



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Instituto de Economia

**Inovação e Trajetórias Tecnológicas: o caso dos dois sistemas para
extração de sacarose no Brasil**

Fabício José Piacente

Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de Economia da UNICAMP para obtenção do título de **Doutor em Desenvolvimento Econômico**, área de concentração: Desenvolvimento Econômico, Espaço e Meio Ambiente, sob a orientação do **Prof. Dr. Pedro Ramos**

*Este exemplar corresponde ao original da tese defendida por **Fabício José Piacente**, em **25/02/2010** e orientada pelo **Prof. Dr. Pedro Ramos***

CPG, 25/02/2010.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Fabício José Piacente", written over a horizontal line.

Campinas, 2010

**Ficha Catalográfica elaborada pela Biblioteca
do Instituto de Economia/UNICAMP**

P57i	Piacente, Fabrício José. Inovação e trajetórias tecnológicas: o caso dos dois sistemas para extração de sacarose no Brasil/ Fabrício José Piacente. - Campinas, SP: [s.n.], 2010. Orientador: Pedro Ramos. Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Economia. 1. Inovações tecnológicas. 2. Sacarose – Extração – Equipamento. 3. Máquinas - Indústria. I. Ramos, Pedro. II. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Economia. III. Título.
	10-029-BIE

Título em Inglês: Innovation and technological trajectories: the case of two extraction of juice sugar cane system in Brazil.

Keywords: Technological innovations; Extration apparatus; Machinery industry; Extration of sugar

Área de concentração: Desenvolvimento Econômico, Espaço e Meio Ambiente

Titulação: Doutor em Desenvolvimento Econômico

Banca examinadora: Prof. Dr. Pedro Ramos
Prof. Dr. José Maria Ferreira Jardim da Silveira
Prof^a Dr^a Maria Carolina de Azevedo Ferreira de Souza
Prof. Dr. Rui Henrique Pereira Leite de Albuquerque
Prof. Dr. Araken Alves de Lima

Data da defesa: 22-05-2010

Programa de Pós-Graduação: Desenvolvimento Econômico

Tese de Doutorado

Aluno: **FABRÍCIO JOSÉ PIACENTE**

**Inovação e Trajetórias Tecnológicas: o caso dos dois sistemas
para extração de sacarose no Brasil**

Defendida em 25 / 02 / 2010

COMISSÃO JULGADORA



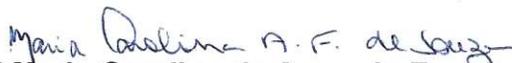
Prof. Dr. Pedro Ramos
Instituto de Economia / UNICAMP



Prof. Dr. Araken Alves de Lima
Instituto Nacional de Propriedade Industrial - INPI



Prof. Dr. José Maria Ferreira Jardim da Silveira
Instituto de Economia / UNICAMP



Prof.ª Dr.ª Maria Carolina de Azevedo Ferreira de Souza
Instituto de Economia / UNICAMP



Prof. Dr. Rui Henrique Pereira Leite de Albuquerque
Instituto de Geociências / UNICAMP

Aos meus pais, Sebastião (em memória) e Meires, em reconhecimento a toda uma vida de apoio, incentivo e amor. Em especial a minha família, Miriam e Maria Clara.

AGRADECIMENTOS

Aos meus familiares, por todo o apoio, dedicação, carinho e confiança, aos quais serei eternamente grato. À Miriam, em que encontrei paciência e tranquilidade de que tanto precisei para finalizar esse trabalho.

Ao meu orientador e amigo Prof. Pedro Ramos pela ajuda, compreensão, apoio e imensa sabedoria demonstrada, não apenas pelas contribuições acadêmicas, mas também pela oferta de muita confiança.

Aos colegas e amigos do IE – UNICAMP pelas inúmeras demonstrações de apoio, incentivo e contribuições.

Aos professores José Maria Silveira e Fernando Macedo por aceitarem participar do exame de qualificação, e pelas observações apresentadas, atenção disponibilizada, prestatividade e sugestões valiosas.

Aos demais professores do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Econômico do Instituto de Economia da UNICAMP, pela oportunidade de participar do programa, possibilitando maior aprendizado e conhecimento profissional.

