustível a partir da cana-de-açúcar é um produto importante para o Brasil e as políticas públicas estiveram presentes em sua promoção desde o início do século XX. Desde os anos 30, ele é comercializado como combustível no país, mas foi com o Proálcool e por meio de políticas públicas envolvidas com a criação de um mercado para esse biocombustível que esse combustível se consolidou na matriz energética. Este estudo tem como objetivo contextualizar as iniciativas que levaram ao desenvolvimento do etanol celulósico no Brasil. Para tanto foi realizado um estudo de caso do projeto Dedini Hidrólise Rápida (DHR). Analisou-se o aprendizado tecnológico e relacional da Dedini e de outras organizações do País diretamente e indiretamente envolvidas com o projeto. As conclusões da dissertação apontam que, através do projeto DHR, o Brasil teve um envolvimento muito maior com as tecnologias de etanol de segunda geração. Conclui-se que o uso do processo DHR como possibilidade de pré-tratamento do bagaço de cana-de-açúcar e o aprendizado tecnológico com o manuseio dessa matéria-prima, somado ao modelo de integração da segunda geração com a primeira, impulsionado por esse projeto, se configuram nos maiores aprendizados dessa iniciativa.

Palavras chave: hidrólise, política pública, aprendizado, bioetanol



**UNIVERSITY OF CAMPINAS
INSTITUTE OF GEOSCIENCES**

**CELLULOSIC ETHANOL LEARNING IN BRAZIL: THE CASE OF THE PROJECT
DEDINI FAST HYDROLYSIS (DFH)**

ABSTRACT

Master of degree

Gabriela da Silva

The issue of the dependence on fossil energy sources has intensified the technology race for the production of renewable alternative fuels worldwide. Thus, it is necessary that Brazil come into this race if the country don't want to miss this window of opportunity and continue in the state-of-the art of the production of bioethanol. Within the second-generation technological race, hydrolysis has the best conditions to become in the short and medium term the dominant production process of bioethanol. The sugar cane bio-ethanol fuel is an important product of the Brazilian economy and is present in its promotion public policies since the early twentieth century. Since the 1930, it is marketed as a fuel in the country, but it was with Proálcool and through public policies involved with the creation of a market for this biofuel that it became consolidated in the energy matrix. This dissertation aims to contextualize the initiatives that led to the development of cellulosic ethanol in Brazil. Therefore we conducted a case study of the Dedini Fast Hydrolysis project (DFH). The technological and relational learning of Dedini and other organizations of the country directly and indirectly involved with the Project was analysed. The conclusions of the dissertation show that Brazil had a much greater involvement with the second generation ethanol technology through the DFH project. This study concludes that the possible use of the DFH process as pre-treatment of sugarcane bagasse, and technological learning with handling this raw material, coupled with the integration model of the second generation with the first, driven by this project are the biggest learnings from this initiative.

Keyword: hydrolysis, public policy, learning, bioethanol

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 1- A TRAJETÓRIA DA PRODUÇÃO DE BIOETANOL E A BUSCA PELO NOVO PARADIGMA DA PRODUÇÃO: DA PRIMEIRA A SEGUNDA GERAÇÃO	7
1.1 – O atual processo produtivo do bioetanol de cana-de-açúcar: a primeira geração.....	8
1.2 – A segunda geração do processo produtivo para a produção de bioetanol	12
1.2.1 – Trajetória da hidrólise e o etanol celulósico	12
1.2.2 – O pré-tratamento e sua importância na hidrólise para a produção de etanol celulósico	18
1.2.3 - A hidrólise como processo produtivo alternativo para o bioetanol de cana-de-açúcar.....	21
CAPÍTULO 2 – A TRAJETÓRIA DO ETANOL CELULÓSICO NO BRASIL.....	27
2.1 A Política Pública para a consolidação de fontes de energia alternativa.....	28
2.2 – O Programa Nacional do Álcool (PROÁLCOOL) e a criação de um mercado para o bioetanol de cana-de-açúcar no Brasil	30
2.2.1 – Antecedentes do Programa Nacional do Álcool (Proálcool)	30
2.3 – O etanol celulósico no Brasil.	40
2.3.1 - Iniciativas de pesquisa e desenvolvimento para o bioetanol celulósico durante o Proálcool.....	40
2.3.2 – O panorama atual das pesquisas em etanol celulósico no Brasil.....	43
CAPÍTULO 3 - O APRENDIZADO DESENVOLVIDO PARA O BIOETANOL CELULÓSICO NO BRASIL COM O PROJETO DEDINI HIDRÓLISE RÁPIDA (DHR)	48
3.1– Dedini: o papel de uma empresa de Bens de Capital brasileira no processo de inovação em bioetanol	50
3.2 – Processo Dedini Hidrólise Rápida (DHR).....	55
3.3 - A história do processo.....	57
3.4 – <i>Scale-up</i> para a planta semi-industrial – Projeto PITE “Processo DHR - projeto, implantação e operação da unidade de desenvolvimento de processo (UDP)”	65
3.5. O Aprendizado obtido com o Projeto DHR.....	71
CONCLUSÕES.....	77
ANEXOS	85
ANEXO 1 - Roteiro das entrevistas	85
ANEXO 2 – PROJETO PITE	86
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87

LISTA DE FIGURAS, QUADROS, TABELAS

TABELAS

TABELA 1 - Diferenças entre Celulose e Hemicelulose.....	24
TABELA 2 - Comparação das diferentes opções para a hidrólise da celulose.....	25
TABELA 3 - Desempenho do Processo DHR em escala Piloto (20kg/h de bagaço).....	64
TABELA 4 - Dados operacionais – DHR (planta semi-industrial).....	69

GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - 10 maiores países e instituições aplicadores de patente no INPI.....	15
GRÁFICO 2 - Patentes relacionadas à produção de etanol lignocelulósico em termos de origem do aplicante.....	17

FIGURAS

FIGURA 1 - Produção de Etanol da primeira geração a partir da cana-de-açúcar.....	11
FIGURA 2 - Composição da parede celular da biomassa.....	18
FIGURA 3 - Etapas da produção do etanol celulósico.....	23
FIGURA 4 - Fluxograma do processo DHR.....	56
FIGURA 5 - O processo Dedini Hidrólise Rápida e suas etapas.....	57
FIGURA 6 – Unidade de desenvolvimento de processo (escala de demonstração).....	66
FIGURA 7 – Processo DHR em fases.....	70

INTRODUÇÃO

A crescente preocupação das sociedades contemporâneas com os impactos negativos causados pelas mudanças climáticas, somada à elevação no preço do petróleo e à questão da dependência das energias fósseis, têm intensificado a corrida tecnológica para a produção de combustíveis alternativos renováveis no mundo inteiro. Devido ao contexto atual, as tecnologias de conversão de segunda geração se sobressaem porque são novas rotas tecnológicas para a produção de energias alternativas que possibilitam um maior aproveitamento da energia solar acumulada na biomassa. Assim é possível utilizar matérias-primas menos nobres, podendo ser de qualquer tipo de biomassa, como o bagaço de cana-de-açúcar, a palha e o sabugo do milho, a grama, os resíduos sólidos orgânicos (lixo), entre outros (CGEE, 2009). Esse tipo de tecnologia permitiria a solução de questões críticas para a produção de energias alternativas, como a falta de terra para o plantio da biomassa e a competição com os alimentos. Dentre as tecnologias denominadas de segunda geração, a hidrólise se apresenta como a mais viável no curto e médio prazo. E pode tornar-se o processo de produção dominante de etanol combustível para automóveis pois é pesquisada e desenvolvida há vários anos.

No Brasil, houve alguns esforços em pesquisa e desenvolvimento (P&D) da hidrólise, impulsionados pelo contexto de crise energética mundial, devido aos dois choques do petróleo, e o desenvolvimento do Proálcool. Estas iniciativas geraram uma importante base de conhecimento, principalmente sobre o uso do bagaço de cana-de-açúcar como matéria-prima. Portanto, este estudo pretende contribuir em resgatar as iniciativas de desenvolvimento do etanol de segunda geração através da hidrólise, no sentido de identificar o possível aprendizado para o país. Para tanto, foi realizado um estudo de caso sobre o projeto Dedini Hidrólise Rápida (DHR). Este projeto se destaca pela longa duração do seu processo de desenvolvimento, que alcançou o estágio de uma planta semi-industrial. A empresa Dedini, ao desenvolver um processo de hidrólise ácida até a escala de demonstração, foi a pioneira no Brasil na introdução da tecnologia da hidrólise para a produção do etanol combustível. Isso, mais uma vez, reafirma a importância do caso escolhido para análise do aprendizado desenvolvido no país sobre o etanol celulósico. Ao longo dessa dissertação propõe-se a

responder algumas perguntas: (i) Houve aprendizado? (ii) Qual o tipo de aprendizado foi desenvolvido (iii) O que ficou para a Dedini e os parceiros envolvidos? E para o Brasil? (iv) O que levou à interrupção do desenvolvimento do DHR? (v) Qual foi o papel das políticas públicas nesse projeto? (vi) O Brasil avançou em ciência e tecnologia (C&T) para o etanol celulósico com essa iniciativa?

No Brasil, através da utilização do bagaço, a hidrólise possibilitaria aproveitar mais de um terço da energia contida na cana-de-açúcar, principal matéria-prima na produção do bioetanol brasileiro. E essa iniciativa da Dedini impulsionou o desenvolvimento da hidrólise a partir do bagaço da cana-de-açúcar no país, com a ideia de integrar a primeira com a segunda geração, ou seja, anexar a hidrólise a uma destilaria existente, já que os processos após a fermentação são iguais aos da primeira geração.

A fim de alcançar os objetivos propostos, a metodologia utilizada foi uma revisão bibliográfica, somado a um levantamento de artigos científicos e de jornais para compreender o projeto DHR. Além disso, por se tratar de um estudo de caso de um processo iniciado na década de 1980, foi realizada uma pesquisa de campo através de entrevistas com alguns atores envolvidos no processo, que são parte relevante da base de informações utilizadas para realizar o capítulo 3. Foram realizadas três entrevistas, uma com o vice - presidente de tecnologia da Dedini, José Luiz Olivério. A segunda entrevista foi realizada em conjunto, com o responsável pelos projetos tecnológicos da Dedini, Paulo Soares e com o engenheiro químico e pesquisador responsável e do DHR, Carlos Eduardo Vaz Rossell. As questões utilizadas nas entrevistas podem ser observadas no anexo 1.

As entrevistas foram fundamentais para a realização desse estudo de caso, uma vez que se encontrou pouco material bibliográfico acerca dessa história. As pessoas entrevistadas estiveram comprometidas com o desenvolvimento desse projeto, o que propiciou recuperar a história sob a ótica de quem esteve envolvido naquele momento. Essas entrevistas seguiram um roteiro, o qual abordava: (i) questões sobre o início do projeto, na década de 1980; (ii) o impacto do Proálcool sobre essa iniciativa; (iii) questões acerca do apoio do governo; (iv) questões sobre as parcerias realizadas e; (v) questões sobre os gargalos enfrentados e superações.

Dois conceitos são fundamentais para o entendimento do desenvolvimento do etanol combustível no Brasil, quais sejam: a política pública, uma vez que elas se revelam fundamentais para o início das atividades produtivas e tecnológicas para o biocombustível no Brasil; e o aprendizado nacional, pois o país teve a possibilidade de desenvolver uma tecnologia própria que se revelou fundamental no período, gerando conhecimento local, nas organizações envolvidas e pessoas envolvidas.

Nessa dissertação, o aprendizado tecnológico é elemento essencial pois grande parte das análises serão feitas à luz desse conceito. O processo de inovação envolve o desenvolvimento, uma atividade cumulativa que gera aprendizado. O aprendizado tecnológico consiste no conhecimento que fica para empresa, através de seus empenhos em pesquisa e desenvolvimento, que é um tipo de esforço tecnológico. Esse esforço implica em um processo de aprendizagem, o qual gera novos conhecimentos e pode ser tecnológico e relacional (FURTADO e FREITAS, 2004).

O aprendizado é desenvolvido por conhecimentos gerados internamente ou através dos conhecimentos externos absorvidos para aplicação em melhorias ou na produção de um novo produto (FURTADO e FREITAS, 2004). É importante, tanto na formulação do projeto, como no desenvolvimento e na produção até a inovação, sancionada pelo mercado (ROSENBERG, 1982; DOSI e MARENGO, 1994; FURTADO e FREITAS, 2004).

Os conhecimentos gerados em uma pesquisa e desenvolvimento podem ser úteis para criar novas tecnologias ou processos produtivos. E ainda que não se materialize em uma inovação, a P&D realizada aumenta o estoque de conhecimento da empresa.

O aprendizado envolve tentativa, erro e novas tentativas, até chegar à inovação. E isso é um processo natural da pesquisa e desenvolvimento, como descrito por Katz (2005, p. 424): “a busca, as tentativas e os erros, assim como as frequentes mudanças de rotinas são comuns no chão de fábrica”.

Além de ser um processo de experimentação, de tentativa e erro, o aprendizado pode ser também um processo de avaliação, uma vez que ele é um processo dinâmico, através do qual

podem ser identificados novos produtos ou novas formas de produção (KATZ, 2010). Assim, através da repetição, os processos podem ser melhorados.

O aprendizado também pode ser resultado do aperfeiçoamento e da adaptação de uma tecnologia importada. Geralmente acontece dessa maneira em países de industrialização recente. Apesar de se importar a tecnologia pronta, muitas vezes se faz necessário desenvolver aptidões ou melhoras para o uso da tecnologia, o que gera aprendizado (LALL, 2005). Esse tipo de aprendizado é denominado por Lall (1982) como *Learning by adapting*. Assim as empresas tem que se esforçar em adquirir um *know-how*, para poder realizar adaptações, melhoras, e introdução de novos processos (LALL, 1982).

Essa dissertação é apresentada em três capítulos: o primeiro corresponde à descrição técnica da rota tecnológica do processo de hidrólise, bem como à sua utilização na produção de biocombustíveis, a fim de fornecer as bases para o estudo de caso do projeto Dedini Hidrólise Rápida (DHR). Além disso, procura-se demonstrar a viabilidade desta tecnologia no Brasil, devido ao seu envolvimento histórico no país e a possibilidade técnica de integrar tal processo de segunda geração aos desenvolvimentos obtidos na primeira. O segundo capítulo procura elucidar a importância de uma política pública para o desenvolvimento de uma energia alternativa e mostrar como estas estiveram presentes na história da promoção e consolidação do bioetanol combustível da cana-de-açúcar. Esta importância das políticas públicas se revelou principalmente no programa energético do Proálcool, que envolveu um conjunto de ações para a criação de um mercado e consolidação desse biocombustível, que se caracterizou pela integração de diversos atores e do desenvolvimento de uma base de conhecimento relevante. O terceiro capítulo descreve e analisa a iniciativa da Dedini no desenvolvimento de uma tecnologia própria através da hidrólise a partir do bagaço da cana. Analisou-se a existência de aprendizado e sua cumulatividade para o Brasil, através da história do desenvolvimento do projeto em suas várias etapas, até alcançar o estágio de uma planta de demonstração.

Após essa introdução e os três capítulos, finalizou-se com as conclusões, que apontaram para o fato de que ainda existem barreiras técnico-econômicas para a implementação da produção do etanol celulósico. Porém, no Brasil existe a possibilidade da integração da segunda geração com a primeira, aproveitando a infraestrutura existente. Além disso,

utilizando o bagaço da cana-de-açúcar aproveitar-se-ia mais um terço da energia contida nessa matéria-prima.

No que tange as políticas públicas para essa tecnologia conclui-se que houve um primeiro momento com iniciativas para o etanol celulósico durante o Proálcool, porém nesse momento a política de ciência e tecnologia estava ausente. No segundo momento de iniciativas para esse combustível, percebe-se que o governo direcionou mais na promoção da política científica e tecnológica para o etanol celulósico a partir da cana-de-açúcar. Percebe-se isso através da criação do Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE) com foco na produção do etanol celulósico. E, depois, na criação do Plano BNDES-FINEP de Apoio à Inovação dos Setores Sucroenergético e Sucroquímico (PAISS) para financiar e incentivar novas formas de produção, como a hidrólise.

Essas iniciativas parecem ser uma promoção na produção de etanol celulósico por parte do governo, mas que ainda não se configuram em uma política coordenada. São iniciativas que tem o foco no etanol celulósico, a partir da hidrólise, ou a fim de promover novas formas de produção para o bioetanol. Com uma intenção tímida de avançar em ciência e tecnologia para o etanol de cana-de-açúcar.

Conclui-se, através do estudo de caso, que houve, com o projeto do DHR, aprendizado tecnológico e relacional. O primeiro decorre do aprendizado tecnológico realizado ao longo dos anos com o desenvolvimento desse projeto que evoluiu da escala de bancada até a planta de demonstração. Durante o decorrer desse projeto alguns aprendizados foram realizados, como o manuseio do bagaço enquanto matéria-prima na produção de etanol celulósico e o desenvolvimento do processo Dedini Hidrólise Rápida, o qual pode ser utilizado como pré-tratamento. No que tange ao aprendizado relacional, esse se deve ao envolvimento dos parceiros no desenvolvimento do projeto a fim de alcançar os *scale-ups*.

Revela-se nesse estudo que a política de C&T para o bioetanol ainda não é consistente e não há um plano coerente. Percebe-se um movimento na promoção da ciência e tecnologia para esse produto, com foco no etanol celulósico, mas foram apenas iniciativas. Isso deixa claro que há um movimento para a C&T, mas não um plano coordenado atrelado a um planejamento energético.

CAPÍTULO 1- A TRAJETÓRIA DA PRODUÇÃO DE BIOETANOL E A BUSCA PELO NOVO PARADIGMA DA PRODUÇÃO: DA PRIMEIRA A SEGUNDA GERAÇÃO

A hidrólise é uma das rotas tecnológicas com maior potencial para tornar-se a rota dominante para a produção de etanol¹ combustível em automóveis, além de possibilitar o aumento da produção e tornar viável o uso do etanol na indústria química, a denominada alcoolquímica. Esta tecnologia pertence ao grupo denominado de segunda geração: rotas tecnológicas para o aproveitamento da energia solar acumulada na biomassa. A relevância deste processo produtivo consiste na possibilidade de utilizar matérias-primas menos nobres, podendo ser de qualquer tipo de biomassa, como o bagaço de cana-de-açúcar, a palha e o sabugo do milho, a grama, os resíduos sólidos orgânicos (lixo), entre outros. Através da utilização do bagaço, este método de produção possibilita aproveitar 1/3 a mais da energia contida na cana (CGEE, 2009). Dentre as tecnologias denominadas de segunda geração, a hidrólise se apresenta como a mais viável no curto e médio prazo, pois é pesquisada e desenvolvida há vários anos. No Brasil houve esforços em pesquisa e desenvolvimento (P&D) sobre a hidrólise que geraram um aprendizado, principalmente no manuseio do bagaço de cana-de-açúcar como matéria-prima. Por estas razões, no Brasil, a hidrólise se apresenta como a alternativa mais próxima de “competir” com a tecnologia existente na produção do bioetanol.

Este capítulo descreve a rota tecnológica da hidrólise, com a intenção de contextualizar o estudo de caso da presente dissertação. A tecnologia de hidrólise tem mais de um século. No Brasil ela teve as primeiras iniciativas de pesquisa na década de 1970, influenciadas indiretamente pelo Programa Nacional do Álcool (Proálcool), que conseguiu tornar o etanol um combustível alternativo à gasolina.

¹Pela resolução da ANP nº 39, de 10 de dezembro de 2009, ficou obrigatória a substituição da denominação de etanol ao invés de álcool etílico, nos postos de abastecimento no Brasil. A intenção foi a de proporcionar mais clareza ao consumidor, tanto nacional como internacional, já que o combustível é denominado assim no mundo inteiro.

O bioetanol, produzido hoje a partir da cana-de-açúcar, é obtido por meio da fermentação do caldo - extraído da cana através da moagem - e/ou do melaço. No Brasil, o bioetanol é produzido dessa forma desde 1908.

Por fim, a rota da hidrólise representa um novo estágio do país em matéria de ciência, tecnologia e inovação do etanol de cana-de-açúcar, o qual é um produto nacional importante. No Brasil, existe a possibilidade de anexar a hidrólise em uma destilaria de bioetanol já existente, pois os processos de fermentação, destilação, retificação e desidratação são iguais aos da primeira geração. Assim, poder-se-ia aproveitar o conhecimento e *know-how* existentes no país sobre a produção do bioetanol de cana-de-açúcar e, dessa forma, integrar a segunda geração com a primeira.

Este capítulo está dividido em duas partes, além desta introdução. O item 1.1 apresenta o processo produtivo da primeira geração. O item seguinte enfoca a trajetória histórica da hidrólise e a posição alcançada pelo etanol celulósico. Esse item se subdivide em duas partes. A segunda geração e o pré-tratamento são apresentados no item 1.2.1 e no item 1.2.2 a hidrólise é apresentada, com a explicação do seu funcionamento, dos rendimentos e dos gargalos.

1.1 – O atual processo produtivo do bioetanol de cana-de-açúcar: a primeira geração

O foco nessa seção é o de mostrar como funciona a produção de bioetanol a partir da cana-de-açúcar, realizada em maior escala desde a década de 1970.

Essa tecnologia é denominada como sendo de primeira geração. Este processo produtivo aproveita apenas um terço da energia primária da cana-de-açúcar, contida na sacarose. Os dois terços de lignocelulose, presentes no bagaço e na palha, não são aproveitados no processo de fermentação.

O atual processo de produção do bioetanol, a primeira geração, é realizado através do caldo da cana-de-açúcar, extraído pelas moendas. Após isso, o caldo rico em açúcares (sacarose) é destinado para a produção de açúcar ou de etanol, como poder ser observado na figura 1.

Nesse processo, pode ser feito o *mix* da produção, no qual a usina decide o quanto de bioetanol e de açúcar será produzido.

O caldo tratado é fermentado, através dos fungos da espécie *Saccharomyces cerevisiae*, processo que dura de oito a doze horas. Essa etapa gera um vinho com uma concentração de 7% a 10% de álcool, o qual é centrifugado para que as leveduras sejam recuperadas. Em seguida à fermentação, ocorre a destilação na qual o bioetanol hidratado² é obtido. Para se conseguir o bioetanol anidro³, o etanol hidratado tem que ser desidratado, como pode ser observado na figura 1 (BNDES, 2008; CGEE, 2009; SEABRA, 2008).

O bagaço, após a moagem e extração do caldo, é destinado às caldeiras para a co-geração de energia, que consiste na produção simultânea de energia elétrica e térmica. A queima do bagaço gera vapor que aciona turbogeradores e moendas. Assim, aproveita-se o vapor para o processo industrial.

Nas usinas de açúcar e etanol, a tecnologia para a co-geração é a de ciclo a vapor. Nessa tecnologia, segundo Baccarin e Castilho (2002), o funcionamento ocorre do seguinte modo: há uma fornalha, onde o bagaço é queimado, e uma caldeira, onde é produzido o vapor; o jato de vapor extraído da caldeira gira uma turbina que, por estar interligada ao eixo de um gerador, faz com que este entre em movimento, gerando a energia elétrica.

Hoje, a co-geração de energia elétrica a partir do bagaço de cana-de-açúcar é um processo usual nas usinas do setor sucroalcooleiro, mas há cerca de vinte ou trinta anos ainda era incipiente (STRACHMAN, 1992). O bagaço, que era apenas um resíduo, tornou as usinas auto-suficientes em energia elétrica. Até 1980, as usinas do Estado de São Paulo possuíam caldeiras com pressões entre 12 bar e 22 bar e compravam 40% da energia elétrica consumida. Em 1990, com a paulatina substituição das caldeiras e turbinas antigas, a pressão média do vapor nessas usinas havia atingido 22 bar, com temperaturas de 300° C, suficientes para

² Etanol *hidratado*, utilizado “puro” em motores especificamente construídos para funcionar por meio da queima de álcool. Sua composição consiste de 93,8% de etanol e 6,2% de água (BNDES, 2008; FISPQ, 2010).