Aos funcionários e demais colaboradores do Instituto de Economia, pela paciência e atenção no trabalho desenvolvido.

As empresas que se propuseram a participar da pesquisa e, principalmente aos entrevistados, pelo interesse, seriedade, disponibilidade e comprometimento em contribuir com suas experiências e conhecimentos.

A FAPESP – Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo pelo apoio financeiro.

RESUMO

O projeto aqui apresentado tem por tema a análise da evolução dos dois sistemas de extração de sacarose de cana-de-açúcar que têm sido utilizados na produção de açúcar e álcool no Brasil: o sistema de moendas e o de difusão. O primeiro é um sistema de separação física e de ampla utilização no mundo e no Brasil desde o período colonial. O sistema de difusão é um processo químico, desenvolvido no século XIX para extrair açúcar da beterraba e que foi adaptado e desde então vindo sendo empregado também no processamento da cana, em outros centros açucareiros do mundo. O objetivo desta tese é identificar e discutir as trajetórias desses dois sistemas, tendo como foco seus desenvolvimentos pela indústria ofertante de equipamentos para a fabricação de derivados da cana. Buscar compreender quais foram os fatores que levaram à utilização quase que exclusiva do sistema de moenda no Brasil até meados de 1980 e por que depois desse período, o sistema de extração por difusão vem sendo adotado por algumas firmas.

Sumário

INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 1 Referencial Teórico	3
1.1 Introdução	3
1.2 Abordagem Neo-schumpeteriana	3
1.3 A abordagem institucionalista	21
CAPÍTULO 2 O sistema de extração de sacarose por moendas, síntese das trajetórias percorridas.....	29
2.1 Os diferentes sistemas de extração de sacarose de cana-de-açúcar pré moagem	29
2.2 Os primórdios (orientais) do processamento da cana: China e Índia	30
2.3 A tecnologia envolvida no processo de extração de sacarose no Mediterrâneo	35
2.4 A controvérsia sobre a invenção da moenda de cilindros	41
2.5 A aplicação da moenda de dois cilindros nos engenhos nas Colônias do Atlântico.....	45
2.6 A moenda de três cilindros verticais e a sua utilização	50
2.7 Conseqüências da introdução da moenda de três rolos verticais	54
2.8 Melhorias incrementais na moenda de três rolos verticais até meados do século XIX	59
2.9 A Revolução industrial e sua influência no processamento da cana-de-açúcar.....	62
2.10 O emprego da força motriz a vapor e sua repercussão na manufatura açucareira	70
CAPÍTULO 3 A trajetória do sistema de difusão no Brasil e mundo	75
3.1 As adaptações da difusão para o uso na cana-de-açúcar até o início do século XX: algumas experiências no mundo.....	78
3.2 As adaptações da difusão para o uso na cana-de-açúcar até o início do século XX: experiências no Brasil	83
3.3 A evolução do sistema de difusão ao longo do século XX, experiências no Brasil e no mundo.....	87
3.3.1 <i>Difusores horizontais</i>	90
3.3.2 <i>Difusor oblíquo</i>	93
3.3.3 <i>Difusores Circulares</i>	95
3.3.4 <i>Difusores de cana</i>	96
CAPÍTULO 4 A trajetória do sistema de moendas no Brasil no período 1930-1990	101
4.1 O sistema de moendas no Brasil até a década de 1930	101
4.2 A evolução da agroindústria canavieira do Brasil e o ambiente institucional setorial entre 1930 e 1990	104
4.3 O surgimento e expansão da indústria produtora de máquinas e equipamentos para o processamento da cana no Brasil	113
CAPÍTULO 5 O emprego dos sistemas de difusão e de moendas no período recente: Apresentação e análise da pesquisa de campo	129
5.1 Procedimentos metodológicos.....	129
5.2 Caracterização do Complexo Agroindustrial Canavieiro	133
5.2.1 <i>Complexo agroindustrial canavieiro</i>	133
5.2.2 <i>Fabricação de açúcar</i>	140