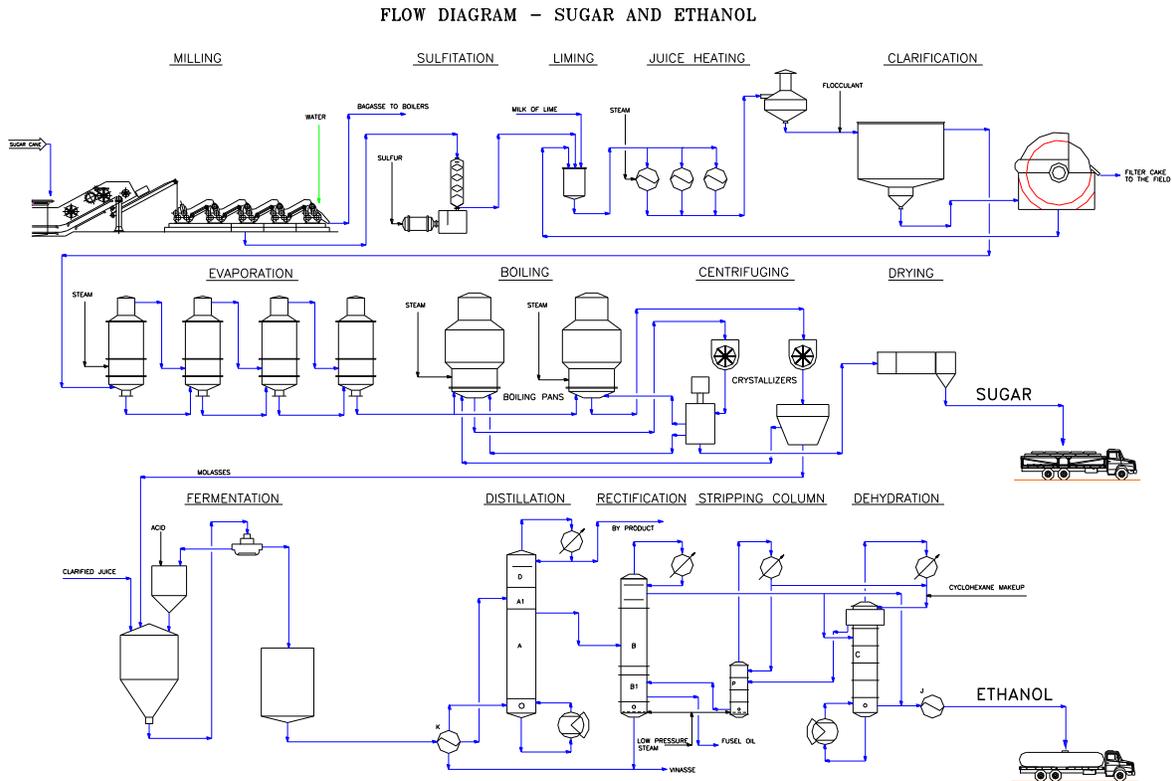
³ O *etanol anidro*, o qual é adicionado à gasolina como aditivo que melhora a octanagem dela e reduz as emissões de poluentes (como gás carbônico). Sua composição consiste de 99,3% de etanol e 0,7% de água (BNDES, 2008; FISPQ, 2012).

permitir a auto-suficiência no suprimento de energia elétrica e a produção de algum excedente para venda.

No processo produtivo atual, para se ter uma noção de rendimentos e custos de produção, 1 hectare de terra pode produzir até 6.000 l de etanol e o custo da produção é de US\$ 0,25 a US\$ 0,30/ L (SOCCOL *et al*, 2010).

A produção do bioetanol, antes do Proálcool, utilizava apenas o melaço - um resíduo da produção de açúcar, pois nem toda a sacarose é cristalizada. Assim, no final do processo de separação forma-se um mel final rico em açúcar. Esse mel, conhecido como “melaço”, contém um pouco de sacarose e alto teor de açúcares redutores, como a glicose e a frutose, resultantes da decomposição da sacarose. Contudo, a partir do Proálcool em 1975, o bioetanol passou a ser produzido principalmente a partir do caldo de cana.

Figura 1 – Produção de Etanol da primeira geração a partir da cana-de-açúcar



Fonte: Extraído relatório Copersucar (2005)

1.2 – A segunda geração do processo produtivo para a produção de bioetanol

As tecnologias de segunda geração são rotas tecnológicas para o aproveitamento da energia solar acumulada na biomassa. A segunda geração consiste em um provável novo paradigma de produção de energia a partir da biomassa. Algumas rotas que constituem as tecnologias de segunda geração são: gasificação, pirólise rápida, *Biomass to Liquid* (BTL) e a hidrólise. Esta última foi a tecnologia escolhida para ser analisada nessa dissertação, pois o estudo de caso trata de um processo de hidrólise ácida para obter etanol a partir do bagaço de cana-de-açúcar.

A hidrólise, com uso da biomassa lignocelulósica, é vista como importante no contexto atual, pois essa tecnologia é uma possibilidade de garantir a demanda futura com menor necessidade de expansão do uso da terra. Porém, para que essa tecnologia torne-se realidade são necessários altos investimentos, já que envolve tecnologias complexas (SCHLITTLER *et al*, 2012). No próximo subitem será explicada a história desta tecnologia, onde se originou e como ela se desenvolveu para a produção do bioetanol celulósico e como se encontram as publicações e pedidos de patentes sobre etanol celulósico, através de um estudo, o qual apresenta a atual situação da P&D da hidrólise, no mundo e no Brasil – que é um importante ator na produção de etanol.

1.2.1 – Trajetória da hidrólise e o etanol celulósico

Nesta seção apresenta-se a história da hidrólise. Após isso será feita uma rápida comparação, no cenário mundial. E procura-se, assim, responder: qual a importância do Brasil no cenário do etanol celulósico a partir da hidrólise?

A hidrólise possui duas rotas: a ácida e a enzimática. A hidrólise ácida existe há mais de um século e foi difundida antes da Segunda Guerra Mundial, inclusive com aplicações práticas em países como Itália, Estados Unidos da América, Japão e Suíça. O processo de hidrólise ácida com ácido diluído foi desenvolvido na Alemanha, em 1930, e o primeiro processo foi denominado “*The Scholler-Tornesch*”. Este foi estudado e modificado nos EUA e passou a ser intitulado processo “*Madison*”, foi introduzido na Suíça, Alemanha e Japão. Esse sistema

foi utilizado na Segunda Guerra Mundial; após isso seu uso permaneceu apenas na ex - União Soviética (URSS) e alguns países socialistas. Vale ressaltar que nesses países a hidrólise era utilizada para obter furfural⁴, utilizando a madeira como matéria-prima (RODRIGUES, 2007).

A hidrólise enzimática utiliza enzimas para hidrolisar a celulose, geralmente a enzima *celulase*. Estas são catalisadores que atuam em sinergia para a liberalização de açúcares. A hidrólise enzimática começou a ser estudada durante a Segunda Guerra Mundial, devido à deterioração de fardas, bolsas e outros equipamentos de algodão. Diante disso, nos Estados Unidos da América (EUA) foram iniciadas pesquisas lideradas pelo Dr. Elwyn T. Reese e sua equipe. Foram realizados experimentos no laboratório das forças armadas, em Natick, Massachussets. O Dr. Reese e sua equipe de pesquisa determinaram, em 1953, que as enzimas naturais nomeadas de “*celulases*”, são complexos de diversas proteínas de diferentes habilidades para a degradação (RODRIGUES, 2007).

Em 1956, ele reuniu seus conhecimentos com a pesquisadora Dra. Mary Mandels – do mesmo laboratório (Natick) - e a partir desse momento o foco passou a ser o melhoramento da produção das enzimas. A pesquisa avançou e no início do século XXI grandes investimentos para a produção de “*celulases*” foram realizados com foco na produção do etanol combustível (CASTRO e PEREIRA JR, 2009).

Existem várias pesquisas em nível mundial. Os EUA investem forte na pesquisa e desenvolvimento desse novo processo produtivo, com avanço do conhecimento científico através da publicação de artigos e patentes. O etanol celulósico é visto como estratégico para o país e desde o começo do século XXI, em pesquisa para a produção de “*celulases*” com finalidade de obter etanol celulósico combustível. Em 2000, o Departamento de Energia “*United States Department of Energy*” (USDOE) e o Laboratório Nacional de Energias Renováveis (*National Renewable Energy Laboratory*) do USDOE firmaram um acordo para produzir etanol a partir de resíduos agrícolas do milho, como o sabugo e a palha. Tal pesquisa propiciou uma redução de doze vezes no custo de enzimas em duas empresas importantes na área, a Genecor e Novozymes, em 2004 (CASTRO e PEREIRA JR, 2009).

⁴ Líquido amarelo claro, pode ser aplicado como: (i) solvente no refino de petróleo que será utilizado para a produção de óleos lubrificantes e (ii) na produção de inseticidas, germicidas, formicidas, entre outros (EMBRAPA, 2013).

Outro avanço interessante é o da empresa canadense IOGEN, a qual recebeu financiamento para a construção de uma planta pioneira demonstrativa de bioetanol. Em 2002, o grupo Royal Dutch/Shell investiu nessa empresa, adquiriu 22% de participação. Em seguida, em 2004, foi construída e inaugurada uma planta comercial, visando a produção do EcoEthanol⁵. Já em 2008, o grupo Shell passou a possuir 50% da participação nesse projeto, com novos investimentos (CASTRO e PEREIRA JR, 2009).

No contexto atual, o Brasil tem sido visto como um país com potencial para implementação de novas tecnologias, pois muitas empresas procuram proteger suas patentes aqui. Afinal, esse país possui uma produção importante e uma história com o etanol biocombustível. Atualmente, o Brasil se coloca como um país atrativo no quesito da hidrólise e da produção de biocombustíveis, pois gera muita biomassa e também possui um mercado consumidor potencial para enzimas; por isso, algumas companhias tem se estabelecido dentro do país, como a Novozymes e a Genencor (SCHLITTLER *et al*, 2012).

Schlittler *et al* (2012) procuraram identificar a importância do Brasil no contexto da hidrólise para a produção de etanol celulósico. Para tanto, o estudo fez um mapeamento das patentes para aplicação do etanol celulósico e assim identificar qual a maturidade dessa tecnologia no país.

Através do levantamento de patentes é possível identificar qual a direção do desenvolvimento tecnológico e da rota tecnológica. A metodologia desse artigo consiste no levantamento de patentes depositadas no Instituto Nacional de Propriedade Intelectual (INPI), o escritório de patentes brasileiro, até 2009. Essa investigação envolveu a aquisição de informações da nacionalidade do requerente, a natureza da patente, a data, as associações internacionais, bem como o título da tecnologia (SCHLITTLER *et al*, 2012).

Em relação às informações das patentes, a primeira patente registrada no INPI data do final da década de 1970 e foi de um método de pré-tratamento para a biomassa celulósica. Durante a década de 1980, houve uma atividade intensiva de proteção no Brasil, devido à influência do Programa Nacional do Alcool. No entanto, após essa década, os pedidos de patentes caíram no

⁵<http://www.iogen.ca>

país. Entre as 359 patentes resultantes do levantamento, 149 patentes relevantes com aplicação foram identificadas. As tecnologias de pré-tratamento foram as mais exploradas, em segundo lugar as de enzimas. O maior número de patentes depositadas no Brasil é dos EUA, mas a Suécia, Finlândia, Dinamarca, Alemanha, Japão, Holanda e o Brasil são importantes atores na produção de etanol (SCHLITTLER *et al*, 2012).

No geral, os EUA estão em primeiro lugar no *ranking* de países com patentes depositadas no INPI, com 38% da participação, em segundo lugar, o Brasil com 13% e a Alemanha, em terceiro, com 9% da participação (SCHLITTLER *et al*, 2012). Esses dados nos revelam que os EUA investem substancialmente em tecnologias para o etanol celulósico, e que sua participação nos depósitos do INPI é representativa, ou seja, vê o Brasil como potencial concorrente e mercado consumidor.

Nota-se, acerca dos dados, que os perfis das instituições depositantes são bem diferentes entre o Brasil e outros países. Geralmente, a maior parte dos depositantes são empresas, seguidas das instituições de pesquisa e desenvolvimento. No Brasil, pelo contrário, a maior parte dos depositantes são universidades, institutos de pesquisa ou pesquisadores individuais e, na grande maioria, são instituições de pesquisa suportadas por incentivos do governo. Para exemplificar, no Brasil, 84% das patentes relacionadas ao pré-tratamento provêm de universidades.

Em relação aos resultados, nesse estudo, seis instituições se destacam nos depósitos e aplicações: Andritz Inc (EUA), Midwest Research Operation (EUA), Purdue Research Institute (EUA), Metso Paper Sweden AB (SE), Novozymes (DK), Dedini Indústria de Base (BR) (SCHLITTLER *et al*, 2012). Esse dado revela um destaque do Brasil, através da patente da Dedini.

Em relação as patentes referentes à produção de enzimas, foram depositadas 120 de 1984 a 2009. Esses dados revelam que as instituições dos EUA são grandes depositantes no INPI, com 37 patentes e a Dinamarca também, com 32 patentes, de acordo com gráfico 1 - o qual trata sobre os dez maiores países que aplicam patentes no INPI e suas respectivas instituições. Esses dois países possuem empresas líderes na produção de enzimas, a Novozymes, dinamarquesa e a Genencor e Procter&Gamble, ambas americanas.

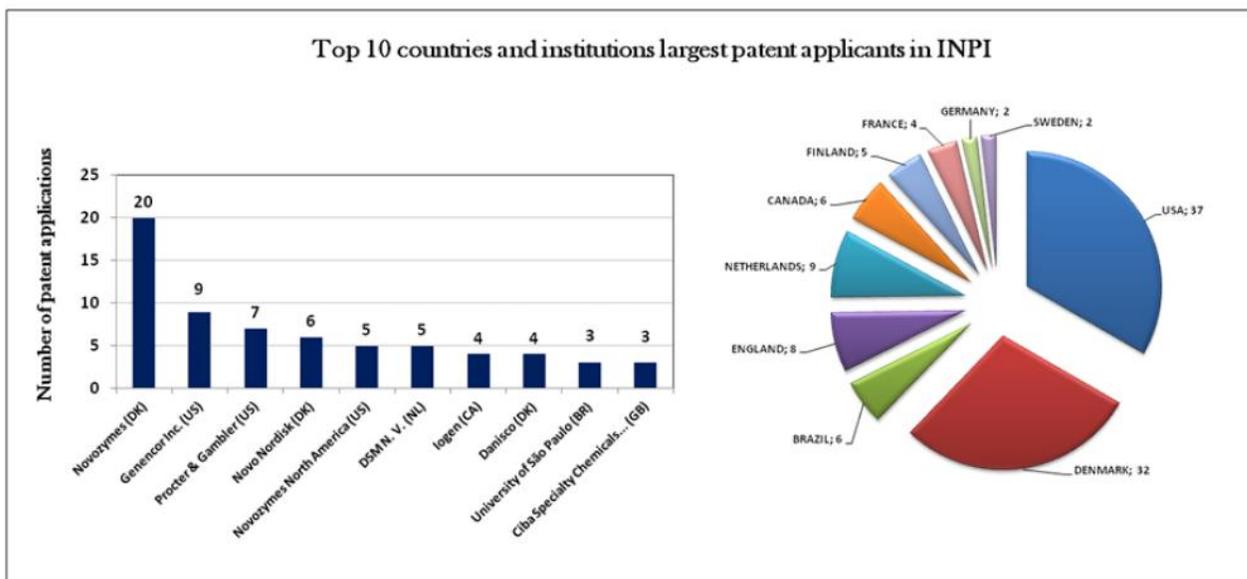


Gráfico 1 – 10 maiores países e instituições aplicadores de patente no INPI em enzimas para celulose (1979-2009)

Fonte: Extraído de Schlittler *et al* (2012), p. 87.

No caso das patentes relacionadas à “produção de etanol de biomassa lignocelulósica”, o primeiro documento é de 1979, resultado do Proálcool. Nesse assunto, o Brasil possui maior número de patentes, ultrapassando os EUA, como pode ser observado no gráfico 2.

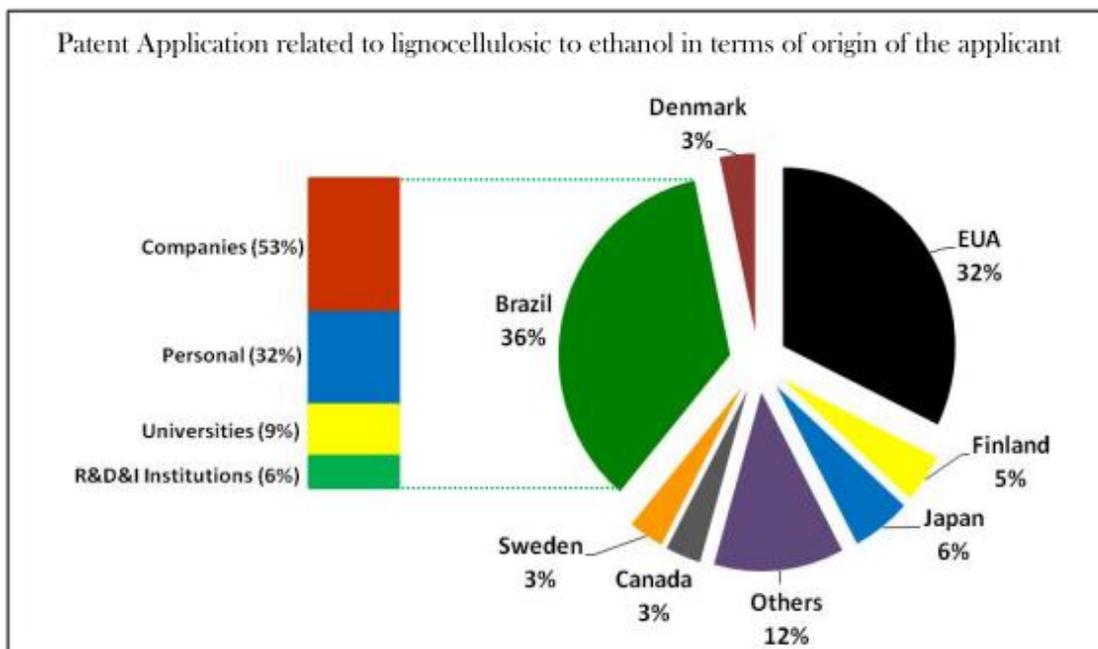


Gráfico 2 – Patentes relacionadas à produção de etanol lignocelulósico em termos de origem do aplicante no INPI (1979-2009)

Fonte: Extraído de Extraído de Schlittler et al (2012), p. 89.

Vale ressaltar que, no final da década de 1990, a relevância brasileira ganhou notoriedade no contexto internacional, desta forma outras empresas internacionais se mostram interessadas em proteger suas tecnologias no Brasil (INPI). Isso proporciona um material para observar e concluir que a situação do Brasil nessa nova tecnologia vem melhorando desde os anos 2000. Porém, ainda é preciso avançar em mais conhecimento científico e tecnológico, se o Brasil não quiser perder sua posição de grande produtor de bioetanol e continuar no estado-da-arte da produção, pois possui potencial para ser um grande produtor do etanol celulósico, principalmente a partir da cana-de-açúcar.

1.2.2 – O pré-tratamento e sua importância na hidrólise para a produção de etanol celulósico

A biomassa, no caso o bagaço da cana-de-açúcar, é composto de celulose, hemicelulose e lignina. A celulose compõe cerca de quarenta por cento da biomassa, formada por unidades de glicose que são unidas por um feixe de fibras. A hemicelulose representa vinte e cinco por cento do total da biomassa e é um polímero amorfo composto por vários açúcares. E por último, a lignina, que proporciona rigidez à estrutura da biomassa e impermeabilidade à água, representa cerca de vinte por cento (CARDOSO, 2008).

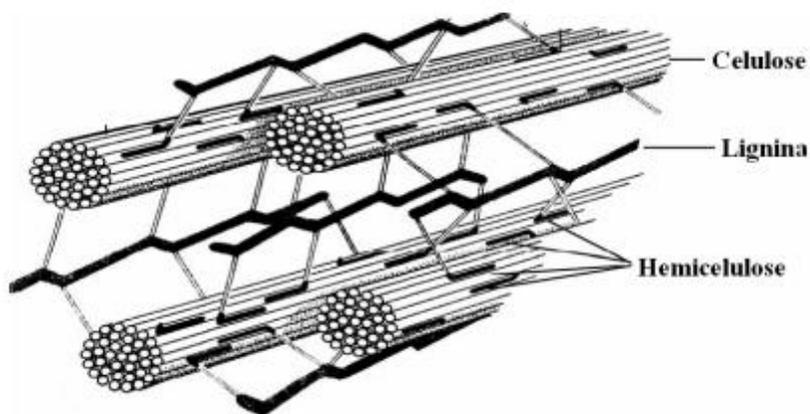


Figura 2: composição da parede celular da biomassa

Fonte: Extraído de SEABRA (2008), p. 86.

Dentre as tecnologias de segunda geração, existem as rotas termoquímica e a bioquímica. A conversão através do processo termoquímico utiliza calor para transformar a biomassa em componentes líquidos ou gasosos, os quais podem ser convertidos em combustíveis. A rota de conversão pelo processo bioquímico consiste em converter a celulose e hemicelulose, presentes no bagaço de cana-de-açúcar em açúcares. Para tanto, utiliza-se de grande quantidade de água e temperatura branda no processo, próxima a do ambiente. A hidrólise faz parte desta última rota (BNDES, 2008; CGEE, 2009; LEAL, 2010).

A hidrólise consiste na conversão da celulose e hemicelulose em açúcares, através de uma reação que pode ser catalisada por ácido diluído, ácido concentrado ou enzimas. Após isso, os açúcares são fermentados e seguem o mesmo processo da primeira geração (como visto no item 1.1) e assim se obtém o etanol. A hidrólise permitiria utilizar mais da energia primária presente na cana-de-açúcar que está contida no bagaço, convertendo celulose e hemicelulose em bioetanol.

O material lignocelulósico possui uma forte estrutura cristalina. Por isso, para que a hidrólise seja eficiente é necessária a separação das frações da biomassa através de um pré-tratamento, o qual quebra a estrutura do bagaço. Nessa primeira etapa a biomassa é tratada a fim de deixar a celulose acessível para a reação da hidrólise. O pré-tratamento é muito importante, podendo ser tão complexo quanto a reação de hidrólise, e possui um alto custo (CGEE, 2009).

Existem quatro tipos principais de pré-tratamento (como pode ser melhor observado no quadro 1): (i) método físico, neste a biomassa é convertida em um pó fino (moída) e assim há a quebra da estrutura que a prende à celulose; (ii) métodos químicos, no qual uma solução ácida com temperatura elevada quebra a estrutura; (iii) métodos físico-químicos, combinam processos químicos com bioquímicos e; (iv) métodos biológicos, utilizam fungos para realizar a separação das frações (GALBE, ZACCHI, 2010; CARDOSO, 2008).

O pré-tratamento da biomassa lignocelulósica impacta nos rendimentos da hidrólise, já que é importante para gerar bons rendimentos, pois remove a lignina e separa a hemicelulose deixando a celulose exposta à hidrólise, e assim proporciona as condições propícias para que esta ocorra (QUINTERO, 2010). Como as frações são separadas, a lignina é retirada, e tem sido um subproduto da hidrólise (CARDOSO, 2008). Para se ter um bom pré-tratamento, este deve conter algumas características importantes como:

- (i) Proporcionar condições para a formação de açúcar na hidrólise;
- (ii) Evitar a formação de componentes (substâncias) que possam inibir a hidrólise;
- (iii) Possuir um custo razoável, pois até o momento essa etapa possui custo elevado e isso se apresenta como uma barreira técnico-econômica.

Como foi dito anteriormente, a hidrólise envolve o pré-tratamento. Para obter um bom rendimento na hidrólise, todas as fases devem estar integradas umas com as outras; portanto o pré-tratamento deve ser incluso no processo global. No próximo subitem, serão apresentados a hidrólise, o funcionamento, os tipos, os rendimentos, os gargalos, etc. Enfim, o pré-tratamento se apresenta como uma das barreiras técnico-econômicas para o processo total da hidrólise (GALBE e ZACHI, 2010).

Quadro Resumo 1 – Tipos de pré-tratamento

Métodos físicos	Métodos químicos	Métodos físico-químicos	Métodos biológicos
Biomassa convertida em um pó fino (moída), o que leva à quebra da estrutura cristalina da celulose	Pré-tratamento ácido (hidrólise ácida): reação demora de 2 a 10 minutos e pode ser usado ácido sulfúrico, clorídrico ou nítrico (concentrados ou diluídos). Com temperatura entre 140° C e 200° C	Combinam processos físico com químicos, podem ser um pré-tratamento a vapor com adição de um catalisador (ácido ou alcalino).	Utilização de fungos para separação das frações.
	Hidrólise alcalina: uso de bases (hidróxidos de sódio ou cálcio), reação demora cerca de 2 minutos.	Explosão a vapor: biomassa em pedaços exposta à temperatura de 160° C -260°C e ocorre de segundos a minutos. Com vapor saturado a alta pressão e depois a pressão é rapidamente reduzida – leva a uma descompressão explosiva.	
	<i>Organasolv</i> : solvente orgânico (acetona, etanol) + catatalisador ácido (H ₂ SO ₄)		

Fonte: Elaboração própria a partir de CARDOSO, 2008.

1.2.3 - A hidrólise como processo produtivo alternativo para o bioetanol de cana-de-açúcar.

A hidrólise, tanto ácida quanto enzimática, é uma tecnologia que está dentro da rota de conversão bioquímica. Esta rota consiste em uma reação⁶ sob o material celulósico para obter os açúcares da fração celulósica e hemicelulósica: a glicose (C₆) e a xilose (C₅), ou seja, converter a celulose e a hemicelulose em açúcares. Após a hidrólise, os açúcares são fermentados e destilados resultando no etanol (LEAL, 2010), como pode ser observado na figura 3.

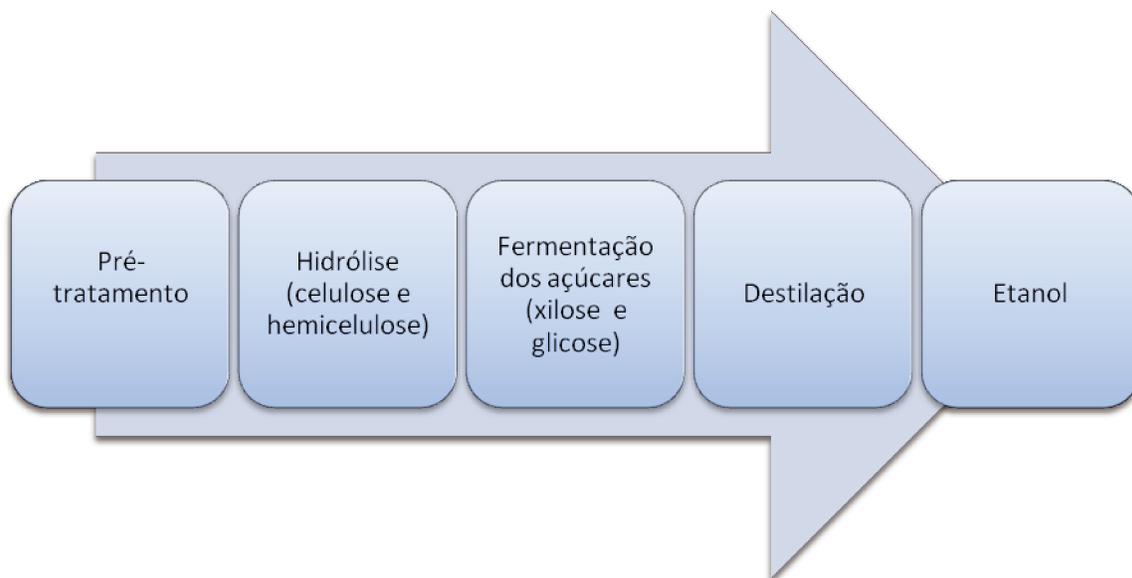


Figura 3- Etapas da produção do etanol celulósico.

Fonte: Elaboração própria a partir de BNDES (2008) e CGEE (2009).

⁶ $n\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$ (celulose) + $n\text{H}_2\text{O}$ (catalisador: ácido ou enzimas) = $n\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ (glicose)

A hidrólise ácida pode ser realizada com ácido concentrado ou diluído. Nesta última, a reação ocorre em um curto espaço de tempo - de segundos a alguns minutos, com altas temperaturas e pressões. Já no processo com ácido concentrado as reações são longas, porém com condições de temperatura e pressão mais baixas do que a com ácido diluído. A hidrólise ácida ocorre em duas etapas: a primeira consiste na hidrólise da hemicelulose, e após isso, com temperaturas elevadas, a fração celulósica é hidrolisada.

A hidrólise com ácido diluído permite um rendimento em torno de 50% a 70% na formação de açúcares. Sua reação ocorre em um curto espaço de tempo, alguns minutos, o que se configura em um ponto positivo. Porém, a hidrólise ácida gera resíduos. Isso se deve à ação do ácido utilizado como catalisador que, em altas temperaturas, pode degradar os açúcares formados. Além disso, esse tipo de hidrólise provoca corrosão nos equipamentos utilizados no processo, exigindo o uso de equipamentos específicos e de alto custo (o que tornaria o processo mais caro). Na rota da hidrólise enzimática, a reação é catalisada por um complexo enzimático, geralmente as enzimas “*celulase*”. As condições de temperatura e pressão utilizadas neste processo são brandas. A formação de açúcares nessa hidrólise gira em torno de 75% a 85%. A hidrólise enzimática possui a vantagem de não gerar resíduo, devido às condições da reação serem mais brandas.

Existem importantes diferenças químicas entre a celulose e hemicelulose que dificultam o processo da hidrólise. Por exemplo, a hemicelulose é mais fácil de ser hidrolisada do que a celulose, porém quando fragmentada, ela gera açúcares de cinco carbonos (pentoses), os quais ainda não podem ser fermentados com as leveduras existentes. Ou seja, essa fração de açúcares ainda não pode ser aproveitada.

Vale ressaltar que nessa rota tecnológica, a hidrólise enzimática da hemicelulose é mais difícil e cara do que a hidrólise ácida, pois ela é composta por açúcares de cinco e seis carbonos, e isso requer diferentes enzimas para quebrá-los. Entender as diferenças da celulose e da hemicelulose deixa mais clara a complexidade do processo de hidrólise, e as barreiras tecnológicas que esta rota ainda enfrenta. Essas diferenças estão resumidas na tabela 1. Como exemplo, a hemicelulose é atacada rapidamente por ácido inorgânico diluído e quente; a

celulose não é, o que dificulta a escolha do tipo de hidrólise e até do pré-tratamento (CARDOSO, 2008).

Tabela 1- Diferenças entre Celulose e Hemicelulose

Celulose	Hemicelulose
Natureza homopolissacarídica, formada por unidades de glicose ligadas entre si.	Natureza heteropolissacarídica, pois é formada por várias unidades de pentoses e hexoses ligadas entre si.
Forma arranjo fibroso	Não forma arranjo fibroso
Insolúvel em álcalis	Solúveis em álcalis
É atacada lentamente por ácido inorgânico diluído e quente	É atacada rapidamente por ácido inorgânico diluído e quente

Fonte: Elaboração a partir de Cardoso (2008).

A tabela 1 revela informações sobre os processos de hidrólise em seus diferentes tipos e as condições que cada uma delas possui. O maior rendimento de sacarificação é obtido através da hidrólise com ácido concentrado, porém o seu tempo de reação é longo e devido às condições agressivas do processo, os açúcares formados podem ser degradados, problemas derivados da hidrólise ácida. A hidrólise enzimática possui bons rendimentos com temperatura razoável, porém o seu tempo de reação é longo.

Na rota da hidrólise enzimática, a temperatura é mais baixa do que no processo de hidrólise ácida e, também, mais eficiente, pois permite rendimentos maiores. Além disso, não provoca problemas de abrasão e nem gera resíduos.

Tabela 2- Comparação das diferentes opções para a hidrólise da celulose

Processo	Insumo	Temperatura	Tempo da reação	Sacarificação
Ácido diluído	< 1% H ₂ SO ₄	215° C	3 min	50% - 70%
Ácido concentrado	30%~70% H ₂ SO ₄	40° C	2-6 h	90%
Enzimático	Celulase	70° C	1,5 dia	75% - 95%

Fonte: Extraído de BNDES (2008), p. 128.

Através da literatura pode-se dizer que os principais gargalos enfrentados pela hidrólise são: (i) a fase de pré-tratamento, etapa fundamental para o sucesso da hidrólise a qual possui custos elevados, (ii) o alto custo da hidrólise, principalmente no caso da enzimática devido ao elevado custo das enzimas. Assim, o investimento e o risco são grandes.

Na questão da hidrólise ácida, os principais problemas são a formação de resíduos, devido à utilização do ácido, e a abrasão dos equipamentos. Como a lignina impede o acesso à celulose, ela tem que ser retirada através da fragmentação dos componentes da biomassa. Porém, a remoção da lignina na hidrólise ácida é severa e demorada. Além disso, o meio ácido ataca os açúcares formados, degradando-os, resultando na diminuição do rendimento da reação (CORTEZ *et al*, 2010).

Uma questão que se coloca na geração de energia a partir da biomassa, no caso do etanol de cana-de-açúcar, é que seus principais gargalos/desafios se dão na parte tecnológica e não no custo da matéria-prima.

Outro gargalo é a logística de transporte da matéria-prima até a planta de hidrólise. No Brasil esse problema poderia ser facilmente resolvido se a tecnologia fosse integrada ao modelo já existente das destilarias nas usinas, pois estas já possuem infraestrutura e o bagaço da cana já se encontra no local. Se a hidrólise tiver a possibilidade de ser integrada às usinas existentes, isso poderia reduzir os custos da produção.

Enfim, o principal obstáculo se encontra em uma barreira tecnológica e econômica, uma vez que ainda não se alcançou uma tecnologia viável comercialmente, para converter a biomassa em etanol a preços competitivos. No caso do Brasil, é necessário que o etanol celulósico seja competitivo com o de primeira geração para se tornar viável, isto torna o problema ainda mais difícil, já que o custo de produção da primeira geração é bem competitivo.

Portanto, apesar da evolução científica e técnica do processo da hidrólise, o custo dessa tecnologia ainda não é competitivo, com as principais barreiras no pré-tratamento e no complexo enzimático.

Este primeiro capítulo dá a base para compreensão do processo de hidrólise e assim, pode-se entender os termos, o processo, as dificuldades e as barreiras técnico-econômicas dessa tecnologia. Essa base permite a compreensão do processo, para que fique claro nos capítulos que seguem como foi o desenvolvimento do processo Dedini Hidrólise Rápida, e quais foram as dificuldades enfrentadas.

CAPÍTULO 2 – A TRAJETÓRIA DO ETANOL CELULÓSICO NO BRASIL

Este capítulo traça um histórico do bioetanol no Brasil, enfocando as iniciativas para a promoção do etanol celulósico no período do Proálcool, demonstrando assim a importância desse biocombustível para o país e como as políticas públicas estiveram presentes em sua promoção. O capítulo retrata a história, desde 1930, com a intenção de destacar a consolidação do bioetanol de cana-de-açúcar na matriz energética e as políticas públicas envolvidas com a criação e consolidação de um mercado para esse biocombustível.

De 1930 até 1990, o Estado interveio fortemente no setor sucroalcooleiro e no bioetanol. Ao longo dos anos 1990 houve uma mudança institucional, um processo de liberalização, no qual o governo reduziu seu grau de intervenção na economia. A partir dos anos 90, houve progressiva redução da intervenção do governo na determinação do preço do etanol, que passou a flutuar ao sabor da oferta e da demanda.

O presente capítulo contém, além dessa introdução, o item 2.1, que faz uma revisão bibliográfica sobre política pública para uma energia alternativa. No item 2.2 descreve-se o Proálcool, programa que impulsionou a produção de etanol, criou um mercado para esse produto e também modificou a relação da agroindústria canavieira com a indústria de bens de capital. No item 2.3 são apresentadas as principais iniciativas de pesquisa e desenvolvimento (P&D) para o bioetanol celulósico, na década de 70 e 80, durante o Proálcool.

A tentativa, ao apresentar essas primeiras iniciativas de estudo para a produção do bioetanol via hidrólise é a de compreender a trajetória do bioetanol celulósico no Brasil através dos aprendizados gerados por estes projetos. Revela-se que apenas duas das quatro principais iniciativas empenhadas tiveram uma maior duração – uma delas é o processo Dedini Hidrólise Rápida, desenvolvido pela empresa Dedini.

2.1 A Política Pública para a consolidação de fontes de energia alternativa

Uma nova tecnologia envolve incerteza. Um dos primeiros autores a tratar da temática de inovação foi Schumpeter (1943). Segundo ele o principal motor do capitalismo é a inovação, processo que proporciona novos produtos, novas técnicas ou novos métodos organizacionais, e assim sua dinâmica e funcionamento. A inovação cria novos espaços econômicos ao mesmo tempo em que destrói os antigos. Esse processo é denominado por Schumpeter de “destruição criadora”.

O caminho que uma invenção percorre até tornar-se uma inovação tecnológica, de produto ou processo, é longo e necessita de grandes investimentos. Desde o pré-desenvolvimento da tecnologia, passando pela demonstração ao mercado até a difusão e aceitação desta. No caso de energia alternativa, além dos obstáculos comuns à inovação, existem outras barreiras, como, a competição com as fontes de energia existentes, principalmente as energias fósseis.

Além do custo, há uma questão importante, o chamado “*lock-in*”, o fato de que já existe um sistema de energia estabelecido, com uma infraestrutura, atores articulados e *lobbies* (políticos). Isso gera dificuldade para as energias alternativas se estabelecerem no mercado.

Unruh (2000) discute que “economias industriais foram presas dentro de sistemas de energia baseados em combustíveis fósseis, processo completo com a co-evolução do processo tecnológico e institucional dirigido pelo *path-dependence*.” Ele denomina essa condição de “*carbon lock-in*”, uma vez que cria mercados persistentes e falhas de política que inibem a difusão das tecnologias “*carbon-saving*” (alternativas), apesar das aparentes vantagens ambientais e econômicas destas. Esse conceito resume-se ao fato de que estamos presos na lógica do carbono, ou seja, as tecnologias e a sociedade se estruturam em função das energias fósseis. Unruh argumenta que um “*lock-in*” se desenvolve através das interações combinadas entre sistemas tecnológicos e instituições que o governam, isso perpetua a infraestrutura baseada em energias fósseis, apesar de suas externalidades ambientais negativas serem conhecidas.

Com todos estes obstáculos torna-se importante o suporte do governo, através de políticas públicas, para impulsionar e consolidar as energias alternativas. Um modelo importante de suporte consiste no financiamento da P&D, já que é um processo com alto grau de incerteza e possui custo elevado.

Olmos *et al* (2012) apresentam alguns instrumentos de apoio ao financiamento de uma pesquisa e desenvolvimento na área de energia alternativa. Nem sempre as empresas privadas estão interessadas em arcar com o custo e o risco do investimento em inovação ou não possuem capital suficiente. As novas tecnologias, principalmente as de energias renováveis, são imaturas e precisam de suporte e financiamento públicos a fim de tornarem competitivas.

É válido ressaltar que o contexto no qual a inovação se desenvolve impacta diretamente o resultado da pesquisa. As condições locais, de um país ou região, são importantes para o sucesso do desenvolvimento de uma tecnologia. Como exemplo, a existência da proteção intelectual no país onde ocorre a inovação. Assim, segundo Olmos *et al* (2012), os instrumentos de política devem mobilizar um montante suficiente de fundos públicos para tornar as atividades inovativas (P&D) atraentes para os empresários inovadores e os inventores da esfera privada.

Além do mais, o apoio público deve ser flexível o suficiente para que as autoridades possam redirecionar esse recurso para o instrumento mais adequado, alcançando mais sucesso (OLMOS *et al*, 2012).

Os custos de uma inovação são altos e seus rendimentos incertos. Ainda que sejam realizadas estimativas de rendimentos, estes dependem do tempo de resposta do mercado, ou seja, o período no qual a inovação é aceita e difundida. Os rendimentos e custos do processo dependem de uma série de fatores como maturidade da tecnologia, tipo de conhecimento, tipo de inovação, entre outros.

No atual estágio do desenvolvimento das energias alternativas, o governo deve dedicar suporte a fim de protegê-las da competição com as existentes, como as fontes de energias fósseis. Esse suporte torna-se mais importante na fase do pré-desenvolvimento, na qual a incerteza é alta, e exige alto investimento em P&D por parte das empresas. Além disso, os atores privados geralmente investem em tecnologias mais próximas do mercado. Ou seja, em tecnologias com rendimentos de curto e médio prazo (OLMOS *et al*, 2012).

Os instrumentos mais usados nos programas de inovação e discutidos na literatura são: (i) financiamento público; (ii) coparticipação de investimentos públicos e privados, possibilitando o setor público se tornar um acionista mais tarde; (iii) subsídios, como prêmio, crédito fiscal e concessão e; (iv) compras governamentais.

Os financiamentos públicos são importantes para as inovações em “energias limpas”, pois essas concorrem diretamente com as energias já consolidadas, portanto são comercialmente menos atrativas. No entanto, os empréstimos públicos sozinhos não são capazes de impulsionar as atividades de inovação para as energias alternativas; torna-se necessária uma combinação de instrumentos de suporte.

Enfim, o suporte do governo é importante dado o nível de incerteza que atinge a inovação de uma energia renovável. É necessário que as autoridades públicas e instituições federais e estaduais analisem cada projeto, identificando os fatores que o impactam, como o mercado, as condições regulatórias, entre outras.

O bioetanol da cana-de-açúcar surgiu como um produto energético no mercado brasileiro através de políticas públicas, especialmente as de financiamento, durante o Programa Nacional do Álcool (Proálcool) - que será apresentado no item seguinte.

2.2 – O Programa Nacional do Álcool (PROÁLCOOL) e a criação de um mercado para o bioetanol de cana-de-açúcar no Brasil

2.2.1 – Antecedentes do Programa Nacional do Álcool (Proálcool)

A intenção nesse subitem é a de descrever a história do bioetanol no Brasil, como esse produto surgiu no mercado brasileiro, e traçar a história do Proálcool, em qual contexto esse programa foi elaborado e colocado em prática. Além disso, o objetivo é fazer análises de como a política pública esteve presente na trajetória do bioetanol brasileiro e quais delas foram utilizadas.

O interesse pelo álcool enquanto combustível automotivo começou no final do século XIX, quando os produtores da agroindústria canavieira se articularam para encontrar novos usos para este produto. Em 1903, a Sociedade Nacional de Agricultura (SNA) organizou o evento - “Exposição internacional de aparelhos de álcool”, no “Congresso Internacional do Álcool”. Portanto, o álcool já era debatido como uma saída para a agroindústria canavieira (DUNHAM *et al*, 2010).

O álcool, como subproduto da agroindústria da cana-de-açúcar, ganhou mercado em 1931, através do decreto número 19.717 instituído pelo então presidente Getúlio Vargas. Esse decreto tornou obrigatória a adição de 5% de etanol anidro à gasolina importada para os veículos normais e, para os oficiais, a proporção era de 10%. Isso ocorreu, pois o governo queria criar uma solução para a agroindústria canavieira e evitar o seu colapso, já que esta passava por uma crise de superprodução de açúcar (BNDES, 2008).

Somado a isso, foi criado, em 1933, o Instituto do Açúcar e do Álcool (IAA), vinculado ao Ministério da Indústria e Comércio, para regulamentar a produção, o comércio, as exportações, controlar o preço do açúcar e do bioetanol. E criar uma série de incentivos, principalmente para a modernização dos engenhos, transformando-os em usinas e aumentar a produção do álcool, com a criação de destilarias. Porém, apesar desse esforço o bioetanol ainda não era visto como um produto de destaque, ao contrário da produção de açúcar que era colocada em primeiro plano (PEZZO, 2009; SCANDIFFIO, 2005).

Desde sua criação, em 1933 até 1990 quando foi extinto, o IAA orientou a produção de açúcar e de álcool através do estabelecimento de cotas de produção e fixação dos preços pagos aos produtores, com a intenção de garantir o equilíbrio entre a produção e o consumo interno. De forma que a criação de um mercado para o bioetanol foi realizada pelo governo federal através do IAA. As principais políticas utilizadas pelo governo foram: (i) política de regulação do mercado; (ii) política de financiamento para a modernização dos engenhos e a sua transformação em usinas e; (iii) política de oferta e de demanda do etanol anidro, através do decreto que obrigou a adição dele à gasolina importada. Nesse momento, o desenvolvimento do país estava orientado para a industrialização e se apoiava em uma política altamente protecionista.

Pelo lado da oferta, através do decreto de obrigatoriedade da adição do etanol anidro à gasolina importada mais a criação do IAA, o governo do presidente Getúlio Vargas estimulou as pesquisas sobre o álcool carburante, que estavam sendo realizadas no Brasil desde 1925, na Escola Politécnica de São Paulo. As pesquisas e a promoção do álcool continuaram até a Segunda Guerra Mundial, quando estes estudos foram deixados de lado devido a guerra e só

foram retomados com a crise energética da década de 1970, com o primeiro choque do petróleo em 1973 (BENNERTZ, 2009).

O etanol se tornou um importante produto para a agroindústria canavieira, a partir da criação do Programa Nacional do Álcool (Proálcool). Devido à crise do Petróleo, iniciada com o primeiro choque em 1973, houve um aumento abrupto de seus preços internacionais, que praticamente quadruplicaram no espaço de um ano. Tornou-se necessário formular um plano de energia alternativa ao petróleo, pois o Brasil era grande importador desse energético. Uma das importantes iniciativas do governo da época foi a criação do Programa Nacional do Álcool (Proálcool) com a finalidade de aumentar a produção do etanol e substituir a gasolina automotiva.

A história desse programa começa com um relatório elaborado pela Secretaria da Tecnologia Industrial do Ministério da Indústria e do Comércio (STI) chamado “O etanol como combustível”, concluído em setembro de 1975. Esse trabalho apresentou como sugestão um grande programa de produção de álcool como alternativa à gasolina, e no dia 09 de outubro de 1975 chegou às mãos do presidente, o General Ernesto Geisel. O Proálcool foi criado através do decreto número 76.593 em 14 de novembro de 1975 (ANCIÃES, 1980).

Pode-se dizer que o Proálcool resultou dos desdobramentos do primeiro choque do petróleo, em 1973 – o qual provocou grandes desequilíbrios na Balança Comercial do Brasil – somado à queda do preço do açúcar no mercado internacional. Portanto, o programa também era uma saída para o setor sucroalcooleiro (SCANDIFFIO, 2005).

O Programa, na sua criação, previa a utilização de outras matérias-primas além da cana-de-açúcar, como a mandioca e o sorgo sacarino. Segundo Anciães (1980), a mandioca foi negligenciada, quase excluída. A cana-de-açúcar foi escolhida como a matéria-prima para a produção de etanol no programa, porque o setor sucroalcooleiro já possuía uma infraestrutura de logística, e transporte; o álcool poderia ser produzido nas usinas existentes com destilarias anexas, além dos grupos interessados, como os usineiros e o IAA, ou seja, o álcool a partir da cana-de-açúcar já possuía um *lobby*, tinha uma força política grande, pois a agroindústria canavieira é tradicional no Brasil.