5.2.3	<i>Fabricação do álcool</i>	140
5.3	<i>Apresentação e resultados da Pesquisa de Campo</i>	144
5.3.1	<i>Quanto à caracterização produtiva das unidades processadoras visitadas</i>	144
5.3.2	<i>Quanto à adoção do sistema de difusão no Brasil</i>	152
5.3.3	<i>Quanto à produção de açúcar e/ou álcool em função do sistema adotado</i>	161
5.3.4	<i>Quanto aos investimentos iniciais para os diferentes sistemas de extração</i>	164
5.4	<i>Comparação técnica/econômica do emprego das duas tecnologias</i>	166
5.4.1	<i>Coeficiente de extração de sacarose</i>	166
5.4.2	<i>Custo de manutenção</i>	168
5.4.3	<i>Considerações finais sobre a adoção de um ou outro sistema</i>	170
	<i>Considerações Finais</i>	175
	<i>Referências Bibliográficas</i>	183

Índice de Figuras

FIGURA 2.1	Moenda de almofariz utilizada na Índia.	31
FIGURA 2.2	Moenda indiana do tipo almofariz.	32
FIGURA 2.3	Emprego das moendas de mós de pedra no processamento da cana-de-açúcar.	34
FIGURA 2.4	Emprego das moendas de mós no processamento de minério.	34
FIGURA 2.5	Esquema de um moinho de cereais (moinho romano para processar trigo).	37
FIGURA 2.6	Extração de açúcar na Sicília durante o século XVI.	39
FIGURA 2.7	Fabricação de azeite de oliva no século XVI	40
FIGURA 2.8	Moenda de dois cilindros chinesa (tração animal).	44
FIGURA 2.9	Moenda de rolos horizontais.	48
FIGURA 2.10	Operação com moenda de três rolos verticais.	49
FIGURA 2.11	Moendas de dois cilindros.	51
FIGURA 2.12	Moenda de dois rolos japonesa utilizada no século XVII	53
FIGURA 2.13	Esquema manuscrito de 1613 da primeira moenda de três rolos verticais que se tem registro	53
FIGURA 2.14	Moenda de três cilindros vertical	55
FIGURA 2.15	Operação em moenda de três rolos verticais.	58
FIGURA 2.16	Moenda de três cilindros horizontal Smeaton	64
FIGURA 2.17	Moenda horizontal Collinge x Moenda horizontal Smeaton	66
FIGURA 2.18	Moenda Junkes and Coulson.	67
FIGURA 2.19	Moenda Rousselot e Sistema Boulton Watt de controle de pressão.	68
FIGURAs 2.20	Moenda “Panamá” tipo horizontal	69
FIGURAs 2.21	Moenda horizontal de três cilindros para tração animal.	70
FIGURA 2.22	Moenda Mornay de 4 cilindros	74
FIGURA 2.23	Moenda francesa de 8 cilindros	74
FIGURA 3.1	Bateria de difusor para cana-de-açúcar com 4 tanques não contínuos	80
FIGURA 3.2	Projeto de bateria de difusores contínuos projetados por Ferraz.	81
FIGURA 3.3	Diferentes arranjos técnicos que compõem a difusão de bagaço nas principais usinas da África do Sul na década de 1970	92
FIGURA 3.4	Difuso DDS (U. S. Francisco)	95
FIGURA 3.5	Esquema de um difusor DDS	95
FIGURA 3.6	Difusor Silver para cana-de-açúcar	96
FIGURA 5.1	Operação de lavagem da cana-de-açúcar	136
FIGURA 5.2	Mesa alimentadora	136
FIGURA 5.3	Conjunto de martelos do desfibrilador.	137
FIGURA 5.4	Conjunto de martelos do desfibrilador.	137
FIGURA 5.5	Esquema de funcionamento de um difusor de cana-de-açúcar Uni-Systems	139
FIGURA 5.6	Fluxograma resumido das operações posteriores e anteriores ao sistema de extração por moendas	140
FIGURA 5.7	Fluxograma resumido das operações posteriores e anteriores ao sistema de extração por difusor	140
FIGURA 5.8	Fluxograma resumido de uma usina com destilaria anexa	143
FIGURA 5.9	Fluxograma resumido de uma destilaria autônoma	144
FIGURA 5.10	Compartimento para caldo	156
FIGURA 5.11	Sistema de recirculação do caldo	156
FIGURA 5.12	Terno desaguador (perfurado)	156
FIGURA 5.13	Cana lixiviando no interior do difusor	156
FIGURA 5.14	Sistema de correntes e taliscas	158