O Programa lançou alguns objetivos explícitos, como: (i) contribuir para a economia de divisas substituindo as importações de petróleo; (ii) criar uma nova rota para a química, com o álcool como matéria-prima, a alcoolquímica⁷; (iii) contribuir para o aumento da renda; e, (iv) aumentar a produção nacional de bens de capital, com foco para as fornecedoras do setor sucroalcooleiro, e isso modificou a relação da agroindústria canavieira com a indústria de bens de capital.

Para alcançar e promover a oferta do bioetanol, o programa instituiu uma política de financiamento para expansão da capacidade produtiva. O governo federal financiou de 80% a 90% das novas unidades industriais a juros baixos (inferiores à inflação) e com três anos de carência. Para o setor agrícola, o financiamento chegou até 100% (Anciães, 1980). O financiamento provinha do Fundo de Mobilização Energética, 40%, e do Orçamento Monetário do Governo, 60%. O recurso do primeiro instrumento originava-se da taxaço de derivados do petróleo e da Taxa Rodoviária Única (TRU) (tornou-se mais tarde o Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA)). Já os recursos do segundo instrumento provinham da subconta Proálcool do Fundo Geral para a Agricultura e Indústria (FUNAGRI) e era administrada pelo Banco Central (BELIK, 1992).

A evolução da produção do etanol foi rápida, já que o preço internacional do açúcar estava baixo no mercado internacional, portanto a produção da cana foi facilmente voltada para o bioetanol. O Plano se apoiou em três mecanismos principais: (i) preço de paridade entre açúcar e etanol, para estimular a produção deste dentro das usinas; (ii) garantia de mercado para o etanol, através do decreto de obrigatoriedade da adição de 20% de etanol anidro à gasolina consumida no país e; (iii) financiamento com prazos e juros favoráveis para a produção de etanol (ANCIÃES, 1980; SCANDIFFIO, 2005; PEZZO, 2009). Percebemos nesses mecanismos a utilização de dois tipos de políticas: de oferta (financiamento da produção), de demanda (preço em paridade e garantia de mercado para o etanol). A intenção dessas políticas era a expansão da produção de etanol.

⁷ Alcoolquímica é o uso do álcool etílico como matéria-prima para a produção de diversos produtos químicos. Implantada na década de 1920 no Brasil, teve seu auge no Proálcool, mas foi abandonada quando houve a consolidação da petroquímica, na década de 1980 (CGEE, 2010).

Quanto à distribuição e comercialização do etanol, a responsabilidade era da Petrobras, que comprava e revendia mais barato, já que o preço era regulado pelo governo e a produção do bioetanol era mais cara do que a gasolina.

Pode-se dizer que o Proálcool teve três fases claras. A primeira de 1975 a 1979 foi a de criação do Programa, logo após o primeiro choque do petróleo (1973). Nesta fase, o foco foi o aumento da produção de etanol anidro através da criação de várias destilarias anexas⁸ ou autônomas⁹, com grande financiamento. E com o aumento da produção do bioetanol, o Programa garantiu o crescimento do setor sucroalcooleiro. Nessa fase, o Proálcool serviu, sobretudo para solucionar a crise do açúcar e criar uma saída para a agroindústria canavieira, uma vez que a substituição da gasolina era ainda limitada (MOREIRA, 1989; BRAY *et al.*, 2000). A produção era unicamente de álcool etílico adicionado à gasolina, na proporção de 20%.

A administração do programa ficou a cargo da Comissão Nacional do Álcool (CNA). E os principais atores na esfera pública eram a presidência, os Ministérios da Indústria e do Comércio, das Minas e Energia e o da Agricultura, e instituições como o IAA e o Conselho Nacional do Petróleo (CNP) e a Comissão Executiva Nacional do Álcool (CENAL). Já na esfera privada, os atores de destaque foram: Cooperativa de Produtores de Cana-de-açúcar e Álcool do Estado de São Paulo (Copersucar), Sindicato da Indústria de Fabricação do Álcool no Estado de São Paulo, Cooperativa Fluminense dos Produtores de Açúcar e Álcool (COPERFLU) entre outras associações de produtores e fornecedores de cana (SCANDIFFIO, 2005).

A segunda fase do Proálcool se inicia com o segundo choque do petróleo, em 1979, o qual eleva o preço da gasolina novamente. Nesta fase, que vai de 1980 a 1985, houve expansão acelerada do programa e o seu destaque foi o decreto 83.700 em 5 de julho de 1979 para a produção de álcool etílico hidratado¹⁰. Nesta fase o Proálcool ganha importância e se torna,

⁸ Construídas próximas ao complexo industrial (usinas), utilizando-se a mesma infra-estrutura.

⁹ Construídas apenas para a produção do etanol (usinas de etanol)

¹⁰ Etanol *hidratado*, utilizado “puro” em motores especificamente construídos para funcionar por meio da queima de álcool. Sua composição consiste de 93,8% de etanol e 6,2% de água (BNDES, 2008).

realmente, um programa energético de substituição à gasolina (MOREIRA, 1989; BRAY *et al*, 2000).

Nessa etapa os atores mais envolvidos com o programa foram: o Conselho Nacional do Álcool (CNAL), que fixou as metas para esta segunda fase e substituiu o CNA. Havia vários ministros e representantes do setor privado. Cabe ressaltar o papel do Banco Internacional de Reconstrução e Desenvolvimento (BIRD) que contribuiu com US\$ 250 milhões para o financiamento do Programa (SCANDIFFIO, 2005).

Pode-se afirmar que a fase mais ambiciosa do Programa foi a segunda. Só para exemplificar, a meta de produção fixada pelo Conselho Nacional do Álcool (CNAL) nesta fase foi 10,7 bilhões de litros de álcool em cinco anos, enquanto na primeira fase a meta foi de 2,5 bilhões (SCANDIFFIO, 2005).

Como já foi mencionado, um dos marcos da segunda fase foi à produção do bioetanol hidratado para ser utilizado em carros movidos exclusivamente a etanol. Houve a necessidade de introduzir importantes modificações pelo lado da demanda. O governo, para realizar esse objetivo, pressionou as montadoras a produzirem carros a álcool. Para tanto foram criados vários incentivos, principalmente para criar um mercado para o carro a álcool, alguns deles foram: (i) redução do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) dos veículos a álcool e aumento do imposto para os veículos a gasolina; (ii) redução das alíquotas da Taxa Rodoviária Única (TRU) para os carros a álcool; (iii) preço do álcool sempre mais baixo que o da gasolina, era 65% do valor dela; (iv) financiamento com maior prazo para os veículos a álcool. Esses vários incentivos oferecidos proporcionaram segurança às montadoras para produzirem carros movidos a etanol (PEZZO, 2009; SCANDIFFIO, 2005).

Esse acordo com a indústria automobilística proporcionou a concretização da segunda fase do Programa com a realização de seus objetivos e metas. Nessa fase percebe-se a utilização de várias políticas para a consolidação do etanol, através de incentivos como a diminuição dos impostos ou taxas, política através do preço mais vantajoso e política de financiamento para a promoção do carro a etanol.

Pode-se perceber o sucesso do Proálcool no aumento da produção e vendas destes carros. Em 1985 a frota de veículos movidos a etanol representava 66,4% do total. Segundo Scandiffio (2005), o aumento da frota desses veículos foi muito expressivo, de 165 mil unidades em 1980, evoluiu para mais de 2 milhões em 1985 (SCANDIFFIO, 2005).

A terceira fase, dos anos 1985 a 1990, foi o período de desaceleração e crise, devido à diminuição dos preços do petróleo e o aumento do preço do açúcar, o que desestimulou a produção do etanol. E em 1989 os consumidores enfrentaram um problema de oferta de etanol. Assim, com a falta de combustível para o abastecimento dos veículos, o Brasil teve que importar etanol para atender a demanda interna, pois a produção nas usinas estava voltada para o açúcar. E isso levou à falta de credibilidade do programa e do próprio etanol. Houve uma falta de planejamento, pois a oferta e a demanda do etanol e dos carros (a álcool) não cresceram na mesma velocidade e também não houve política de estoques reguladores. Ou seja, era necessário mais planejamento energético, tratar o bioetanol como um produto energético e não agrícola.

Essa falta de credibilidade impactou nas vendas de carros a etanol, que caíram substancialmente em 1990. Assim entre os veículos novos comercializados, os movidos a etanol hidratado representavam 85% em 1985, caíram para 11,4% em 1990 (BNDES, 2008; RAMOS e SOUZA, 2003). Nessa terceira fase houve uma mudança do regime político, a democracia retornou substituindo a ditadura em 1985. Somado a isso, em 1990, o IAA é extinto, principal órgão regulador e planejador da produção de açúcar e álcool, que determinava a produção do etanol. Também no começo dos anos 1990, houve a desregulamentação do setor sucroalcooleiro.

Com a mudança do ambiente institucional, os agentes de todo o setor tiveram que se adaptar às regras de mercado. Essa desregulamentação fez parte de um conjunto de medidas liberais que tiveram início no governo Collor, a partir da década de 1990, e que atingiu também outros setores. Nessa terceira fase percebe-se a retirada do Estado das políticas públicas. O governo corta os seus gastos com os incentivos e subsídios para o etanol, e deixa de regular os preços e a oferta de açúcar e de álcool. A liberalização simbolizou o fim do Proálcool. O novo modelo institucional trouxe uma nova fase de políticas públicas para o etanol.

O modelo intervencionista de ação pública, no qual o Estado intervinha diretamente em diversos setores da economia, vigente no país desde os anos 1930, facilitou a instituição do Proálcool. O preço do bioetanol era estabelecido em paridade com o do açúcar, para estimular o usineiro na produção de álcool; o preço do bioetanol hidratado também era controlado, 65% do valor da gasolina, o Estado, através da Petrobrás, cobria a diferença entre o custo de aquisição e de venda do bioetanol. Toda a cadeia produtiva era controlada pelo Estado e este programa ocorreu devido ao contexto de crise energética mundial (MARIOTONI, 2004; SCANDIFFIO, 2004). Para criar e executar um plano nessas dimensões, o governo interveio fortemente e o papel dele foi decisivo para a criação e consolidação da produção de etanol no país e para a criação de um mercado para esse combustível alternativo.

Para exemplificar a grandiosidade desse programa foram investidos US\$ 3,7 bilhões para instalação de 450 destilarias. De 1975 a 1986 quase US\$ 8,5 bilhões foram economizados nas importações de petróleo, por causa do uso do bioetanol como substituto. E em 1987 essa economia chegou a US\$ 1,4 bilhão (OLIVEIRA, 1991). O Proálcool foi a estrutura mais competitiva desenvolvida para uma energia alternativa ao petróleo no mundo (SCHLITTER *et al.*, 2012).

O Proálcool foi um programa expressivo, pois tornou o Brasil o país pioneiro na criação de uma energia renovável alternativa ao petróleo, com o etanol como combustível, tanto que diminuiu as importações do petróleo. Devido ao regime de ditadura, no qual o Proálcool foi instituído, a intervenção do Governo era facilitada. Isso permitia que o preço fosse estabelecido em paridade com o açúcar, para estimular o usineiro na produção de álcool; o preço do etanol hidratado também era controlado, 65% do valor da gasolina, o Estado, por meio da Petrobras, financiava a diferença de custo de produção. Toda a cadeia produtiva era controlada pelo Estado e este programa foi urgente, devido ao contexto de crise energética mundial. Para criar e executar um plano nessas dimensões, o governo teve que intervir fortemente e seu papel na criação e consolidação do programa foi fundamental (MARIOTONI, 2004; SACANDIFFIO, 2005).

No que tange a indústria de máquinas e equipamentos para o setor sucroalcooleiro, antes do Proálcool, esta indústria trabalhava com capacidade ociosa e a tecnologia era obsoleta. Duas

empresas eram as principais fornecedoras de máquinas e equipamentos para a agroindústria canavieira, juntas detinham quase 90% do valor de produção: a Dedini e a Zanini (ANCIÃES , 1980; MARIOTONI, 2004).

O impacto gerado pelo Proálcool influenciou o comportamento inovativo das empresas de bens de capital para o setor sucroalcooleiro. Essa influência é citada no trabalho de Marili Mariotoni (2004): “O aumento da oferta provocado pelo programa ocasionou uma importante alteração no comportamento tecnológico dessa indústria” (MARIOTONI, 2004, p. 75).

Na década de 1980, devido à crise energética, várias alternativas ao petróleo foram pensadas e desenvolvidas, influenciadas indiretamente pelo Proálcool. Por exemplo, a Dedini desenvolveu algumas inovações tecnológicas como: (i) Methax, servia para a produção de gás metano combustível, a partir da vinhaça¹¹; (ii) Biostil, tinha como objetivo incrementar a produção de álcool, a partir de um sistema com fermentação e destilação acopladas e sua vantagem era o baixo consumo energético e baixa geração de efluentes. O Methax chegou a ser implementado através de um convênio com a prefeitura de São João da Boa Vista. O gás metano era utilizado em ônibus urbanos, mas a iniciativa foi abandonada devido à queda da produção de etanol. Esse projeto chegou a ser selecionado pela Mercedes Benz para ser demonstrado durante a ECO-92, como solução alternativa (LEÃO, 2005).

Outra experiência desenvolvida pela Dedini foi o desenvolvimento do projeto Dedini Hidrólise Rápida (DHR), desde a década de 1980. Esse projeto objetivava alcançar uma nova forma de produção do bioetanol, via hidrólise ácida, e foi iniciado no contexto do Proálcool. Porém esse programa não previu o etanol celulósico e nem possuiu uma política de inovação, muito menos voltada para a hidrólise e o bioetanol celulósico. Vale ressaltar que o estudo do DHR foi iniciado no contexto de declínio do Programa (3ª fase).

A principal contribuição do Proálcool para as indústrias de bens de capital para o setor sucroalcooleiro foi a criação do mercado para o etanol, tanto anidro como o hidratado e o financiamento subsidiado de novas destilarias. E isso proporcionou mais um ciclo de inversões

¹¹ Resíduo problemático da produção de cana de açúcar para o setor sucroalcooleiro, devido ao cheiro forte e pela poluição ao meio ambiente

para essas empresas, que tiveram demanda para construir destilarias anexas ou autônomas. Portanto, essas empresas cresceram e se desenvolveram junto ao Proálcool, assim tiveram que se especializar e modernizar os equipamentos para a produção do álcool, com o intuito de maior rendimento.

O Proálcool não previu muitas inovações, o foco desse programa foi o aumento da produção desse biocombustível. Mas ele modificou a relação da agroindústria canaveira com a indústria de bens de capital, tornou esse relacionamento mais estreito, principalmente no estado de São Paulo. Através do aumento da demanda por máquinas e equipamentos por parte da agroindústria sucroalcooleira, provocou melhora nas tecnologias presentes nas empresas fornecedoras de bens de capital, como a Dedini. Houve uma evolução, principalmente a partir do Proálcool, a empresa passou a elaborar projetos com equipe de engenheiros e até desenvolver tecnologias próprias.

A partir dos anos 2000, principalmente após o advento do motor bicombustível (*flex-fuel*) - iniciativa privada - e o aumento da preocupação com a questão ambiental, somado aos aumentos crescentes do petróleo, o bioetanol reaparece na cena. E então o governo brasileiro, com a intenção de promover esse combustível, adotou algumas iniciativas. Após o lançamento do automóvel flexível em 2003, foi dada a opção de escolha ao consumidor entre o etanol ou a gasolina. Com isso não foi mais necessário que o governo fixasse um preço de paridade entre o açúcar e o álcool ou entre o álcool e a gasolina e nem que garantisse o abastecimento. O governo apenas fomentou a venda de veículos flexíveis, através da redução do IPI.

O lançamento dos carros *flex* foi muito importante para a expansão da produção e do mercado do etanol, principalmente do hidratado. A participação dos carros *flexíveis*, no total das vendas, cresceu muito, saltando de 50%, em 2005, para 74%, em 2006, e 80%, em 2007 e evoluiu para 83,3% em abril de 2011 e 85,7% em abril de 2012, segundo a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA). Assim, o que estava puxando a demanda do etanol hidratado era principalmente o mercado interno, para atender a frota crescente de carros *flex* no país (MAIA, 2009).

Em 2010, houve a criação do Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia (CTBE), o que demonstra a tomada de consciência do governo em relação à importância da ciência e tecnologia (C&T) para o bioetanol, consciência que começou a ser tomada na década de 1980.

O etanol celulósico teve uma primeira fase ligada ao Proálcool. A partir dos anos 2000, houve uma retomada do interesse pelo etanol celulósico, no período pós-Proálcool. Nessa segunda fase, parece que a política para o bioetanol está com uma nova configuração. Porém, o setor sucroalcooleiro ainda não é visto como um setor sucroenergético e nem o bioetanol é tratado como uma energia alternativa, a ser amparada pelo planejamento energético.

Percebe-se um direcionamento na promoção de inovação, para o etanol de segunda geração. Com a criação de um laboratório nacional de ciência e tecnologia para o etanol, espera-se aumentar o campo do conhecimento científico e tecnológico desse combustível.

2.3 – O etanol celulósico no Brasil.

2.3.1 - Iniciativas de pesquisa e desenvolvimento para o bioetanol celulósico durante o Proálcool.

No Brasil, o etanol celulósico é pesquisado desde os anos 1970, sendo que a primeira iniciativa data de 1977, quando a Fundação de Tecnologia Industrial (FTI), em Lorena, realizou estudos até alcançar a escala-piloto. Essa iniciativa utilizou a hidrólise ácida (com ácido sulfúrico concentrado), o processo *Scholler – Madison*¹², e como matéria-prima a madeira (*eucalyptus paniculata*). A FTI operou uma planta em escala piloto dos anos 1970 a 1980. O estudo foi continuado pelo Campus de Lorena, pertencente à Universidade de São Paulo (USP) (SOARES e ROSSEL, 2007). Esse grupo de pesquisa em hidrólise é o mais antigo no Brasil (SAAD, 2010).

Após essa iniciativa, em 1979, foi desenvolvida uma pesquisa pela Companhia de Desenvolvimento Tecnológico (CODETEC) em conjunto com a Companhia Aços Villares e a Universidade Estadual de Campinas. O projeto chamado HIDROCON, nome derivado de

¹² Começou a ser desenvolvido em 1930, na Alemanha, como processo “The Scholler-Tornesch”. Porém nos EUA foi modificado e passou a ser conhecido como “Madison” e desta maneira foi introduzido na Suíça, Alemanha e Japão. Continuou a ser usado, após a Segunda Guerra Mundial, apenas pela ex- União Soviética e países socialistas, como o Processo “Scholler-Madison” (CARDOSO, 2008).

“Hidrólise contínua”, objetivou o desenvolvimento da hidrólise ácida contínua, com ácido sulfúrico (H_2SO_4), utilizando como matéria-prima a palha de arroz primeiro e depois o bagaço de cana. O projeto atingiu a escala piloto e chegou a ter rendimentos de sacarificação na faixa de 57% a 60%, porém operou por um período curto de tempo, de 1981 até o final de 1983. Esse estudo foi descontinuado, pois os rendimentos¹³ eram baixos, o que tornava a pesquisa inviável economicamente (CARDOSO, 2008).

Outra iniciativa da mesma época, que merece destaque foi a aquisição de uma planta chave (*turn key*) baseada no processo *Scholler-Madison*. Essa tecnologia que era suíça, mas havia sido industrializada na União Soviética (URSS) foi importada e desenvolvida pela COALBRA – Coque e Álcool da Madeira S/A. Esse processo produtivo adotado se apoiava na hidrólise ácida que empregava ácido sulfúrico diluído na concentração de 0,5 a 0,9 %.

Essa empresa foi a principal iniciativa do governo brasileiro, na verdade a única, para desenvolver etanol celulósico no final dos anos 70, quando o segundo choque do petróleo motivou a intensificação dos esforços nacionais para reduzir a dependência externa desse energético. A COALBRA foi criada em 1979 e instalada em Uberlândia em março de 1980. Era uma empresa de economia mista, vinculada ao Ministério da Agricultura (CADERNOS COALBRA 2, 1983). Foi uma empresa pública federal construída durante o Governo Militar.

A criação da COALBRA foi uma tentativa do governo de diversificar as fontes de matérias-primas para a produção de bioetanol. A madeira foi escolhida como matéria-prima, pois a tecnologia importada da antiga URSS utilizava assim. Era uma tecnologia conhecida e consagrada.

O local escolhido para implantação da empresa foi Uberlândia, pois estava próximo de importantes áreas reflorestadas com eucaliptos do Triângulo Mineiro. E, também, ficava próxima de plantas industriais de ácido sulfúrico, fertilizantes e cal, que são os insumos do processo (CADERNOS COALBRA 2, 1983).

¹³ Taxa de conversão da celulose e da hemicelulose em açúcares.

Em relação aos indicadores técnicos, a Unidade Industrial de Demonstração possuía capacidade para a produção diária de 30.000 litros de etanol hidratado. Se utilizado o eucalipto como matéria-prima o rendimento era de 160,0 litros por tonelada de madeira seca, e se utilizado o pinus¹⁴ conseguia-se um rendimento de 200,0 litros. Importante ressaltar que essa tecnologia foi adaptada para o eucalipto no Brasil, na Rússia utilizava-se o pinus (CADERNOS COALBRA 2, 1983).

Essa experiência fracassou, pois além dos elevados custos da hidrólise, houve um escândalo político envolvido. No final, o projeto COALBRA foi usado para produzir furfural (BON e FERRARA, 2007).

Em 1986, o ministro da fazenda Dilson Funaro decretou a extinção da Coalbra, como citado em reportagem: "Ante a inviabilidade do projeto, o parque industrial deixou de operar com a determinação inserida no decreto 93.603, de 21 de novembro de 1986" (BONASSA, 1994). Porém essa decisão da extinção demorou vários anos para ocorrer, só em 1993, o que restou das instalações da empresa foi leiloado para pagar as dívidas trabalhistas. E a fábrica foi comprada (liquidada) pelo empresário Nelson Levy, que manteve essa unidade como produtora de furfural.

Nesse mesmo contexto histórico, a Dedini - empresa de bens de capital para o setor sucroalcooleiro - começou a investir em uma tecnologia que tinha o potencial para aumentar significativamente a produção de etanol, na década de 1980. A tecnologia adotada para ser pesquisada e desenvolvida foi a da hidrólise ácida com alguns aprimoramentos e aplicada ao bagaço de cana-de-açúcar.

O momento decisivo para o projeto Dedini Hidrólise Rápida foi uma parceria entre a Dedini, o Copersucar e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) em 2002, por meio do Programa Parceria para Inovação Tecnológica (PITE) que propiciou a construção de uma planta semi-industrial instalada na Usina São Luiz, em Pirassununga (SP) (CGEE, 2009). A história dessa tecnologia será desenvolvida como estudo de caso, no capítulo 3. O caso do DHR é singular, pois com o Proálcool havia uma política energética ancorada no

¹⁴ Madeira de cor clara

modelo tradicional de política pública para o setor, mas não havia política de inovação. O único programa era o Planalsucar, que foi um programa de modernização para a agroindústria açucareira, mas era voltado para a fase agrícola. As iniciativas de políticas tecnológicas, principalmente de segunda geração, estavam completamente ausentes.

Nesse contexto se sobressai a iniciativa da Dedini. Porém, o desenvolvimento dessa tecnologia ocorre no contexto da terceira etapa do Proálcool, na qual ocorre o abandono do governo no Programa e desregulamentação do setor, processo de liberação da década de 1990. Frente a todas essas dificuldades, o projeto do DHR persistiu por vários anos, durante os quais avançou.

Percebe-se que as iniciativas do primeiro momento foram influenciadas pelo Proálcool, devido a criação de um mercado para o bioetanol. Porém, não houve um plano diretor para o desenvolvimento de tecnologias para este biocombustível, muito menos via hidrólise. O Proálcool aconteceu devido ao contexto de crise energética, com os dois choques do petróleo, momento no qual as energias alternativas ao petróleo (as fontes de energias fósseis) estavam em efervescência. Então, nesse contexto alguns projetos foram iniciados, e com foco para um combustível alternativo a gasolina, como o bioetanol celulósico. O etanol celulósico não estava nos planos explícitos do governo. Apenas o “Projeto Coalbra” foi uma iniciativa direta do governo federal, utilizando o processo Scholler-Madison, com a madeira de matéria-prima. Ainda que a COALBRA tenha sido uma iniciativa do governo federal, não houve uma política de inovação envolvida nisso, pois foi uma estratégia de importar uma planta pronta (*turn key*), ou seja, não havia um projeto tecnológico.

2.3.2 – O panorama atual das pesquisas em etanol celulósico no Brasil.

Atualmente, o etanol celulósico volta a aparecer na agenda mundial como uma alternativa ao processo produtivo do etanol. Com o aumento crescente dos preços do petróleo, após os anos 2000, as energias alternativas a esta fonte voltam a ser o centro da discussão somado à questão ambiental, da diminuição dos gases de efeito estufa (GEE). No Brasil esse interesse é motivado por mais um fator, a criação do motor *flex-fuel*.

Isso estimulou algumas pesquisas, privadas e públicas, desenvolvidas por institutos de pesquisa ou empresas como: Petrobrás, Oxiteno, Novozymes, Embrapa, Braskem, Ridesa, CTC, CTBE, FAPESP (BIOEN), GrallBio. Serão descritos apenas alguns projetos, que merecem destaque, como CTBE, Novozymes (parcerias), e o CTC.

Essas iniciativas obtiveram um impulso de um estudo chamado “Energias renováveis: etanol de cana” que ficou conhecido como “Projeto Bioetanol”, realizado em 2005. O Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT atual MCTI), através do Centro de Gestão de Estudos Estratégicos (CGEE), encomendou uma pesquisa ao Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético (NIPE/Unicamp) a fim de demonstrar o potencial de expansão da produção do etanol brasileiro. O estudo envolveu cerca de vinte pesquisadores, ficou conhecido como “Projeto Etanol” e esteve sob a coordenação do físico Rogério Cezar de Cerqueira Leite. A pesquisa realizou um estudo sobre todas as áreas envolvidas no processo, desde a parte agrícola, industrial, até os impactos ambientais, sociais e de logística. As conclusões, basicamente, identificaram que o Brasil teria condições para substituir 10% da gasolina consumida no mundo pelo bioetanol a partir da cana-de-açúcar em 2025, mas havia gargalos tecnológicos a serem superados. Isso levou discussões dentro do MCT sobre a criação de um espaço (laboratório) com uma estrutura moderna de equipamentos e pesquisadores voltados para a superação dos gargalos (CGEE, 2009).

Os gargalos tecnológicos identificados se situavam, principalmente, na produção do etanol a partir da hidrólise (celulósico), ou de segunda geração, que seria uma nova forma de produzir esse produto com altos rendimentos. Essa pesquisa levou à criação do Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE), apresentado a seguir. Além disso, outro resultado desse estudo foi o livro: “Bioetanol combustível: uma oportunidade para o Brasil”. Enfim, o estudo mostrou a importância que o desenvolvimento científico e tecnológico tinha para que o País pudesse aproveitar seu potencial produtivo.

Como mencionado acima uma importante iniciativa do governo federal foi a criação do Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE), isto representa um forte investimento e um avanço do governo brasileiro em ciência e tecnologia (C&T) para o bioetanol a partir da cana-de-açúcar. Parece ser uma retomada do interesse público pelo

bioetanol. O CTBE foi inaugurado em janeiro de 2010, dentro do campus do Centro Nacional de Pesquisas em Energia e Materiais (CNPEM). O foco da P&D do CTBE é a rota do etanol celulósico, para poder manter o Brasil no estado-da-arte da produção de bioetanol com uso da cana-de-açúcar como matéria-prima principal.

Ainda na esfera pública, porém estadual, merece destaque o Programa FAPESP de pesquisa em Bionergia (Bioen) o qual foi lançado em julho de 2008. Seu principal objetivo é desenvolver a pesquisa acadêmica básica e aplicada em bioenergia e também contribuir para a articulação da pesquisa das universidades e centros de pesquisas com a realizada nas empresas. Além de avançar no conhecimento da produção do etanol, uma de suas pretensões é formar mais recursos humanos de qualidade para a pesquisa em bionergia.

O Bioen possui cinco grandes áreas: (i) transformação da biomassa em energia, com foco na cana-de-açúcar; (ii) desenvolvimento de processos para a produção de biocombustíveis; (iii) etanol para motores automotivos, tanto de combustão interna quanto de células a combustível; (iv) estudo para as biorrefinarias e alcoolquímica; e, (v) pesquisa sobre os impactos socioeconômicos, ambientais e uso da terra.

Outra pesquisa que merece ser mencionada, porém na esfera privada, é a do Centro de Tecnologia Canavieira (CTC). Este centro possui um projeto de etanol celulósico por hidrólise enzimática em parceria com a *Novozymes* e a *Andritz*, as enzimas utilizadas pertencem a empresa dinamarquesa *Novozymes*. O grande desafio dessa pesquisa é tornar o preço do bioetanol celulósico competitivo com o do bioetanol de primeira geração, atual processo produtivo.

A pesquisa do CTC para obtenção do bioetanol a partir da biomassa da cana-de-açúcar teve início em 2006, e desde 2009 utiliza uma planta piloto. A previsão do Centro é que em 2014 esteja em funcionamento uma planta em escala semi-industrial e até 2018 em escala comercial.

De algumas dessas iniciativas percebe-se que a maior parte teve apoio explícito do governo ou se iniciou devido alguma iniciativa do governo. As primeiras iniciativas que são da época do Proálcool foram criadas em um contexto de políticas públicas com o objetivo de criar um novo mercado para o bioetanol de cana-de-açúcar. As políticas mais presentes foram de oferta,

demanda e de regulação. O Proálcool foi montado sob uma estrutura já existente, a do IAA, que respondia a uma política intervencionista presente no Brasil desde a década de 1930. Na primeira fase, as políticas foram voltadas para criar um mercado e aumentar a produção do bioetanol, já que a PCT nem estava presente no Brasil. E atualmente, as políticas para o bioetanol são voltadas mais para a ciência, tecnologia e inovação, configurando-se em PCT&I.

Como vimos em Olmos *et al* (2012), os instrumentos de política públicas são importantes para a consolidação de uma energia alternativa, pois já existe uma infraestrutura organizada para as energias fósseis. O bioetanol a partir da cana, apesar da sua história no Brasil, ainda não é tratado como um produto energético básico e nem existe planejamento energético para este combustível. Até pouco faltava um órgão regulamentador. Somente a partir de abril de 2011, o governo federal passou a considerar o bioetanol como um combustível, passando a ser oficialmente regulamentado pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Essa iniciativa foi apenas uma tentativa de avanço na regulação do etanol, mas, de fato, a agência ainda não regulamenta a produção e os estoques reguladores desse produto. A função da ANP é a de especificar e fiscalizar a qualidade desse combustível e assim garantir o seu abastecimento para os consumidores. A sua principal atividade é a de monitorar a comercialização nos distribuidores e postos.

A ANP pode reajustar a proporção de adição de etanol anidro à gasolina de 18 a 25%, conforme necessidade, devido a pouca oferta ou a superprodução de etanol. Apesar da iniciativa governamental - de colocar a ANP como responsável pela fiscalização do etanol - ser um avanço, ainda não existe de fato uma política de planejamento da oferta e da demanda. A ANP não tem poder de determinar a produção e nem o preço do etanol, como era feito pelo IAA. O Instituto, de fato, controlava a produção de etanol, através de cotas.

Utilizando tanto a ideia de Olmos *et al* (2012) quanto Unruh e Hermosilla (2006) as políticas públicas são importantes pois proporcionam que as energias alternativas possam ter condições mínimas de se instalarem no mercado e competirem com as existentes. E dentro dessas políticas, a política de financiamento se destaca pelo alto custo do investimento e do risco da inovação. O Brasil atualmente possui um Plano de Apoio à Inovação Tecnológica

Industrial dos Setores Sucroenergético e Sucroquímico¹⁵ (PAISS), com foco para o etanol celulósico. Esse programa de financiamento representa um avanço no apoio à ciência e tecnologia da produção do etanol, em seus vários aspectos. Além do mais, seu objetivo é proporcionar articulação entre governo e os atores do setor sucroalcooleiro.

Hoje em dia, as iniciativas e programas focam muito mais no aprimoramento do conhecimento do bioetanol e no desenvolvimento da C&T para este combustível, principalmente em uma nova forma para o processo produtivo, o bioetanol celulósico (hidrólise), uma espécie de segunda fase do etanol celulósico no Brasil.

Apesar da história do bioetanol no Brasil, este não foi visto como uma fonte de energia alternativa. E foi tratado pelo planejamento energético e pela regulamentação como se a sua tecnologia estivesse pronta. Assim com a saída do suporte do governo ao Programa, este decaiu pois não houve mais incentivos, controle da produção e estoques reguladores. A produção desse biocombustível foi deixada sob a responsabilidade do mercado, o que resultou na falta de oferta deste produto para o mercado interno.

O grande foco deste capítulo foi mostrar a política pública e a trajetória histórica do bioetanol de cana-de-açúcar para, chegar ao etanol celulósico. E, também, mostrar que o Proálcool foi um programa de política pública para criação de um mercado do bioetanol e de expansão da oferta, foi um programa energético que visava uma alternativa ao petróleo, principalmente à gasolina. Este programa tinha como objetivo a expansão da produção e aumento desse biocombustível, realizou isso através de políticas públicas. Porém não houve uma política de C&T explícita para o bioetanol (a partir da cana-de-açúcar) para desenvolver uma nova tecnologia.

¹⁵ Iniciativa conjunta por parte do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) para o fomento de projetos de novas usinas e destilarias que utilizem novas tecnologias para a produção de energia a partir da cana-de-açúcar (biomassa), na tentativa de gerar maior coordenação e integração do apoio financeiro disponível (BNDES e FINEP, 2011)

CAPÍTULO 3 - O APRENDIZADO DESENVOLVIDO PARA O BIOETANOL CELULÓSICO NO BRASIL COM O PROJETO DEDINI HIDRÓLISE RÁPIDA (DHR)

No contexto de crise energética da década de 1970, discussões sobre as energias alternativas ao petróleo eram feitas e isso impulsionou iniciativas no mundo inteiro, e no Brasil foi criado o Proálcool. Dentro desse cenário a Dedini, empresa de bens de capital com foco no setor sucroalcooleiro impulsionou um projeto para a produção de etanol combustível a partir de uma nova rota tecnológica. Essa iniciativa começou nos anos 1980, na terceira etapa do Proálcool, que foi a fase de decadência desse programa.

Este capítulo consiste em analisar a iniciativa da Dedini ao desenvolver uma tecnologia própria através da hidrólise a partir do bagaço da cana. A intenção é analisar o aprendizado da Dedini com o desenvolvimento do projeto DHR. E posteriormente, se essa iniciativa gerou um aprendizado para o País. Além disso, salientar a importância dessa iniciativa e revelar como ela introduziu a ideia da integração da primeira com a segunda geração para a produção do etanol celulósico; e do uso do bagaço da cana-de-açúcar como matéria-prima.

Essa iniciativa começou nos anos 1980, contexto de crise energética que impulsionava iniciativas para a produção de energia alternativa. Mas, por outro lado, esse projeto começou na terceira etapa do Proálcool, a fase de decadência desse programa. Esse estudo de caso se destaca pela longa duração do seu desenvolvimento, desde a década de 1980 até os anos 2000, chegou-se até a etapa da escala de demonstração em uma planta semi-industrial. Isso confere importância a esse projeto.

Este capítulo está dividido em cinco partes, além da introdução. No item 3.1 apresenta-se a história da Dedini, desde sua criação até a sua consolidação. O item 3.2 apresenta o funcionamento do processo Dedini Hidrólise Ácida (DHR). No item 3.3 é apresentada a história do desenvolvimento do processo DHR desde o início, e suas parcerias. E, no item 3.4 é apresentada a planta semi-industrial, a última etapa do projeto até o momento. Por fim, o item 3.5 destaca o aprendizado gerado pelo DHR e procura-se situar a Dedini atualmente, qual o grau de envolvimento da empresa com a hidrólise e o seu contexto econômico atual.

3.1- Dedini: o papel de uma empresa de Bens de Capital brasileira no processo de inovação em bioetanol

Neste item apresenta-se a história da empresa Dedini, cuja necessidade de desenvolver uma nova rota para a produção de etanol, incitou a empresa a desenvolver a tecnologia da hidrólise ácida, utilizando a cana-de-açúcar como matéria-prima. Essa iniciativa foi escolhida como estudo de caso por haver perdurado muitos anos e logrado resultados importantes. Além disso, esta se sobressai por ser uma iniciativa privada desenvolvida na década de 1980, na fase de decadência do Proálcool, ou seja, ela iniciou quando os incentivos e apoio do governo ao programa se reduziram. A história da empresa é apresentada nesse primeiro item com a intenção de entender melhor sua constituição no cenário brasileiro.

A empresa Dedini, que hoje é o Grupo Dedini, teve início com a imigração de Mario Dedini para o Brasil, em 1915. Esse imigrante italiano veio ao Brasil para trabalhar na usina *Amália* em Santa Rosa do Viterbo (SP), pertencente ao grupo *Matarazzo*. Depois, ele foi transferido para a Usina Santa Bárbara, localizada em Santa Bárbara d'Oeste a fim de exercer a função de mecânico de máquinas. Mário Dedini possuía conhecimento na produção de açúcar, pois era técnico da área, e já havia trabalhado em uma usina de açúcar a partir de beterraba, na Itália.

Através do trabalho na Usina Santa Bárbara, e de sua participação na usina desde a fase de montagem, Mário passou a dominar a tecnologia francesa para a produção de açúcar. Esse aprendizado foi fundamental para o começo de seu “próprio negócio” (LEÃO, 2005).

Mario e seu irmão, Armando Cesare Dedini, compraram em sociedade a oficina mecânica “José Sbravetti”. O trabalho da oficina iniciou-se através de consertos de veículos e implementos agrícolas e depois passou para reparos e fornecimento de peças de reposição para os engenhos. A oficina começou com um fluxo razoável de clientes (LEÃO, 2005; NEGRI, 1977).

E passou a prestar serviços para os engenhos de açúcar. Assim, os irmãos Dedini perceberam um novo mercado, ao ver que podiam consertar algumas peças dos engenhos. A

oficina tornou-se a única empresa a prestar assistência para os engenhos, expandindo-se rapidamente (LEÃO, 2005; NEGRI, 1977). O período que vai de 1920 a 1928 constitui o início da oficina Dedini (NEGRI, 1977).

A Dedini era uma das únicas fornecedoras de equipamentos para a agroindústria canavieira. Assim, a Dedini foi se consolidando com o tempo, apoiando-se em uma estratégia original de financiamento de suas vendas. A Dedini aceitava os equipamentos antigos do engenho como parcela do pagamento, se o proprietário não possuíssem crédito. Esse arranjo proporcionou a difusão da tecnologia e o desenvolvimento do setor sucroalcooleiro no país (LEÃO, 2005; NEGRI, 1977).

Outra estratégia interessante da empresa Dedini foi o estímulo à criação de novas usinas. A empresa entrava na sociedade da usina com seus equipamentos, caso algum grupo ou pessoa tivesse interesse em montar uma usina, mas não dispusesse de todo o capital necessário. Isso foi bom para a própria empresa, pois essas usinas serviam de laboratório para a empresa, assim a Dedini podia experimentar suas novas tecnologias ou melhorar as antigas.

Em decorrência da 2ª Guerra Mundial, em 1941, o Instituto do Açúcar e do Alcool aumentou a proporção obrigatória da adição de álcool anidro a gasolina de 5% para 20%, o que impactou no aumento da produção de bioetanol. Consequentemente houve um aumento do número de destilarias, o que aquecia a demanda por máquinas e equipamentos do setor sucroalcooleiro. No período, houve vários incentivos do governo para financiar as destilarias, anexas às usinas ou autônomas. O crescimento das destilarias foi expressivo nessa época. Segundo Negri (1977), em 1939 elas eram 31, já em 1941 chegaram a 44 unidades.

Nesse contexto foi criada, em 1941, a Construtora de Destilarias da Dedini (CODISTIL). A criação desta empresa marcou o começo do processo de diversificação da empresa. As políticas adotadas pelo governo influenciaram e estimularam o crescimento do setor sucroalcooleiro, com foco na produção do etanol (anidro). Isso contribuiu para a maturação da empresa, com ampliação da produção e das linhas de produto, proporcionando um período de aprendizado (LEÃO, 2005; NEGRI, 1977).

O capital social da empresa triplicou de 1926 a 1932 (NEGRI, 1977). Pode-se dizer que, na fase de maturação da empresa, as políticas do governo para expansão da produção da agroindústria canavieira, principalmente através da criação do mercado de bioetanol, foram importantes para o crescimento da Dedini. A partir desse momento de consolidação, houve um período de grande expansão da empresa. A Dedini se consolidou como grande empresa nacional entre o final da Segunda Guerra Mundial até 1995.

Segundo Negri (1977), a diversificação das atividades produtivas da empresa foi fundamental para o crescimento da Dedini. Uma vez que ela possibilitou a empresa assumir a liderança no fornecimento de máquinas e equipamentos para o setor sucroalcooleiro. Antes disso, a empresa estava vulnerável às oscilações do mercado de açúcar, pois a sua produção era destinada apenas às usinas. Portanto, a diversificação foi uma saída para esse problema. A empresa continuava produzindo para as usinas e aprimorava a técnica de seus produtos, enquanto tentava uma diversificação. O crescimento da Dedini pós-1955 foi viabilizado, em grande parte, pela diversificação (NEGRI, 1977). A produção foi se diversificando e a empresa passou a produzir pregos, parafusos e bens de capital sob encomenda para outras indústrias, como a petroquímica, química, indústria do cimento e de papel e celulose. A siderurgia foi fundada em 1955 e seu objetivo principal consistia em proporcionar uma maior integração vertical para a empresa.

Pode-se perceber, segundo a análise feita por Negri (1977) que a empresa seguiu duas estratégias principais:

- Continuar na sua linha de produtos, melhorando a técnica, buscando ampliar sua produção e mercado e;
- Diversificar produtos destinados a outros mercados, além do sucroalcooleiro, com a intenção de diminuir sua dependência em relação aos ciclos desse setor.

Nessa estratégia, os anos 1940 ainda são marcados por uma diversificação para mercados com certa semelhança. Exemplo disso foi o aumento da produção de máquinas e equipamentos para as destilarias. Já nos anos 1950, foi realizada uma diversificação na produção com foco em outras indústrias.

A diversificação serviu para alcançar novos mercados e também como uma barreira à entrada para outras empresas. A Dedini fornecia todas as máquinas e equipamentos para o setor de açúcar e álcool, montando uma usina completa. E esse período de crescimento da empresa via diversificação coincidiu com o período de industrialização da economia brasileira.

Em 1970, a empresa iniciou uma mudança de estratégia a partir do falecimento de seu fundador. A Dedini passou por uma reestruturação na administração do grupo com a contratação de profissionais da área. Com isso, a administração tornou-se mais descentralizada, com distribuição das empresas entre os familiares.

No mesmo período houve uma mudança na direção da diversificação e a formação de uma *joint venture* em 1973, com uma empresa japonesa para diversificar a produção e focar em produtos de engenharia. A Dedini fez esse acordo com duas empresas, *Kawasaki Heavy Industries LTD e C.Itoh e Co. LTD*, a fim de obter tecnologia de produção. Essa *joint venture* permitiu aumentar a participação da empresa em setores como siderurgia, cimento, mineração e energia (LEÃO, 2005; NEGRI, 1977).

Como foi mencionado no capítulo 2, a maioria das tecnologias utilizadas pela Dedini eram de domínio público. E no início da década de 1970 as usinas brasileiras estavam com a tecnologia ultrapassada. Assim, tanto a Dedini, quanto a Zanini, principais fornecedoras de máquinas e equipamentos para as usinas, perceberam isso e resolveram realizar um “Programa de Modernização” baseado na tecnologia internacional (MARIOTONI, 2004).

Somado a isso, em 11 de novembro de 1975, o então presidente Ernesto Geisel instituiu o Proálcool. O Proálcool impactou profundamente a Dedini, assim como outras fornecedoras de máquinas e equipamentos para o setor sucroalcooleiro. A Codistil foi a que mais se beneficiou do Proálcool, principalmente pelo aumento na construção de destilarias. Em 1975, a Dedini respondia por 55% das vendas para o setor sucroalcooleiro, enquanto a Zanini, sua principal concorrente, respondia por 23%.

Enfim, o principal impacto que o Proálcool provocou na Dedini, foi a criação de um novo mercado ascendente, o de etanol anidro e do hidratado. Na época houve grande demanda para a instalação de novas destilarias, fossem anexas ou autônomas.

Após a decadência do Proálcool, o ritmo de crescimento da empresa caiu. E, nos anos 1990, os prejuízos e as dívidas da empresa aumentaram pois ela foi afetada pela retração do setor sucroalcooleiro, principalmente com a queda do mercado de etanol. Somado a isso, o processo de liberalização dos anos 1990 e as políticas do governo Collor provocaram uma redução do Grupo Dedini (OLIVEIRA FILHO, 2013).

Nessa década, a fim de solucionar a crise, a empresa realizou fusões. A principal fusão foi com a empresa Zanini, outra importante fornecedora de máquinas e equipamentos para o setor sucroalcooleiro. A fusão ocorreu em 1992 e formou a D.Z S.A Engenharia, Equipamentos, e Sistemas. Porém essa fusão não resolveu a situação e durou pouco tempo, finalizada ao final de 1994 com um acordo entre as partes. Ainda assim, a situação da Dedini continuou complicada, ocorrendo redução das suas atividades em 1995, em torno de 22 %. Assim, a saída foi a venda de seus ativos (OLIVEIRA FILHO, 2013).

A empresa só conseguiu sair dessa crise com o financiamento e empréstimos do BNDES. Somado a isso, nos anos 2000 houve um crescimento ascendente da empresa, novamente influenciada pelo setor sucroalcooleiro. Mas principalmente pela volta do mercado para o etanol combustível, possibilitada pela criação dos motores bicom bustíveis, como mencionado no capítulo 2 (OLIVEIRA FILHO, 2013).

Vale ressaltar que a Dedini passou a comercializar a planta de biodiesel integrada a uma usina, em 2006 a primeira planta foi instalada. Essa usina, Barralcool, produz biodiesel a partir de óleos vegetais e de gordura animal. Já foram vendidas 10 plantas no Brasil e uma na Colômbia (OLIVEIRA FILHO, 2013)

Atualmente, a Dedini atua na produção de bens de capital, como equipamentos para as destilarias e componentes para as usinas, equipamentos em aço carbono e de pequeno porte. A empresa fabrica caldeiras e equipamentos de médio e grande porte. Seu principal mercado consumidor continua sendo o setor sucroalcooleiro, a Dedini domina as tecnologias desde a preparação da matéria-prima até a produção de açúcar, bioetanol, bioeletricidade e do biodiesel. Sua sede localiza-se em Piracicaba, São Paulo além de mais três unidades de produção, duas no nordeste, uma situada em Recife (PE) e a outra em Maceió (AL), e mais uma no sudeste em Sertãozinho (SP) (OLIVEIRA FILHO, 2013).

3.2 – Processo Dedini Hidrólise Rápida (DHR)

O processo DHR utiliza o bagaço da cana-de-açúcar para a produção de etanol celulósico, a partir da tecnologia *organosolv* combinada com uma hidrólise ácida diluída, que utiliza o ácido sulfúrico. Porém, esse processo começou a ser desenvolvido utilizando a madeira como matéria-prima, pois essa tecnologia originalmente funcionava desta maneira. Assim, houve uma adaptação desta tecnologia para o bagaço da cana-de-açúcar, o qual possui suas especificidades. Essa mudança será explanada nos itens a seguir.