FIGURA 5.15	Interior de um difusor Uni-Systems	158
FIGURA 5.16	Vista geral de um difusor Uni-System	158
FIGURA 5.17	Acionadores hidráulicos individuais para os assoalhos	160
FIGURA 5.18	Rosca afofadoras	160
FIGURA 5.19	Assoalhos que se movimentam individualmente	160
FIGURA 5.20	Acionadores hidráulicos individuais	160
FIGURA 5.21	Esquema de expansão modular do difusor Dedini-Bosch	161

Índice de Quadros

QUADRO 2.1	Tecnologias utilizadas para extração de sacarose da cana-de-açúcar, período de utilização preponderante e região	29
QUADRO 2.2	Característica de alguns engenhos cubanos em função da força motriz empregada período de 1761-1860 – produção média em toneladas métricas	71
QUADRO 3.1	Evolução da produção mundial de açúcar de cana e de beterraba – 1841 a 1910 (valores em tonelada métrica)	76
QUADRO 3.2	Estudo comparativo de usinas no Hawaí – safras 1897/1898	79
QUADRO 3.3	Comparativo das moendas de acordo com número de rolos e capacidade de esmagamento (início do Século XX)	82
QUADRO 3.4	Características técnicas das fábricas instaladas no Brasil na safra de 1903	84
QUADRO 3.5	Produção e eficiência industrial das maiores usinas do Estado de São Paulo – safras 1934/5-35/6-36/7 (produção em sacas de 60 kgs; rend. industrial em kgs/t)	87
QUADRO 3.6	Características dimensionais dos difusores De Smet	90
QUADRO 3.7	Comparação entre sistema de moagem e moagem-difusão D.D.S. - 1966	93
QUADRO 3.8	Resultados obtidos com difusor de cana circular Saturno e Silver	96
QUADRO 3.9	Comparação entre difusores de cana horizontal de diferentes fabricantes – safra 1980	97
QUADRO 4.1	Comparação entre capacidade de processamento de cana pelas maiores fábricas do Brasil, EUA, Cuba e Austrália em 1973	102
QUADRO 4.2	Diferentes composições de conjuntos de moendas para processamento da cana-de-açúcar e suas respectivas características e eficiência – Brasil safra de 1927	102
QUADRO 4.3	Principais usinas do Rio de Janeiro em 1912 e suas características – açúcar em sacas de 60 kg	103
QUADRO 4.4	Principais usinas paulistas nas safras de 1910 e 1911 e suas características – açúcar em sacas de 60 kg	103
QUADRO 4.5	Comparativo de rendimentos agrícolas, industriais e agroindústrias médios das unidades em cada país	104
QUADRO 4.6	Distribuição dos tipos e números de fábricas produtoras de açúcar e de outros derivados da cana – dados da safra de 1939/40	107
QUADRO 4.7	Evolução das cotas de produção de açúcar – valores em porcentagem	108
QUADRO 4.8	Evolução da participação das quotas de produção e açúcar de São Paulo, Pernambuco no total nacional – valores em sacas de 50 kg	108
QUADRO 4.9	Rendimentos agrícola, industrial e agroindustrial de alguns países, do Brasil e de São Paulo - safra 1974/75	113
QUADRO 4.10	Valores das importações de máquinas e equipamentos para produção e refino de açúcar por firmas nacionais – valores em libras inglesas (preços de 1913)	117
QUADRO 4.11	Relação dos tamanhos de moendas fabricadas pela Metalúrgica Dedini entre 1926 e 1990 e respectivas capacidades de esmagamento	118
QUADRO 4.12	Evolução no número de destilarias autônomas e usinas instaladas em São Paulo	119
QUADRO 4.13	Demonstrativo de equivalência entre capacidade de moendas e de caldeiras utilizadas por usinas brasileiras – referência de 1939/40	119
QUADRO 4.14	Usinas montadas entre 1933 e 1960 que tiveram o Grupo Dedini como acionista (ano da fundação ou ano em que o Grupo Dedini aparece como sócio)	122