Nessa tecnologia, tanto o pré-tratamento quanto a hidrólise ocorrem em um estágio único, no mesmo reator. O processo *organosolv* realiza o pré-tratamento, o qual dissolve a lignina, através da combinação de um solvente em meio aquoso, com aproximadamente 75% de etanol e 25% de água. O pré-tratamento deixa a celulose e hemicelulose expostas para a reação da hidrólise. Essa reação ocorre a uma pressão em torno de 25/28 bar e com a temperatura próxima de 180/200°C. Após a hidrólise ocorrer, a reação sofre um resfriamento através da evaporação *flash* para que não haja a degradação dos açúcares obtidos, já que o meio da reação é ácido. Em seguida ao resfriamento, o licor hidrolisado é encaminhado à destilação para que o etanol seja recuperado no topo da coluna e a lignina fique suspensa, assim o licor com os açúcares pode ser retirado (SOARES e ROSSEL, 2007). Como esse caldo contém ácido sulfúrico, é bombeado para o processo de neutralização, com o uso da cal. Este caldo é clarificado por sedimentação e após esse tratamento fica apto para a fermentação (CORTEZ *et al*, 2008). O processo pode ser observado na figura 4. Nesse processo o etanol é utilizado como solvente orgânico, e reciclado pois é recuperado através da evaporação e destilação.

Esse processo consistia em transformar o bagaço da cana-de-açúcar em etanol celulósico. Assim, primeiro o bagaço era lavado, para a remoção de impurezas, como a terra e a areia. Após isso, o reator era alimentado com o bagaço e ocorria o pré-tratamento e a hidrólise, simultaneamente em um reator contínuo. Assim que a hidrólise ocorria, passava por um resfriamento rápido, a fim de impedir a degradação dos açúcares. Depois do resfriamento, o caldo hidrolisado passava pela destilação e o etanol (solvente) era separado no topo. A lignina separada no fundo da coluna, e o licor de hidrólise com os açúcares eram recuperados. A matéria suspensa era removida e a fermentação ocorria, com a adição do caldo de cana-de-açúcar (SOARES e ROSSEL, 2007).

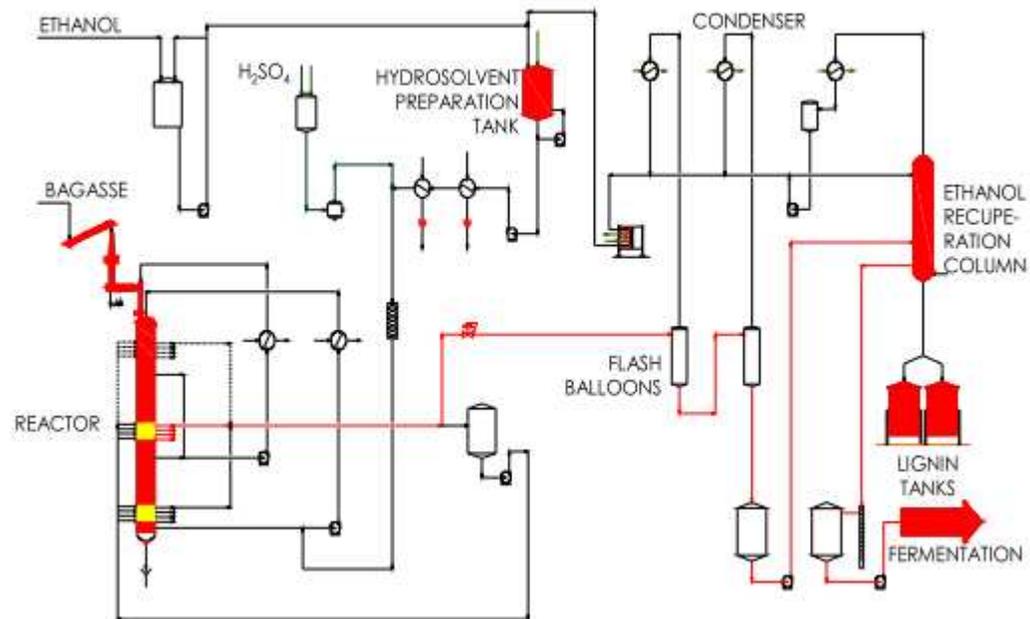


Figura 4 – Fluxograma do processo DHR

Fonte: Extraído de (SOARES e ROSSEL, 2007), p. 27.

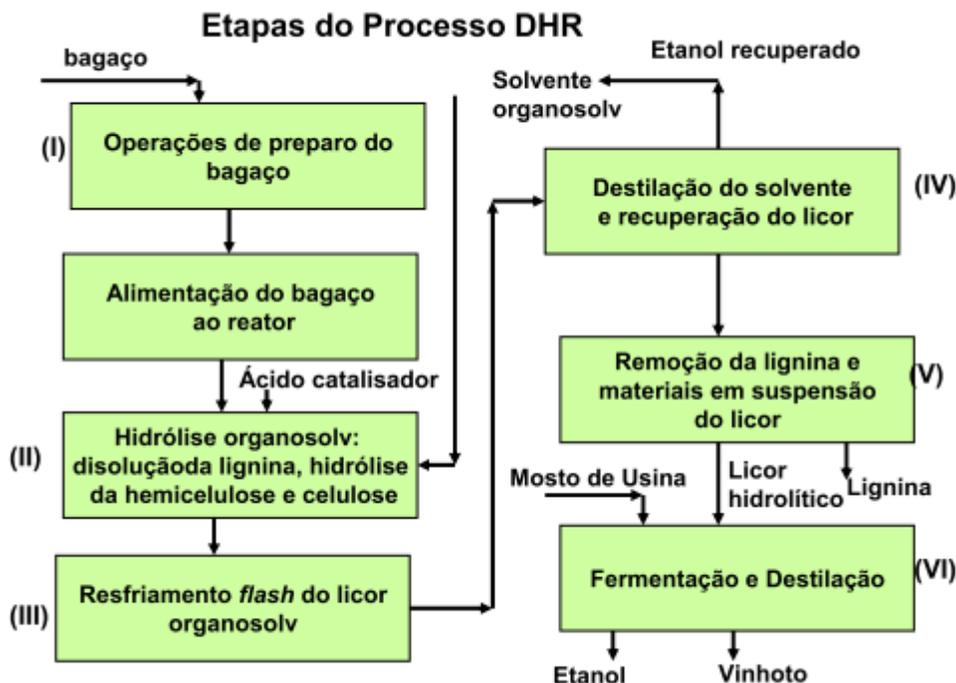


Figura 5 – O processo Dedini Hidrólise Rápida e suas etapas.

Fonte: Extraído de SOARES e ROSSEL (2007), p. 25.

O DHR se destaca em relação aos outros processos de hidrólise, pois o pré-tratamento e a hidrólise ocorrem em apenas um estágio no mesmo reator e por utilizar o bagaço como matéria-prima. A Dedini foi pioneira nessa proposta, além do modelo de integração da segunda com a primeira geração, com a intenção de aproveitar a infra-estrutura e conhecimento existente no país.

3.3 - A história do processo

Nesse item será descrita a trajetória histórica do processo Dedini Hidrólise Rápida (DHR). Desde sua criação, com suas várias etapas, até a evolução para uma planta de demonstração.

No âmbito do Proálcool, a Dedini, principal fornecedora de máquinas e equipamentos para o setor sucroalcooleiro, foi influenciada pela demanda criada. Na época, a trajetória da empresa foi conduzida pela demanda do bioetanol da cana-de-açúcar, criado pelo Proálcool, com mercado estimulado e garantido pelo governo. A Dedini foi influenciada pelas fases do

programa. No primeiro momento do Proálcool, com a fase de expansão da produção, houve a criação de mais destilarias anexas ou autônomas utilizando as tecnologias existentes. No segundo momento, impulsionado pelo decreto da produção do bioetanol hidratado, foram estimuladas melhorias nas tecnologias existentes e na criação de novas, para o aumento da produtividade. Assim, a Dedini decidiu investir em um projeto para a produção de etanol celulósico a partir do bagaço da cana-de-açúcar.

Essa tecnologia começou a ser estudada na década de 1980 e se insere dentro do contexto de discussões de fontes alternativas renováveis, devido à crise energética. Assim, seu sócio majoritário, Dovílio Ometto, assumiu as características de um empresário que resolveu apostar em uma nova rota tecnológica para a produção do bioetanol. Ele não se conformava em extrair apenas o açúcar da cana, e foi um defensor do aproveitamento integral da cana-de-açúcar.

Então, em 1982 foi realizado um levantamento de material bibliográfico junto a especialistas e a escolha foi pela hidrólise ácida para a produção do etanol celulósico, assim foi montado um laboratório de bancada, em 1984. Vale ressaltar que essa iniciativa ocorreu no mesmo período em que o projeto da COALBRA foi instalado, o qual também apostava na hidrólise ácida, porém aplicada a madeira.

Naquela época, a Dedini entrou em contato com o Departamento de Energia dos Estados Unidos da América (DOE sigla em inglês) para fazer uma parceria. No entanto, esta agência informou que a hidrólise para a produção de etanol era um assunto estratégico para os EUA e só podia ser realizada por uma empresa americana

A hidrólise ácida foi escolhida ao invés da enzimática, devido à existência de mais patentes, maior conhecimento e mais pesquisas sobre a primeira. Segundo entrevistados envolvidos diretamente com o projeto, a rota enzimática da hidrólise já era estudada, mas estava em fase de estudos preliminares. Assim, os responsáveis pelo início da pesquisa do DHR acharam que esta rota não seria competitiva no longo prazo.

No início da pesquisa, as análises mais particulares de laboratório eram encaminhadas e realizadas na universidade ESALQ/USP. Porém naquela época não existia uma interação forte

entre a universidade e a empresa para que a pesquisa fosse reforçada (OLIVEIRA FILHO, 2013).

Esse projeto começou com a denominação “Projeto ACOS”, nome derivado de Álcool celulósico *organosolv*. Essa tecnologia foi trazida para a Dedini por um pesquisador canadense. Este cientista apresentou seu projeto para realizar a remoção da lignina através do processo *organosolv*, tecnologia que consiste em utilizar um solvente em meio-aquoso, este pesquisador possuía uma patente sobre este método. Após a Dedini estudar e analisar o projeto proposto resolveu assinar um acordo e desenvolvê-lo.

Esse cientista canadense, Lazlo Panzer, era especialista em papel e celulose e na madeira e foi contratado para desenvolver a hidrólise aplicada no bagaço da cana-de-açúcar. No acordo, o cientista pretendia obter resultados economicamente viáveis em dois anos, porém não conseguiu. Esse acordo não alcançou sucesso, pois a tecnologia que ele possuía alcançava bons rendimentos somente se aplicada à madeira e não àquilo que se pretendia. Quando foi aplicada ao bagaço, não se obteve os rendimentos esperados. As dificuldades encontradas no início dessa pesquisa se relacionam com o manuseio do bagaço da cana-de-açúcar, uma vez que o bagaço possui condições bem diferentes da madeira. Assim, foi necessário que a Dedini buscasse compreender mais sobre a hidrólise e processos químicos. A Dedini entrou em uma área desconhecida e, para desenvolver essa tecnologia com aplicação no bagaço, foi necessário entender a composição dessa matéria-prima (OLIVEIRA FILHO, 2013).

A ideia de extrair etanol celulósico do bagaço se deve à visão de aproveitamento integral da cana do presidente da Dedini. Até então a cana era utilizada para extrair açúcar, sendo que 1/3 de sua energia está presente no bagaço. Além disso, o uso do bagaço traz vantagens para o Brasil, como: (i) vem processado das moendas; (ii) está disponível em grande quantidade no país e; (iii) custo mínimo, pois a matéria-prima já está na usina, isso proporciona economia com o custo de transporte. A intenção da Dedini com esse projeto foi desenvolver uma nova tecnologia que pudesse ser anexada às destilarias instaladas e utilizar a infra-estrutura existente.

A Dedini cancelou o contrato com Lazlo Panzer devido ao insucesso dos testes em laboratório. Uma boa parte da tecnologia do processo era o tratamento da matéria-prima, algo

desconhecido para Lazlo. Assim, a empresa optou continuar esse projeto sozinha, já que o método *organosolv* era uma tecnologia utilizada e conhecida (com informação disponível e o pesquisador não possuía conhecimento sobre a matéria-prima escolhida, o bagaço da cana-de-açúcar).

3.3.1 – Parcerias

A postura da Dedini, ao assumir a iniciativa de desenvolver a tecnologia da hidrólise, fez a empresa procurar parcerias tecnológicas e financiamento. Para continuar com o desenvolvimento do projeto eram necessários grandes investimentos, assim a Dedini passou a procurar parceiros tecnológicos para dividir o risco do investimento. Além disso, a empresa buscava nesses parceiros conhecimento em processos químicos, e/ou no manuseio do bagaço da cana-de-açúcar.

Para o financiamento do projeto denominado “ACOS” de Álcool Celulósico Organosolv, a empresa recorreu à STI. Lorival Mônaco, um dos integrantes da STI, aprovou a ideia do projeto e tornou-se seu grande aliado. Este chegou a levar o projeto ao conhecimento de Bautista Vidal e Israel Vargas. Porém, apesar do interesse na época, a década de 1980 foi um período de recessão econômica que ficou conhecido como a “década perdida”. Com isso, o Brasil não dispunha de verbas para financiar um projeto de pesquisa de fronteira tecnológica.

Para encontrar uma saída e conseguir financiamento, a STI resolveu submeter o projeto ao Banco Mundial (BM) com a finalidade de pedir um empréstimo. O BM enviou especialistas para avaliar o projeto e conferir a sua viabilidade. Por fim, o Banco liberou os recursos, através de um intermediário do governo brasileiro, representado pela Secretaria de Tecnologia Industrial (OLIVERIO e HILST, 2005).

Após a aprovação do empréstimo, o dinheiro foi para o MIC (Ministério da Indústria e Comércio), o qual repassou os recursos para a Dedini. O empréstimo ocorreu em 1986/1987 e possibilitou começar a construção da planta piloto, que ficou pronta em 1989. No artigo “*DHR- Dedini Hidrólise Rápida (Dedini Rapid Hydrolysis): Revolutionary Process For Producing Alcohol from sugarcane bagasse*”, esse financiamento é citado: “no começo da década de 1980, foi aprovado e financiado pelas agências governamentais brasileiras com fundos provindos pelo Banco Mundial” (OLIVÉRIO e HILST, 2005, p. 323). Então, primeiro

houve um levantamento bibliográfico sobre a hidrólise, entre 1981 e 1982, e a pesquisa começou com estudos de bancada. Após isso, foi montada uma unidade piloto em 1989, ao lado do prédio da fundição, com capacidade de 100 litros de álcool por dia que funcionou durante três anos. A equipe era formada por aproximadamente vinte pesquisadores/especialistas de várias áreas (LEAL, 2005).

Mas para desenvolver a P&D não bastava obter um financiamento inicial. Era necessário encontrar um parceiro que possuísse conhecimentos sobre os processos químicos e que tivesse interesse pelo projeto. Então, a Dedini se associou à Rhodia e foi realizada a primeira parceria.

Quando a Dedini resolveu finalizar seu acordo com o pesquisador Lazlo Panzer e decidiu continuar o projeto desenvolvendo uma tecnologia própria, a equipe técnica baseou-se no trabalho de Kleinert (1974) sobre o processo *organosolv*. Esta tecnologia utiliza um solvente misturado com água (solução aquosa) chamado “*Organosolv pulping with aqueous alcohol*”. Indo na mesma linha do estudo de Kleinert, conseguiu-se hidrolisar o bagaço rapidamente e obter um alto teor de açúcar (OLIVERIO e HILST, 2005).

Na fase da escala de laboratório, o processo utilizou um microrreator em dois estágios, primeiro a hidrólise da hemicelulose, em seguida, a hidrólise da celulose. Porém, através dos resultados e dos estágios da pesquisa, verificou-se que a hidrólise realizada em uma única etapa apresentava melhores rendimentos, atingindo 88% de recuperação da glicose.

No início da parceria com a Rhodia, esta empresa realizou um teste com 26 solventes da lignina, escolhendo a acetona, o metanol e o etanol para estudá-los mais a fundo. Em decorrência dos resultados positivos obtidos na fase da escala de laboratório, a Dedini deu continuidade, projetou e construiu uma planta piloto.

A construção da planta piloto foi feita seguindo a configuração de uma planta comercial de larga escala, com todas as funções, estágios e operações de uma planta industrial. E isso foi possível devido ao conhecimento acumulado sobre a hidrólise somado à experiência da Dedini como designer e fabricante de bens de capital.

O funcionamento da planta piloto foi realizado com um reator de hidrólise contínuo. Após 2000 horas operando na planta piloto a empresa obteve resultados favoráveis, como 68% de

execução média e 88% do valor de pico, na conversão em açúcares (OLIVÉRIO e HILST, 2005). A conversão de celulose e hemicelulose eram rápidas. E, o uso do método *organosolv* com solvente em meio aquoso, diminuía a agressividade do meio ácido na hidrólise. Pois a diluição do solvente em meio aquoso permitia altos rendimentos. Além do que, a recuperação dos açúcares era imediata, devido ao resfriamento rápido, o que evitava a degradação do açúcar pelo ácido.

No começo, o processo *organosolv* utilizava a acetona como solvente. E durante a parceria com a Rhodia, a acetona continuou sendo usada, pois esta empresa era grande produtora deste solvente.

Alguns problemas foram identificados na planta piloto, durante a parceria com a Rhodia. O principal problema notado foi o uso da acetona/água como solvente. Este destilado funcionava bem, mas com limitações. O solvente possui baixo ponto de ebulição, o que dificultava o processo, pois exigia altas temperaturas. Por outro lado, a acetona sofria perdas químicas e gerava problemas para camada de ozônio. Além do mais, era um solvente fortemente controlado pelo governo, devido a seu uso na fabricação de cocaína. Portanto, havia uma preocupação no uso desse solvente, pois ele teria que ser distribuído em larga escala, caso a tecnologia chegasse a se difundir.

Importante ressaltar que o processo de Lazlo Panzer foi reformulado para as condições brasileiras e adaptado. Assim a tecnologia *organosolv* foi adaptada e patenteada pela Dedini, com o nome “Dedini Hidrólise Rápida (DHR)”. Na patente original, a tecnologia *organosolv* era aplicada sobre a madeira, utilizando a acetona como solvente, e no processo desenvolvido pela Dedini a tecnologia era aplicada ao bagaço (CARDOSO, 2008).

Um dos objetivos do DHR com a planta piloto foi testar a mistura do caldo hidrolisado ao caldo de cana convencional (mosto) a fim de diminuir os componentes tóxicos do caldo hidrolisado. Em escala de laboratório, selecionou-se uma levedura (*Saccharomyces cerevisiae*) para testar e analisar os resultados. Esse microorganismo foi capaz de metabolizar os principais inibidores presentes no caldo hidrolisado e reduziu a concentração quase a zero, assim conseguiu-se uma boa produtividade (CORTEZ *et al*, 2008).

Essa parceria com a Rhodia durou cerca de cinco anos, e por decisão desta empresa a parceria foi finalizada em 1996. A partir daí a Dedini recorreu a um novo parceiro, a Cooperativa de Produtores de cana-de-açúcar, Açúcar e Álcool do estado de São Paulo (Copersucar). Após um estudo de viabilidade técnico-econômica, o Centro de Tecnologia Copersucar (CTC) aceitou e assinou um acordo de cooperação técnica com a Dedini para a pesquisa do DHR.

A parceria com o Copersucar começou em novembro de 1997, com a realização de um acordo de cooperação técnica entre a Dedini e o Copersucar. Segundo os entrevistados, esse acordo demorou cinco anos para ser implementado. A Dedini já estava a algum tempo tentando ser parceira do Copersucar para o desenvolvimento do projeto DHR. A planta piloto foi transferida da Dedini para o CTC, devido aos recursos humanos, com pesquisadores e técnicos e o *know-how* na área.

Nessa unidade piloto, situada no Centro de Tecnologia Copersucar (CTC)¹⁶, em Piracicaba, foram realizados 345 testes com mais de 2.100 horas (BON e FERRARA, 2007), com o processo Dedini Hidrólise Rápida. A planta piloto rendia em torno de 109 litros de etanol celulósico por tonelada de bagaço (OLIVÉRIO e HILST, 2005). Na planta piloto, a pesquisa se concentrava na hidrólise, ou seja, na produção do licor hidrolítico. Nessa etapa foram executados testes, adicionando o caldo de cana no licor hidrolisado. Com isto, era possível fazer a fermentação em escala piloto dentro dessa planta. Devido aos resultados favoráveis, que podem ser observados na tabela 3, a empresa decidiu fazer o *scale-up*. Então, procuraram a FAPESP para fazer parceria a fim de avançar no estágio de desenvolvimento do processo. O funcionamento da planta piloto era bom, como o rendimento global máximo dos açúcares totais formados, de 54%, e o rendimento máximo da fermentação, de 89%. Porém, antes de colocar em escala industrial, era necessária uma planta de demonstração para testar o processo e verificar se seria viável economicamente, quando se aumentasse a escala. Implantou-se uma Unidade de Desenvolvimento de Processo (UDP), com apoio da FAPESP.

¹⁶Até 2004 esse centro era denominado Centro de Tecnologia Copersucar, mas a partir deste ano a Copersucar abriu o centro aos demais produtores do setor sucroenergético, e passou a seguir uma lógica empresarial atendendo aos interesses dos clientes, passando a ser denominado Centro de Tecnologia Canavieira

Tabela 3 - Desempenho do Processo DHR em escala Piloto (20kg/h de bagaço)

Desempenho	Porcentagem (%)
Rendimento global máximo, em ART	54
Rendimento após a estabilização em ART	59
Rendimento máximo de fermentação	89
ART máximo, não hidrolisado	80 g/l

Fonte: Elaboração própria a partir de CGEE (2009), p. 137

A parceria com a FAPESP foi muito importante para o desenvolvimento do DHR, pois a Dedini tinha um limite de recursos para a pesquisa e o CTC podia se candidatar como instituto de pesquisa, na época, e assim ficava apto a receber auxílios de pesquisa. A maior contribuição da parceria com o CTC foram os recursos humanos, com conhecimentos e *know-how* sobre a cana-de-açúcar. Além disso, o CTC fazia a gestão desse projeto e a parte da pesquisa, e a Dedini ficou como o parceiro tecnológico.

Portanto, para continuar com a pesquisa do DHR e fazer o *scale up*, a parceria com o CTC foi fundamental. Após a separação do CTC da Copersucar, essa instituição revisou seus projetos e mudou suas prioridades. Quando a nova diretoria assumiu, concluíram que o processo DHR não era um projeto de destaque. Ainda assim, o CTC continuou como parceiro nessa tecnologia por mais um tempo, porém diminuiu seus investimentos ao máximo. E, em 2007, na parte final do projeto com a FAPESP, o qual será tratado a seguir, o CTC decidiu não continuar como parceiro tecnológico do DHR e a parceria acabou.

3.4 – *Scale-up* para a planta semi-industrial – Projeto PITE “Processo DHR - projeto, implantação e operação da unidade de desenvolvimento de processo (UDP)”.

Nos anos 2000, após a associação da Dedini com o Copersucar para o desenvolvimento da tecnologia do DHR, as duas instituições submeteram um projeto ao programa Pesquisa em Parceria Para Inovação Tecnológica (PITE), da FAPESP, com a intenção de avançar no *scale up* para uma planta semi-industrial e, assim, verificar se o processo era viável em escala comercial. Essa planta semi-industrial foi instalada em novembro de 2002, através dos recursos de um co-financiamento da FAPESP, Dedini e Copersucar e pode ser observada na figura abaixo.