QUADRO 4.15	Distribuição do mercado tradicional de máquinas e equipamentos pelos principais participantes – faturamento efetivo em 1965 e estimado para período de 1966-71	124
QUADRO 5.1	Questões, objetivo geral e específicos do estudo de casos	129
QUADRO 5.2	Composição estrutural da entrevista realizada nas unidades processadoras de cana-de-açúcar e empresas fornecedoras de equipamentos	132
QUADRO 5.3	Etapas e operações envolvidas na produção agrícola e no processamento industrial da cana de açúcar	135
QUADRO 5.4	Unidades com sistema de difusão operando ou em instalação até setembro de 2009	146
QUADRO 5.5	Dados sobre a produção nas unidades pesquisadas – safra 2008/09	147
QUADRO 5.6	Composição acionária e/ou participação das unidades contatadas para a pesquisa de campo – posição em outubro de 2009	148
QUADRO 5.7	Participação das duas tecnologias de extração de sacarose nas decisões de investimentos recentes do setor sucroalcooleiro	151
QUADRO 5.8	Especificações técnicas do difusor Uni-Systems	157
QUADRO 5.9	Orçamentos resumidos de equipamentos (recepção, preparo e extração) e obras civis para sistemas de moenda e difusão no processamento de cana-de-açúcar - valores em R\$ de maio de 2009	166
QUADRO 5.10	Valores médios do coeficiente de extração de sacarose de cana-de-açúcar nas usinas visitadas em função do sistema adotado	168
QUADRO 5.11	Síntese das características técnicas dos dois sistemas de extração de sacarose de cana-de-açúcar – média dos valores obtidos durante pesquisa nas unidades visitadas	173
QUADRO 5.12	Síntese comparativa dos dois sistemas de extração de sacarose de cana-de-açúcar – informações obtidas durante pesquisa nas unidades visitadas	174
QUADRO 5.13	Síntese dos principais problemas observados durante as primeiras safras de operação do difusor, em unidades que optaram recentemente por esse sistema	174

INTRODUÇÃO

Atualmente tem-se discutido a possibilidade do Brasil ampliar sua produção de açúcar e de álcool combustível. A perspectiva de crescimento do mercado internacional do etanol como biocombustível e as vitórias dos produtores de açúcar nacional contra os subsídios europeus têm estimulado a expansão do setor sucroalcooleiro no Brasil. A construção de novas fábricas em regiões de fronteira para a atividade agroindustrial canavieira tem sido a principal alternativa buscada por investidores antigos e novos para expandir seus negócios ou para iniciar suas atividades no setor. As regiões do Triângulo Mineiro, Sudeste de Goiás, Sul de Mato Grosso do Sul e Nordeste de São Paulo, são as que têm concentrado, nos últimos anos, a expansão setorial, com a instalação de novas unidades e substituição de parte da pastagem e do cultivo de grãos pela cultura canavieira.

Nesse contexto, o trabalho que se segue propôs-se a discutir e explicar a existência de duas alternativas tecnológicas para extração da sacarose da cana-de-açúcar, tendo como foco de análise o caso do Brasil. O propósito é identificar quais foram os fatores que levaram os fabricantes de máquinas e equipamentos em optar por disseminar, quase que exclusivamente, o sistema de extração por moendas em detrimento do processo de difusão, entre as décadas de 1930 e 1990. Esse problema é colocado na forma de três perguntas, a primeira é de natureza histórica e sua resposta foi buscada fundamentalmente em revisões bibliográficas e com dados secundários. A segunda e a terceira demandaram principalmente pesquisa de campo e levantamento de dados primários. 1º) Por que no Brasil foi quase absoluto o emprego do sistema de moendas entre 1930 e 1995, apesar de existir a opção tecnológica do difusor já conhecida, difundida e que apresentava vantagens comparativas? 2º) Quais os determinantes, desde então, para a escolha por parte dos empresários sucroalcooleiros de um dos dois sistemas de extração e quais as vantagens comparativas apontadas pelos fabricantes de cada um deles? 3º) Qual a situação atual dos dois sistemas e, principalmente, quais têm sido os resultados e impactos produtivos de suas utilizações, particularmente quanto à eficiência na extração da sacarose da cana no Brasil?