Figura 6 – Unidade de desenvolvimento de processo (escala de demonstração)

Todo projeto PITE (ver anexo 2) precisa de um pesquisador responsável, o qual assume responsabilidade pela preparação, submissão da proposta, coordenação científica e administrativa do projeto, durante o seu desenvolvimento. No desenvolvimento do projeto

DHR, o pesquisador responsável foi Carlos Eduardo Vaz Rossel¹⁷, na época, vinculado ao CTC.

O projeto teve início em fevereiro de 2002 e durou até o dia 31 de agosto de 2007. Os recursos do projeto foram liberados a partir de 2002, mas a planta começou a funcionar em 2004. Com essa unidade de desenvolvimento de processo (UDP) a intenção era alcançar a produção diária cinquenta vezes maior do que a da planta piloto.

A partir do envolvimento da FAPESP foi que o desenvolvimento desse processo ganhou notoriedade a nível nacional e até internacional. Percebe-se que começa a surgir reportagens em jornais mais conceituados, como valor econômico, revistas especializadas e de circulação nacional, enfatizando a importância da segunda geração, principalmente da hidrólise para a produção de bioetanol. Nota-se a importância que o projeto ganha, participando de eventos, congressos sobre a discussão de energias alternativas, hidrólise. Na época era o único projeto brasileiro com destaque sobre hidrólise para a produção de bioetanol. Então, o papel da FAPESP apoiando esse processo foi fundamental para que ele avançasse, tanto para construção da planta semi-industrial, quanto para o envolvimento da empresa e do CTC em discussões, fóruns.

O *scale-up* foi fundamental nessa etapa da pesquisa, principalmente quando passou da planta piloto para a planta semi-industrial, pois foi nessa extrapolação que o processo enfrentou as maiores dificuldades. Isso ocorreu pois os rendimentos da planta piloto eram bons (favoráveis), mas quando sofreu o *scale-up* não logrou manter a mesma eficiência.

O processo apresentou os gargalos de uma hidrólise ácida, os quais eram amenizados pelo método *organosolv* e pelo curto espaço de tempo da reação. A condição para a remoção da lignina é severa nesse processo, devido ao uso do ácido, o que torna o meio corrosivo e pode degradar os açúcares formados. E por ser uma hidrólise ácida, há muita corrosão/abrasão dos equipamentos utilizados no processo. No caso específico do DHR, os subprodutos da degradação dos açúcares e da lignina são tóxicos para os micro-organismos do processo de fermentação (OLIVEIRA FILHO, 2013).

¹⁷ Na época o pesquisador Carlos Eduardo Vaz Rossel era vinculado ao Copersucar, atualmente é diretor do Programa Industrial no Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE).

O processo DHR, na planta de demonstração, era acoplado a uma usina convencional de produção de bioetanol - Usina São Luiz¹⁸ em Pirassununga pertencente à Dedini na época – compartilhando utilidades e sistemas de suporte e usando a planta convencional para fermentação/destilação no processo final de produção. A capacidade da planta semi-industrial era em torno de dois mil quilos de bagaço por hora e produção de 5000 litros de bioetanol por dia (BOM e FERRARA, 2007).

Ao longo do desenvolvimento da tecnologia do DHR foram superados alguns problemas do processo, em um processo empírico, como: (i) seleção de materiais compatíveis para ambientes corrosivos; (ii) alimentação contínua do bagaço em reatores, sob pressão elevada; (iii) automação e controle. Esses gargalos foram superados através do aprendizado realizado com a operação da planta semi-industrial.

As principais dificuldades no processo DHR referem-se ao *scale up* (extrapolação) da tecnologia. A planta semi-industrial apresentou dificuldades operacionais, com o manuseio de insumos como a alimentação do bagaço da planta. Este possuía muita terra e areia e isso só foi percebido devido à abrasão dos materiais, o que causou a interrupção do processo produtivo. Após isso, percebeu-se que havia a necessidade de implantar um sistema de limpeza e de pré-tratamento do bagaço porque essa era a principal causa da corrosão dos equipamentos

Esse processo operou de modo uniforme e estável, desde 2003. Alguns desafios não foram superados nesse projeto como a conversão da fração das pentoses em bioetanol, que são os açúcares resultantes da hidrólise da hemicelulose. Esses açúcares não são fermentáveis com as leveduras conhecidas.

¹⁸ Vendida a Abengoa (<http://www.abengoabioenergy.com>) posteriormente.

Tabela 4 - Dados operacionais – DHR (planta semi-industrial)

Operação contínua	Períodos acima de 24 hrs
Alimentação de bagaço	Umidade de 50%; de 850-2000 kg/h
Vazão de solvente organosolv	60% etanol + 40% água
Pressão no reator	20 bar
Temperatura reação	180° C
Tempo reação	10-12 min
ART (hexoses, pentoses, e outros)	1,5% - 2,5 %

Fonte: Elaboração própria a partir CGEE (2009).

A possibilidade apresentada pelo DHR de integração da primeira geração com a segunda geração, ou seja, anexar o processo de hidrólise às usinas existentes colocava essa tecnologia em vantagem em termos econômicos, devido a infraestrutura pronta de transporte da matéria prima. Na figura 7, demonstra-se o processo DHR, de maneira simplificada.

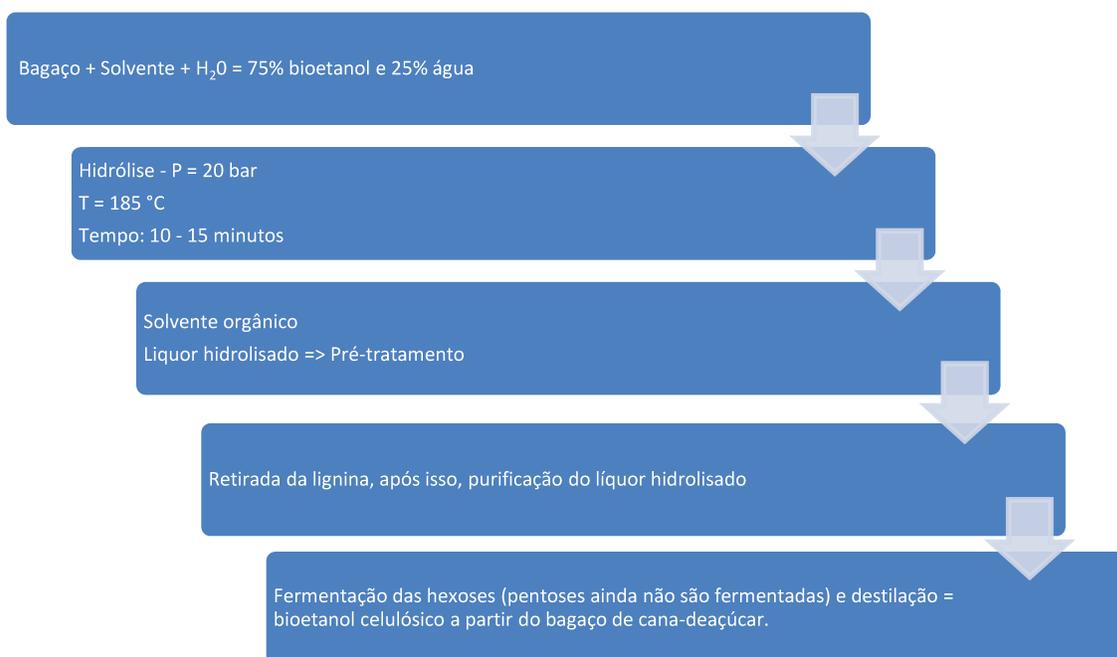


Figura 7 – Processo DHR em fases

Fonte: Elaboração própria a partir de Rossel *et al.*, 2005 e CORTEZ *et al.*, 2008.

Para dar continuidade ao funcionamento da planta semi-industrial era necessário realizar um alto investimento em compra de equipamentos específicos. A Dedini sozinha não possuía capital suficiente para isso e estudos econômicos mostravam a inviabilidade econômica do processo, devido a sua elevada abrasão e corrosão. Além disso, no dia 31 de dezembro de 2008, houve um incêndio na usina São Luiz ao lado do local onde a planta semi-industrial estava instalada, o que interrompeu o funcionamento dessa unidade.

A experiência com a hidrólise ácida mostrou como esse processo é agressivo e necessita de materiais especiais, pois há abrasão e desgaste e, além disso, gera resíduo. Isso faz parte do aprendizado e conhecimento acumulado pela Dedini em hidrólise ácida para a produção de biocombustível, principalmente utilizando o bagaço como matéria-prima.

Essa planta semi-industrial trouxe vários aprendizados para os atores envolvidos. Desde os mais simples, como a percepção da necessidade de limpeza do bagaço antes de ser alimentado no reator, até os mais complexos como, a elaboração de relatórios com materiais mais adequados ao processo de hidrólise ácida.

Esse envolvimento da Dedini com a FAPESP modificou a relação entre esses dois atores, pois a partir do projeto PITE, a FAPESP assinou convênio com a Dedini para chamada de propostas de pesquisa para projetos de pesquisa científica e tecnológica cooperativos, entre pesquisadores de universidades do Estado de São Paulo e da Dedini. Esse convênio visa o avanço do conhecimento científico e tecnológico para a produção de etanol de cana-de-açúcar. Houve uma chamada de proposta em 2008, denominada “Aplicações de técnicas de CFD na melhoria e eficiência de estágio em colunas de destilação para produção de etanol”, pertencente ao pesquisador José Antonio Silveira Gonçalves, do instituto de engenharia química da UFSCar.

Chega-se à conclusão de que a experiência do desenvolvimento realizada pelo DHR, principalmente com a planta semi-industrial, serviu para determinar parâmetros de engenharia de processos para a elaboração e construção de uma planta em escala industrial de hidrólise e para a organização do processo. E a equipe envolvida nesse projeto adquiriu experiência e conhecimento a partir de um aprendizado, essencialmente baseado em conhecimentos empíricos, em um processo de tentativa e erro.

3.5. O Aprendizado obtido com o Projeto DHR

O desenvolvimento do processo DHR durou quase três décadas, devido a isso acumulou conhecimento, experiência e gerou um aprendizado, tecnológico e relacional.

A Dedini, influenciada pela demanda criada pelo Proálcool, impulsionou a proposta para o desenvolvimento da hidrólise ácida com o uso do bagaço de cana-de-açúcar como matéria-prima, o que era novo e exigiu uma adaptação. Além disso, incitou a ideia de anexar a hidrólise às destilarias existentes, ou seja, integrar a primeira com a segunda geração. E assim aproveitar a infraestrutura existente nas usinas tradicionais, a fim de inserir as etapas posteriores a hidrólise.

No DHR, o processo proposto foi o método *organosolv*, o qual já era conhecido e utilizado, mas com uso da madeira como matéria-prima. Quando foi aplicado ao bagaço, percebeu-se que as especificidades da nova matéria-prima eram bem diferentes, assim foram realizadas várias modificações. E foi gerado um aprendizado com o manuseio do bagaço, desde a fase de

limpeza até a hidrólise e em relação as suas especificidades no processo produtivo (ROSSELL *et al.*, 2005). O conhecimento acumulado com as especificidades do bagaço foi um aprendizado tecnológico importante e coloca o Brasil em uma posição de destaque, uma vez que as empresas estrangeiras tem vindo para o país em busca desse conhecimento.

Nesse estudo de caso, apesar da tecnologia *organosolv* já existir e ter sido importada através dos conhecimentos de Lazlo Panzer, essa tecnologia foi adaptada ao uso no bagaço de cana-de-açúcar. Assim como Lall (2005) ressalta, essa é uma das formas de países de industrialização recente desenvolverem o aprendizado. E assim foi realizado nesse estudo de caso.

O aprendizado realizado pela Dedini foi baseado em conhecimentos empíricos, tal como aponta Rosenberg (1983), pois a empresa não dominava os processos produtivos da indústria química, já que é uma empresa de bens de capital. Os fatos empíricos fazem um conhecimento tecnológico. A empresa não previu os problemas, devido ao baixo controle de processo e de qualidade, por não possuir um laboratório de pesquisa e desenvolvimento e nem conhecimento em processos químicos. Isso foi um dos motivos que levou à Dedini a recorrer a parceiros, para auxiliá-la no *scale-up* e com os resíduos resultantes da hidrólise ácida. Assim ela fez sua primeira parceria com a Rhodia, uma empresa química, que tinha o interesse em desenvolver o etanol celulósico a partir da hidrólise.

Na segunda parceria, realizada com o Copersucar, nota-se que foi o momento em que a pesquisa se tornou mais “nacional”, devido ao conhecimento do CTC com a cana-de-açúcar e com o bagaço. Nessa parceria, tanto a empresa como o instituto de pesquisa são ligados ao setor sucroalcooleiro nacional, assim os objetivos ficaram mais próximos. A intenção era a de desenvolver uma tecnologia nacional utilizando uma matéria-prima e uma infraestrutura e nacional.

O Projeto PITE, ao viabilizar a instalação da planta semi-industrial, trouxe uma contribuição muito importante. Foi gerado um aprendizado para a equipe envolvida, da Dedini, do CTC e da FAPESP. Com essa planta de demonstração, aprendeu-se como manejar o bagaço, como alimentar o bagaço no reator em alta pressão, como manter o reator estável, como fazer a limpeza do bagaço da cana-de-açúcar e remover areia e metais. Também foram

desenvolvidos relatórios com os materiais especiais para o processo e um sistema de controle. Enfim, todas as etapas foram realizadas e testadas em escala semi-industrial. Assim, através dessa planta semi-industrial, todos os processos puderam ser testados para que se pudesse evoluir até alcançar uma planta de escala industrial. Essa parte caracteriza-se como um aprendizado tecnológico, assim como KATZ (2010) descreve, o aprendizado envolve tentativas, erros e novas tentativas até se chegar a inovação. Como pode ser percebido, assim foi executado no desenvolvimento da tecnologia DHR, houve tentativas e erros em diversas etapas do processo nessa planta, o que gerou um aprendizado empírico.

O conhecimento acumulado através do aprendizado desenvolvido proporcionou certo domínio da hidrólise e informações sobre o que não deve ser feito. E assim, essa empresa está apta para ser parceira de outras empresas. Além disso, o desenvolvimento do DHR deu as bases do processo para se fazer o pré-tratamento, o qual se configura como um dos principais gargalos para o etanol celulósico, assim a Dedini pode ser procurada para fazer parcerias ou para vender o processo DHR. Deste modo, em 2010 a Dedini assinou um acordo de cooperação com a Novozymes – líder dinamarquesa na produção de enzimas – para o desenvolvimento da tecnologia de produção de etanol celulósico (BATISTA, 2010). A intenção da Novozymes com essa parceria é aproveitar o conhecimento desenvolvido pela Dedini com o manuseio do bagaço da cana-de-açúcar, principalmente.

Nota-se que foi assinado um convênio de cooperação técnica entre a FAPESP e a Dedini, o qual visa o avanço do conhecimento científico e tecnológico para a produção do etanol de cana-de-açúcar. Pode-se dizer que o acordo de cooperação técnica com a FAPESP faz parte do aprendizado relacional desenvolvido pela Dedini e pela FAPESP. Ambas aprenderam a se relacionar, uma com a outra, apesar das burocracias com a prestação de contas para a FAPESP. Pode-se dizer que isso foi uma extrapolação desse processo e do projeto PITE.

Outro aprendizado identificado é o relacional, através do envolvimento da Dedini em parcerias para o desenvolvimento do processo DHR. Assim como é caracterizado por Furtado e Freitas (2004), através das realizações das parcerias ao longo do desenvolvimento do projeto, a Dedini aprendeu a se relacionar e a formar parcerias, com empresas, institutos de pesquisa e instituições de fomento. Esse aprendizado relacional é mais evidente na parceria

realizada com o CTC e com a FAPESP. Na parceria com o CTC, a Dedini aprendeu a se relacionar com uma instituição de pesquisa, que já possuía conhecimento e experiência com a pesquisa em cana-de-açúcar.

Mais um aprendizado relacional desenvolvido foi com a FAPESP, uma instituição pública estadual com uma lógica totalmente diferente de uma empresa. Assim, a Dedini aprendeu como a recorrer ao financiamento de uma instituição de fomento. Nesse caso específico, aprendeu a lidar com a burocracia exigida por essa instituição.

O aprendizado desenvolvido com o DHR extrapolou a Dedini e o CTC, já que foram elaborados relatórios da planta de demonstração, que ficaram com a FAPESP. E pode-se dizer que a FAPESP passou a perceber a importância das tecnologias de segunda geração, como a hidrólise, a partir do seu envolvimento com o DHR, tanto que em 2008 lançou o BIOEN.

E o próprio CTC, continuou na pesquisa e desenvolvimento para o etanol celulósico, a partir de uma rota tecnológica diferente, a hidrólise enzimática, mas utilizando o conhecimento e a experiência acumulado através da parceria com o desenvolvimento do DHR. Além do mais, o CTC aprendeu a buscar outras fontes de financiamento e atualmente foi a primeira instituição a ser aprovada no PAISS. E, também aprendeu a fazer parceria tecnológica com uma empresa, assim estabeleceu a parceria com a Novozymes, desde 2007 (BATISTA, 2010).

Hoje em dia, uma das possibilidades do DHR é ser utilizado como pré-tratamento, o qual se configura com um dos principais gargalos tecnológicos para o etanol celulósico, assim a Dedini pode ser procurada para fazer parcerias. Portanto, revela-se o aprendizado através de um processo desenvolvido ao longo dos anos com melhorias e incrementos.

Em 2010, a Dedini assinou acordo de cooperação com a Novozymes – líder na produção de enzimas. Isso demonstra, mais uma vez, que o desenvolvimento do DHR ocasionou um aprendizado relacional e a empresa ficou apta a fazer parcerias com empresas de todos os níveis e até com institutos de pesquisa, na esfera privada ou pública.

Atualmente a Dedini encontra-se sem possibilidades de investir nesse projeto, pois a empresa foi afetada pela crise do setor sucroalcooleiro de 2008. Essa tecnologia parou de ser desenvolvida, devido a vários motivos, como: (i) os gargalos tecnológicos, principalmente

abrasão/corrosão dos equipamentos do processo produtivo; (ii) o fim do co-financiamento da FAPESP devido ao término do projeto PITE; (iii) o incêndio na usina São Luiz, e a conseqüente queima dos aparelhos da planta semi-industrial; (iv) crise do setor sucroalcooleiro, desde 2008, que afetou a Dedini. Com isso, a divisão de projetos da empresa ficou pequena e a empresa não está em condição de desenvolver esse tipo de projeto, que envolve grandes investimentos. O investimento da Dedini em P&D foi em torno de 0,3 a 0,5%, em 2011 e 2012, segundo Oliveira Filho (2013).

A intenção desse capítulo foi a de reconstituir a trajetória do desenvolvimento do processo Dedini Hidrólise Rápida, ao longo dos anos. E através disso, analisar o aprendizado para a Dedini. E posteriormente, se essa iniciativa gerou um aprendizado para o país. E ressaltar a importância dessa iniciativa e revelar como ela introduziu o modelo de integração da primeira com a segunda geração para a produção do etanol celulósico; e do uso do bagaço da cana-de-açúcar como matéria-prima, na ideia de aproveitamento integral da cana-de-açúcar.

CONCLUSÕES

Este estudo mostrou que os esforços e as iniciativas dirigidas para a rota da hidrólise representam um novo estágio para o país em matéria de ciência, tecnologia e inovação do etanol de cana-de-açúcar, que é um produto nacional importante. No Brasil, essa tecnologia pode ser agregada ao modelo tradicional, integrando-se a segunda com a primeira geração. Vale ressaltar que a Dedini foi pioneira na promoção deste conceito.

As tecnologias de segunda geração se colocam como importantes, pois através delas pode-se aproveitar a energia acumulada na biomassa, convertendo essa energia em calor, eletricidade ou combustível. A segunda geração possui grandes chances de ser o novo paradigma de produção de energia a partir da biomassa. E dentro da segunda geração, a hidrólise é vista como importante no contexto atual, pois é uma tecnologia que possibilita garantir a demanda futura de combustíveis reduzindo as necessidades de expansão de área plantada. Porém, para se tornar realidade esse processo requer altos investimentos.

Quanto ao investimento e patenteamento dessa tecnologia, os EUA investem forte na pesquisa e desenvolvimento em hidrólise para a produção de etanol combustível. Atualmente, o Brasil é visto como um país potencial para a implementação dessas novas tecnologias, muitas empresas procuram proteger suas patentes no país. O Brasil se coloca como um país atrativo no que se refere à produção de biocombustíveis e em hidrólise, pois produz muita biomassa e possui um mercado consumidor de grande porte. Tanto que algumas companhias tem se estabelecido dentro do país, como a Novozymes e Genencor.

Na década de 1980, houve uma atividade intensa de patenteamento no Brasil, influenciada pelo Proálcool. Em relação à quantidade, o maior número de patentes depositadas no Brasil até 2009 é dos EUA, mas Suécia, Finlândia, Dinamarca, Alemanha, Japão, Holanda e o Brasil são importantes atores na produção de etanol. Os EUA investem substancialmente em tecnologias para o etanol celulósico. A expressiva participação dos residentes americanos nos depósitos do INPI revela como o Brasil é percebido pelas empresas desse país, como sendo um potencial concorrente e um importante mercado consumidor.

As principais barreiras técnico-econômicas identificadas no estudo são o pré-tratamento e o complexo enzimático para realizar a hidrólise. E apesar da evolução científica e técnica do processo devido aos vários anos de P&D, o custo dessa tecnologia ainda não é competitivo. Essa corrida por patenteamento de pesquisas de hidrólise pode se tornar uma ameaça para o Brasil, se o país perder a janela de oportunidade da segunda geração, e assim não se manter na liderança da produção do etanol e perder seu espaço no estado-da-arte da tecnologia. Nesse sentido, há a necessidade de se avançar no conhecimento científico e tecnológico sobre o etanol, valorizando o conhecimento adquirido ao longo dos anos no Brasil com etanol de primeira geração, a fim de não perder essa janela de oportunidade. Em termos econômicos, no Brasil, é necessário que o etanol celulósico seja competitivo com o de primeira geração, uma vez que no país a produção é consolidada e seu custo é muito competitivo.

Pode-se concluir, através do histórico traçado do bioetanol no Brasil, que houve importante papel das políticas públicas na promoção desse biocombustível. E, também na consolidação deste na matriz energética.

Houve um primeiro momento de iniciativas para desenvolver a hidrólise para a produção de etanol celulósico. Essas iniciativas ocorreram na década de 1970 e 1980, durante o Proálcool, influenciadas pelo mercado criado com esse Programa. Na época as políticas existentes foram, principalmente, de oferta, de demanda e de regulação, mas não houve uma política de ciência e tecnologia voltada para a inovação. A política energética, nesse período, foi coordenada, mas não houve um projeto tecnológico, voltado para uma nova forma de produção de bioetanol, ou seja, não havia uma política de promoção da inovação. Apesar desse viés, as primeiras iniciativas para o etanol celulósico foram realizadas durante a crise energética mundial, período no qual o governo brasileiro impulsionou a criação de um programa energético, o Proálcool. Essas iniciativas foram criadas em um contexto de políticas públicas voltadas para a promoção de fontes de energia alternativa.

Não houve um plano diretor para o desenvolvimento de tecnologias para este combustível, ou seja, não houve promoção direta e coordenada da tecnologia de hidrólise para a produção do etanol. A exceção é o “Projeto Coalbra”, que se constitui em uma iniciativa direta do governo federal, por meio do Ministério de Agricultura, de introduzir no país a tecnologia da

hidrólise utilizando a madeira como matéria-prima para a produção de etanol. Apesar do “Projeto Coalbra” ter sido uma iniciativa do governo federal, não houve uma política de inovação envolvida nisso, pois a estratégia apoiou-se na importação de uma planta pronta (*turn key*). Conclui-se que não havia a promoção da inovação por meio de políticas e que o etanol celulósico não estava nos planos explícitos do governo.

Dessas primeiras iniciativas o Dedini Hidrólise Rápida, que foi escolhido como estudo de caso, se iniciou na fase de saída do governo no Programa e da desregulamentação do setor, da década de 1990, que se deveu ao processo de liberação e de mudança institucional do país. E apesar das dificuldades, o projeto DHR persistiu por quase três décadas.

A partir dos anos 2000, há uma retomada do interesse pelo bioetanol no plano internacional e no Brasil. Percebe-se um direcionamento na promoção de inovação para o etanol de segunda geração, que se reflete também no plano nacional. Vale ressaltar que no Brasil ainda são apenas iniciativas que não se configuram em uma política coordenada. Destacam-se entre as iniciativas mais importantes a criação do Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol, que possui o foco na pesquisa e desenvolvimento do etanol de segunda geração, e o Plano BNDES-FINEP de Apoio à Inovação dos Setores Sucroenergético e Sucroquímico (PAISS) que incentiva através do financiamento projetos em escala industrial de segunda geração.

Das iniciativas atuais de segunda geração percebe-se que a maior parte teve apoio explícito do governo ou se iniciou devido algum princípio do governo. De maneira que, atualmente, as políticas para o bioetanol estão voltadas mais para ciência, tecnologia e inovação, configurando-se em PCT&I.

Nesse contexto histórico, destaca-se a importância dessa iniciativa da Dedini pela longa duração do seu desenvolvimento, que se estendeu desde a década de 1980 até os anos 2000 e ocorreu em um período de refluxo das iniciativas públicas destinadas à promoção do bioetanol, alcançando a escala de demonstração em uma planta semi-industrial. Essa escala, no caso de uma energia alternativa é muito importante, pois permite atestar a viabilidade da produção da nova tecnologia.

Esse projeto foi pioneiro ao introduzir o aproveitamento do bagaço como matéria-prima na produção do etanol celulósico e ao propor o conceito da integração entre a primeira e a segunda geração, a fim de aproveitar melhor a infraestrutura e o *know-how* existente. Em suma, essa iniciativa foi pioneira ao propor um modelo de aproveitamento integral da cana-de-açúcar.

No que tange o suporte do governo, esse faz-se necessário no caso de inovações para energias alternativas pois atualmente tem-se uma infraestrutura baseada em energias fósseis, o denominado “*carbon lock-in*”. Isso é mais um obstáculo para que as energias alternativas se consolidem no mercado. Assim o suporte do governo, através de políticas públicas, para impulsionar e consolidar a energia alternativa é importante. O etanol brasileiro surgiu como um produto através de um conjunto de políticas coordenadas pelo Proálcool. E este Programa tornou o Brasil pioneiro na criação de uma energia alternativa ao petróleo, com o etanol como combustível. Ele modificou a relação entre a indústria de bens de capital e o setor sucroalcooleiro. Proporcionou uma interação entre os dois atores, e provocou uma melhora nas tecnologias presentes nas empresas fornecedoras de bens de capital, como a Dedini.

Através desse estudo foi observado que desde o Proálcool ocorreram algumas iniciativas para o etanol celulósico no Brasil. A iniciativa do Dedini Hidrólise Rápida foi privada, perdurou por muitos anos e logrou resultados importantes. O primeiro aprendizado tecnológico desenvolvido foi na adaptação do processo *organosolv* à nova matéria-prima – o bagaço de cana-de-açúcar. Antes o processo era aplicado a madeira. Essa mudança de matéria-prima levou a um importante aprendizado tecnológico. A Dedini foi pioneira no uso dessa matéria-prima, o que permitiu um aprendizado tanto no manuseio, quanto no processamento dessa matéria-prima. Assim, o Brasil desenvolveu um conhecimento que as empresas internacionais vêm procurar através de parcerias ou instalando-se no país. Essa empresa foi, também, a primeira a integrar a segunda com a primeira geração, para aproveitar melhor a infraestrutura existente no sistema agroindustrial da cana-de-açúcar.

As políticas públicas de apoio a esse projeto não tiveram continuidade. Na realidade, elas tiveram dois momentos distintos, o primeiro por meio do apoio da STI e do Banco Mundial, para avançar no desenvolvimento do projeto e fazer o *scale-up* da tecnologia do estágio de

bancada para o de planta piloto e o, segundo, pelo apoio da FAPESP, quando foi financiada uma planta piloto de escala semi-industrial.

Nessa experiência houve um processo importante de aprendizado tecnológico porque passou-se da escala de bancada até a semi-industrial. Isso somente foi possível porque a Dedini envolveu-se com a experiência, mas também porque em um dado momento ela buscou parcerias, com destaque para a parceira na pesquisa com o CTC. Além disso, o apoio do governo estadual, na figura da FAPESP, impactou profundamente o desenvolvimento desse processo. A partir da entrada da FAPESP, com o co-financiamento, esse projeto ganha importância a nível nacional, e essa pesquisa passa a ser reconhecida. Além do mais, ganha a escala de demonstração, etapa importante no caso de uma inovação para uma energia alternativa renovável.

Pode-se afirmar que foi com a parceria realizada com a Copersucar que esse projeto tornou-se um esforço nacional para desenvolver uma nova rota tecnológica para a produção de etanol. Tratava-se de uma parceria entre um laboratório de pesquisa de uma empresa do setor sucroalcooleiro e uma empresa de bens de capital nacional, com o objetivo de desenvolver uma tecnologia adaptada à base tecnológica existente no país, associada ao bioetanol de cana-de-açúcar.

Além do aprendizado tecnológico realizado em escala piloto e industrial, houve um aprendizado relacional da Dedini e do CTC, quando firmaram a parceria. Também houve aprendizado relacional através do projeto PITE, para as partes envolvidas o que ajudou tanto o CTC, quanto a Dedini nas parcerias atuais. Assim, ambas as instituições aprenderam a se associar, e a conseguir financiamento e fomento.

No caso da Fapesp, ela percebeu, a partir de seu engajamento no projeto, a importância da segunda geração para o futuro da produção de bioetanol, o que contribuiu para desenvolver o programa Bioen. O envolvimento com o projeto DHR permitiu-lhe entender melhor as deficiências na pesquisa e desenvolvimento para a hidrólise.

Uma das grandes vantagens desse processo é a possibilidade de utilizá-lo para o pré-tratamento do bagaço antes da hidrólise enzimática. Portanto essa tecnologia é complementar

à hidrólise enzimática, que atualmente se configura na aposta dominante da indústria. Essa vantagem se configura em um dos maiores aprendizados que ficou para a Dedini, o que permite à empresa ser parceira tecnológica de outras instituições interessadas no desenvolvimento da hidrólise enzimática. Conclui-se que o aprendizado tecnológico desenvolvido com o bagaço e a possibilidade do processo DHR ser utilizado como pré-tratamento foram os maiores e mais importantes aprendizados desse projeto.

Pode-se concluir que o desenvolvimento do processo DHR foi um caso emblemático, mesmo sendo um projeto que não resultou em uma inovação, houve um aprendizado e o impacto indireto ultrapassa as fronteiras da Dedini. Constata-se que os conhecimentos gerados pelo projeto transbordaram, pois a hidrólise a partir da can-de-açúcar começou com a Dedini, mas passou a envolver outros atores, públicos e privados. Tanto a Rhodia, quanto o CTC e a FAPESP continuam com projetos para avançar na hidrólise.

A experiência foi interrompida, devido às barreiras técnicas da hidrólise ácida, mas também ao término do co-financiamento da FAPESP, em 2007, e também, à saída do CTC da parceria. Porém, graças a esse projeto, o país teve um envolvimento muito maior com a segunda geração de etanol. Nesse sentido, pode-se afirmar que, com esse projeto, o Brasil avançou em ciência e tecnologia para o etanol celulósico. Essa dissertação olha o passado na tentativa de trazer lições para o presente e futuro, portanto ela é mais histórica. Entretanto, hoje em dia, a tecnologia da hidrólise está assumindo uma importância cada vez maior, e torna-se relevante fazer análises de diferentes segmentos da hidrólise, principalmente do patenteamento da hidrólise e do pré-tratamento, para que se possa entender a evolução dessas tecnologias e como os distintos atores nacionais e internacionais se posicionam em relação a elas.

O planejamento energético setorial hoje é diferente do que existia na época do Proálcool, quando o IAA controlava a produção e a Petrobras mantinha estoques reguladores, além do Estado interferir muito fortemente no setor. Hoje, aparentemente existe uma política de CT&I mais articulada, porém o planejamento energético foi praticamente abandonado. No passado havia uma política pública coordenada em prol de um objetivo comum, mas desprovida de política de inovação. Atualmente a política de inovação surge, mas sem a devida coordenação, e sem planejamento energético. Então, faz-se necessário avançar no sentido de combinar uma

política energética que promova a oferta e demanda de etanol combinada com uma política de C,T&I.

Percebe-se que a política de C&T para o bioetanol ainda é fraca e desprovida de um plano coerente. Foi identificado um movimento na promoção da ciência e tecnologia para esse produto, com foco no etanol celulósico, mas ainda são iniciativas dispersas sem uma articulação consistente, deixando claro que há um movimento para a C&T, mas sem um plano coordenado atrelado ao planejamento energético setorial. As duas principais iniciativas são em primeiro lugar a criação de um laboratório nacional de ciência e tecnologia, o CTBE, com foco em avançar em conhecimento científico para esse combustível e a criação de uma linha de financiamento, o PAISS, para dar suporte e promover a inovação em etanol celulósico. Apesar da existência desses instrumentos, falta atualmente, nesse momento pós-DHR, uma coordenação da PCT&I. Isso representa uma ameaça, pois o aprendizado realizado com o DHR pode se perder e não resultar em um novo método produtivo por ausência de uma PCT&I coordenada.

Nesse sentido, torna-se imperioso o governo brasileiro avançar na consolidação de uma PCT&I e de políticas públicas em geral coordenadas para a promoção do bioetanol, já que o setor carece de uma estratégia tecnológica consistente que envolva os atores relevantes e tire proveito do grande potencial do bioetanol da cana-de-açúcar como energia alternativa, tanto no plano nacional quanto internacional.

ANEXOS

ANEXO 1 - Roteiro das entrevistas

- 1) Quanto investimento (R\$) foi realizado nesse projeto?
- 2) A hidrólise enzimática foi pensada no começo?
- 3) O DHR estava dentro de um programa governamental? Foi uma iniciativa própria da empresa?
- 4) E o impacto do Proálcool na Dedini?
- 5) Houve algum apoio do governo?
- 6) No início do DHR, ele chamava-se projeto ACOS?
- 7) Quais os gargalos/problemas enfrentados? E quais as soluções encontradas? Houve a necessidade de mudar o material?
- 8) Quantas pessoas estavam envolvidas no projeto, nas suas várias etapas?
- 9) Havia recursos humanos de universidade envolvidos nesse projeto? Algum projeto vinculado (bolsa para pesquisador, mestrado ou doutorado)
- 10) Em relação ao investimento, quanto custou? Houve empréstimo? A Finep financiou?
- 11) Em relação ao financiamento do World Bank, como foi feito? Quem intermediou? Qual foi o papel da STI?
- 12) As autoridades tinham conhecimento desse projeto? Havia interesse e apoio para esse projeto?
- 13) Como foi a parceria com a Rhodia? E com o CTC?
- 14) Em relação ao projeto PITE, ele teve fase 1 e 2? Houve renovação do projeto? Demorou para ser aprovado?
- 15) E esse convênio da Dedini com a Fapesp, começou quando? Foi consequência do programa PITE? Qual a relação que a Dedini estabeleceu com a Fapesp?
- 16) Quem era a pessoa envolvida na Rhodia, no CTC, e na Fapesp? E da universidade?
- 17) Qual o know-how da antiga iniciativa para essa nova (associação com a Novozymes)?
- 18) Qual foi a rede formada? Quais os parceiros?
- 19) Houve mudança na trajetória organizacional da Dedini?
- 20) Quem se apropriou do projeto?
- 21) Atualmente, qual a relação da Dedini com o CTBE?

ANEXO 2 – PROJETO PITE

Nesse anexo será demonstrado o funcionamento básico do Programa de Apoio à Pesquisa em Parceria para Inovação Tecnológica (PITE), com informações gerais, como: objetivo, finalidade, processos, restrições e funcionamento.

O objetivo do Programa de Apoio à Pesquisa em Parceria para Inovação Tecnológica (PITE) é financiar projetos de pesquisa (pode ser P&D) em universidades (institutos acadêmicos) ou institutos de pesquisa, públicos ou privados, em cooperação com empresas localizadas no Brasil ou até no exterior, mas co-financiados por empresas nacionais. A finalidade desse tipo de programa é intensificar a relação entre as universidades ou institutos de pesquisas com a empresa, através do co-financiamento e dos projetos cooperativos. Portanto, esse projeto é composto pela parceria entre uma empresa, instituto de pesquisa (público ou privado) ou universidade e a FAPESP.

Existem três modalidades dentro do projeto PITE: (i) o PITE 1, modalidade 1, são os projetos com objetivo de desenvolver inovação em projetos os quais possuem a fase exploratória praticamente completa. Nessa modalidade são financiados até 20% dos custos do projeto pela FAPESP, isso depende do orçamento apresentado, e a empresa coloca a contrapartida do investimento; (ii) na modalidade 2, (PITE 2), encaixam-se os projetos cujo o objetivo é obter uma inovação associada a baixos riscos tecnológicos e de comercialização, geralmente uma inovação incremental. Nessa categoria podem ser financiados até 50% do custo do projeto e; (iii) a modalidade 3 (PITE 3), esta categoria está associada a projetos com a intenção de desenvolver inovação tecnológica com alto risco tecnológico e baixos riscos de comercialização, ou seja, riscos de não aceitação pelo mercado do produto ou mesmo do processo (da inovação). Nessa modalidade a FAPESP poderá financiar até 70% do custo do projeto. Vale ressaltar que a duração do auxílio é de até sessenta meses, improrrogáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANCIÃES, A. W. da F. (coord.). **Avaliação Tecnológica do Álcool Etilico**. Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Coordenação de Avaliação de Tecnologias. 2º. Edição. Brasília, 1980. 514p
- BACCARIN, J. G.; e CASTILHO, R.C. **A Geração de Energia como opção de diversificação produtiva da Agroindústria Canavieira**. Artigo apresentado no 4º Encontro de Energia no Meio Rural–AGRENER, 2002.
- BATISTA, F. **Dedini se une à Novozymes em projeto para etanol de celulose**. Valor Econômico Online, São Paulo, 16 set. 2010. Disponível em: <http://www.valor.com.br/arquivo/836161/dedini-se-une-novozymes-em-projeto-para-etanol-de-celulose>
- BELIK, W. **Agroindústria Processadora e Política Econômica**. Tese de Doutorado: Universidade Estadual de Campinas, 1992.
- BENNERTZ, R. **Completa aí...com álcool! O fechamento da controvérsia sobre o combustível automotivo brasileiro**. Dissertação de Mestrado: Universidade Estadual de Campinas, 2009.
- BNDES. **Bioetanol de Cana-de-Açúcar Energia para o Desenvolvimento Sustentável**. 1ª Edição ed. Rio de Janeiro: RJ, 2008. p. 1-316
- BON, E. P. S., & FERRARA, M. A. (2007). **Bioethanol Production via Enzymatic Hydrolysis of Cellulosic Biomass**. Biotechnology, October 2007, 1-11.
- BATISTA, F. **Dedini se une à Novozymes em projeto para etanol de celulose**. Valor Econômico Online, São Paulo, 16 set. 2010. Disponível em: <http://www.valor.com.br/arquivo/836161/dedini-se-une-novozymes-em-projeto-para-etanol-de-celulose>
- BONASSA, C. E. **Assessor de FHC dá prejuízo à União**. Folha de São Paulo Online, São Paulo, 10 jul. 1994. Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/fsp/1994/7/10/brasil/7.html>
- BRAY, S. C.; FERREIRA, E. R.; RUAS, D.G.G.. **As Políticas da Agroindústria Canavieira e o Proálcool no Brasil**. Marília, SP: Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", 2000.
- CADERNOS COALBRA 2. **Questões básicas sobre o etanol de madeira**. Brasília, 1983.
- CGEE. **Bioetanol combustível: uma oportunidade para o Brasil** - Brasília, DF. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. São Paulo, 2009.

CARDOSO, M. V. **Aplicação da radiação de feixe de elétrons como pré-tratamento do bagaço de cana-de-açúcar para hidrólise enzimática da celulose.** Dissertação de Mestrado: Instituto de Pesquisa Energéticas e Nucleares, 2008.

CASTRO, A. M; PEREIRA JR, N. **Produção, propriedade e aplicação de celulasas na hidrólise de resíduos agroindustriais.** Quim. Nova, Vol. 33, No. 1, 181-188, 2010.

CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S; GÓMEZ, E. O. **Biomassa para energia.** Campinas, SP: Editora da UNICAMP, 2008.

DUNHAM, F. B.; BOMTEMPO, J. V.; FLECK, D. L. **A estruturação do sistema de produção e inovação sucroalcooleiro como base para o Proálcool.** Revista Brasileira de Inovação, Campinas, SP, 10 (1), p. 35-72 janeiro/junho, 2011.

FISPQ, 2010. **Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico: etanol hidratado combustível.** Paulínia, SP, 2010. 5 p.

FISPQ, 2012. **Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico: álcool etílico anidro combustível.** Maracanã, RJ, 2012. 9 p.

FURTADO, A. T.; SCANDIFFIO M. I. G. **A Promessa do Etanol no Brasil.** Visages d'Amérique Latine, no. 5. p. 95- 106, set 2007.

FURTADO, A.T. **Brasil: País pioneiro do bioetanol.** Disponível em <http://www.univesp.ensinosuperior.sp.gov.br/preunivesp/1751/brasil-pa-s-pioneiro-do-bioetanol.html>

FURTADO, A. T. **Diretrizes para uma política do Estado de São Paulo de Pesquisa, Desenvolvimento e inovação do Etanol.** IN: CORTEZ, L. A. (Coord.). Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade. São Paulo: Blucher, 2010.

FURTADO, A. T.; SCANDIFFIO M. I. G.; CORTEZ, L. A. B. **The Brazilian sugarcane innovation system.** Energy Policy 39,2011, 156–166.

FURTADO, A. T; FREITAS, A. G. **Nacionalismo e Aprendizagem no programa de águas profundas da Petrobras.** Revista Brasileira de Inovação, Campinas, SP, 3 (1), p. 55-86, janeiro/junho 2004.

GALBE, M.; ZACCHI, G. **Produção de etanol a partir de materiais lignocelulósicos.** In: CORTEZ, L. A. B. (Coord.). Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade. São Paulo: Blucher, 2010. P.697-750.

LEAL, M. R. L. V. **Cana Energia.** IN: CORTEZ, L. A. (Coord.). **Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade.** São Paulo: Blucher, 2010.

KATZ, J. **A dinâmica do aprendizado tecnológico no período de substituição das importações e as recentes mudanças estruturais no setor industrial da Argentina, do**

Brasil e do México. IN: KIM, L. e NELSON, R.R (Organizadores); tradutor: Carlos D. Szlak. Tecnologia, aprendizado e inovação: as experiências das economias de industrialização recente. Campinas, SP: Editora UNICAMP, 2005.

LALL, S. **Technological Learnings in the Third World: some implications of technology export.** In: The Economics of new technology in developing countries, 1982.

LALL, S. **A mudança tecnológica e a industrialização das economias de industrialização recente da Ásia: Conquistas e Desafios.** IN: KIM, L. e NELSON, R. R (Organizadores); tradutor: Carlos D. Szlak. Tecnologia, aprendizado e inovação: as experiências das economias de industrialização recente. Campinas, SP: Editora UNICAMP, 2005.

LEÃO, R. M. **Dedini: a força de um ideal.** Piracicaba: Pancrom Indústria Gráfica Ltda., 2005.

MAIA, B. A. DE A. **Política de inovação do etanol celulósico.** Dissertação de Mestrado: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009.

MARIOTONI, M. **O Desenvolvimento Tecnológico do Setor Sucroalcooleiro no Estado de São Paulo (1975-1985).** Dissertação de Mestrado: Universidade Estadual de Campinas, 2004.

MOREIRA, E. F. P. **Expansão, concentração e concorrência na agroindústria canavieira em São Paulo: 1975 a 1987.** Dissertação de Mestrado: Universidade Estadual de Campinas, 1989.

NEGRI, B. **Um estudo de caso da indústria nacional de equipamentos: análise do Grupo Dedini (1920-1975).** Dissertação de Mestrado: Universidade Estadual de Campinas, 1977.

OLIVEIRA, A. D. **Reassessing the Brazilian alcohol programme.** Energy Policy, p. 47-55, 1991.

OLIVEIRA FILHO, A. **As indústrias de bens de capital em Piracicaba/SP: novas perspectivas a partir dos biocombustíveis.** Dissertação de Mestrado: Universidade federal de Santa Catarina, 2013.

OLIVÉRIO, J. L e HILST, A. P. **Dedini Hidrólise Rápida (Dedini Rapid Hydrolysis): Revolutionary process for producing alcohol from sugarcane bagasse.** Proc. ISSCT, Vol.25, 2005.

OLMOS, L., RUESTER, S., LIONG, S.J. **On the selection of financing instruments to push the development of new technologies: Application to energy technologies,** in Energy Policy, vol. 43, pp. 252-266, 2012.

PÉREZ, J. M. M., ROCHA, J. D., CORTEZ, L. A. B., JORDAN, R. A. **A Pirólise Rápida como precursora de BTL.** IN: CORTEZ, L. A. (Coord.). Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade. São Paulo: Blucher, 2010.

PEZZO, C. R. **O Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel: análise da implantação e possíveis resultados.** Dissertação de mestrado: Universidade Estadual de Campinas, 2009.

RODRIGUES, F. A. **Avaliação da tecnologia de hidrólise ácida de bagaço de cana.** Dissertação de mestrado: Universidade Estadual de Campinas, 2007.

SCANDIFFIO, M. **Análise Prospectiva do Álcool Combustível no Brasil - Cenários 2004-2024.** Tese de Doutorado: Universidade Estadual de Campinas, 2005.

SCHLITTLER, L. A. F. S. et al. (2012). **Use of Patent Applications as a Tool for Technology Development Investigations on Ethanol Production from Lignocellulosic Biomass in Brazil,** Journal of Technological Management & Innovation 7(3), 80–90.

SEABRA, J. E. A. **Avaliação técnico-econômica de opções para o aproveitamento integral da biomassa de cana no Brasil.** Tese de doutorado: Universidade Estadual de Campinas, 2008.

SCHUMPETER, J. (1943) **Capitalismo, Socialismo e Democracia.** Trad. port. Rio Janeiro: Zahar, 1984.

SOCCOL, C.R. *et al.*, **Bioethanol from lignocelluloses: status and perspectives in Brazil.** Bioresource Technology, v. 101, n. 13, p. 4820-4825, jul. 2010

SOARES, P. A; ROSSEL, C. E.V. **Conversão da celulose pela tecnologia organosolv.** NAIPPE/USP, vol. 3. São Paulo, 2007.

STRACHMAN, E. **Estrutura de Mercado, Competitividade e Políticas para as Indústrias Internacional e Brasileira de Bens de Capital sob Encomenda para o Setor Elétrico.** Dissertação de Mestrado (IE-UNICAMP). Campinas: Mimeo., 1992.

UNRUH, G. C. **Understanding carbon lockin.** Energy Policy vol. 28, pp. 817-830, 2000.

UNRUH, G. C, Carrillo-Hermosilla, J. **Globalization carbon lock-in.** Energy Policy vol. 34, pp. 1185-1197, 2006

USHIMA, A. H. **Tecnologias BTL.** IN: CORTEZ, L. A. (Coord.). Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade. São Paulo: Blucher, 2010.

Sites consultados:

<http://www.ctcanavieira.com.br/>

<http://www.bioetanol.org.br/>

<http://www.bndes.gov.br>

<http://www.fapesp.br/>

<http://www.dedini.com.br/web/>

<http://www.embrapa.br/>

<http://www.valor.com.br/>

<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pinus/CultivodoPinus/index.htm>