Para desenvolvimento deste trabalho, parte-se da hipótese básica de que as relações históricas entre empresários sucroalcooleiros e do setor de bens de produção para processamento de cana-de-açúcar, bem como a intervenção estatal ocorrida entre a década de 1930 e a de 1990, colaboraram para a adoção de um único processo tecnológico para extração de sacarose no Brasil até meados de 1985, essa hipótese será verificada ao longo do trabalho, principalmente no Capítulo 3.

O trabalho foi estruturado em cinco capítulos, além desta introdução e das considerações finais. O Capítulo 1 destaca o referencial teórico, os conceitos de inovação, rotina, busca e seleção, aprendizagem, paradigmas tecnológicos, mudança técnica e dinâmica econômica, a partir das abordagens institucionalista e neo-schumpeteriana.

O Capítulo 2 aborda a evolução histórica e tecnológica dos sistemas de moenda no mundo até o início do século XX. Trata-se de um princípio mecânico de separação física, que evoluiu com o passar dos anos através de um típico processo de busca de novas opções técnicas e de seleção das possibilidades que, momentaneamente, apresentavam as melhores condições de sucesso.

O capítulo 3 trata do processo de extração de sacarose pela difusão no Brasil e no mundo. Esse sistema consiste em um processo químico, originado na produção açucareira de beterraba, que vem sendo ao longo dos anos adaptado e utilizado também pela agroindústria canavieira.

O Capítulo 4 aborda o emprego do sistema de moendas para extração de sacarose no Brasil durante o período de intervenção estatal (1933 – 1990). Destaca o desenvolvimento da indústria produtora de máquinas e equipamentos para o setor sucroalcooleiro, em especial o caso da Dedini, durante esse período. Aponta que as políticas adotadas pelo IAA colaboraram para a consolidação desse setor industrial em São Paulo. E o que levou a agroindústria canavieira a priorizar, até meados da década de 1990, o emprego quase absoluto do sistema de moendas para extração de sacarose, em detrimento da difusão que era utilizado em outros centros canavieiros do mundo.

Por fim, o Capítulo 5 inicia com uma breve caracterização do complexo agroindustrial canavieiro, com ênfase na etapa industrial de extração de sacarose da cana para fabricação de açúcar e/ou álcool. Seguido de uma análise do período após a intervenção do setor, a instalação dos primeiros difusores de cana-de-açúcar no Brasil e como essa tecnologia tem se expandindo recentemente nas novas unidades em construção no país. Os motivos que levaram os empresários a optarem por esse sistema, suas vantagens e desvantagens comparativas, resultados obtidos e os principais problemas enfrentados pelas unidades quanto à adaptação dessa tecnologia.

CAPÍTULO 1 Referencial Teórico

1.1 Introdução

Este capítulo apresenta uma revisão bibliográfica sintética de alguns conceitos e abordagens mais relevantes que tratam da evolução técnica na teoria econômica. O propósito é de articular os conceitos neo-schumpeterianos de competitividade e inovação tecnológica com a dimensão político-institucional da relação entre o Estado e os agentes econômicos envolvidos.

A finalidade de analisar conjuntamente essas duas abordagens foi a de identificar as possibilidades que essa relação conduziu no Brasil, a partir do início da década de 1930 com a criação do IAA, a adoção de um único processo tecnológico para extração de sacarose baseado no sistema de moendas e excluir, desse processo de evolução e adoção tecnológica, o sistema de difusão. Quais os interesses e prejuízos de cada um dos agentes na condução desses dois sistemas até meados dos anos de 1980, e o que levou o fim dessa hegemonia a partir de então.

Esse contorno teórico permite entender que, apesar de apresentar vantagens comparativas significantes, o sistema de difusão não se sobrepôs, nem ao menos conviveu mutuamente com o sistema de moendas no Brasil durante todo o período de intervenção estatal. Ou seja, a mudança de sistema tecnológico, apesar de nesse caso aparentemente apresentar-se como vantajosa técnica e economicamente, não ocorreu. Sendo assim, dividiu-se a estrutura desse capítulo inicial conforme a seguinte ordem: no tópico 1.2 apresenta os pressupostos e conceitos básicos da evolução técnica na abordagem neo-schumpeteriana e; no tópico 1.3 a abordagem institucionalista.

1.2 Abordagem Neo-schumpeteriana

O tema da inovação e das trajetórias tecnológicas tem sido objeto de reflexão para constituição da teoria microeconômica não ortodoxa por parte, principalmente, de autores conhecidos na literatura econômica como neo-schumpeterianos.

Essa abordagem atribuindo à inovação o papel fundamental na propulsão do avanço tecnológico e nas transformações econômicas, procura explicar as relações dinâmicas entre o processo inovativo, que ocorre no âmbito das organizações, com a evolução industrial-produtiva, o fornecimento de bens e serviços e a mudança técnica da economia como um todo.

Schumpeter foi o grande precursor dessa corrente, desenvolveu seus trabalhos na primeira metade do século XX, e a partir de então foi seguido por diversos autores, como NELSON &

WINTER (2005), DOSI (2006), PAVITT (2003), UTTERBACK (1994), ROSEMBERG (2006), e outros. Todos eles, de uma forma ou de outra, têm apresentado contribuições importantes para a compreensão das interações do processo inovativo das organizações e da mudança técnico-econômica do sistema produtivo das economias.

SCHUMPETER (1942, p. 100) destaca que as mudanças econômicas são decorrentes da incorporação das inovações tecnológicas no sistema econômico, criam-se então novos elementos, o que coloca a inovação como o principal fundamento para explicar as transformações estruturais das empresas e do capitalismo. O empreendedor (empresário) é o agente que tem a função de vencer as resistências que se opõem à inovação e sua introdução no mercado¹. Assim, classifica o empresário como o responsável pela invenção, geração e difusão das inovações a partir de um processo chamado de “*destruição criadora*”, que é motor do progresso econômico:

“O capitalismo [...] é pela sua própria natureza, uma forma ou método de mudança econômica, e não apenas nunca está, mas nunca pode estar estacionado. O impulso fundamental que inicia e mantém o movimento da máquina capitalista decorre de novos bens de consumo, dos novos métodos de produção ou transporte, dos novos mercados, das novas formas de organização industrial que a empresa capitalista cria” (SCHUMPETER, 1942, p. 112)

Para Schumpeter, o desenvolvimento caracteriza-se pela ruptura do “fluxo circular” do sistema econômico, e isso se verifica precisamente no lado da produção com a substituição dos velhos sistemas por novos. Isso ocorre descontinuadamente ao longo do tempo, através do surgimento e aprimoramento de novos produtos ou processos, de novas fontes de matéria prima e de novos setores de atividade econômica.

Deve-se destacar que, contrariando a corrente neoclássica que indica que o desenvolvimento é um processo gradual e harmonioso, para Schumpeter ele se procede "aos saltos", de forma desarmoniosa, prevalecendo como característica marcante o elevado grau de riscos e de incertezas. Assim, o grande estímulo para o empresário empreendedor se submeter às incertezas da inovação é o lucro extraordinário que ela pode proporcionar. Trata-se de um lucro de cunho monopolista (mesmo que temporário), uma espécie de quase-renda (SCHUMPETER, 1982, pg. 28).

¹ Na concepção de Schumpeter, o "empresário" é o agente responsável por promove as inovações no processo produtivo, e não deve ser confundido com o inventor (que é o responsável pela invenção e não necessariamente pela sua propagação). O empresário empreendedor possui o “espírito animal” e é guiado pela busca do lucro monopolista (ainda que temporário), uma motivação diferente da do capitalista, que não necessariamente investe seu capital na produção, podendo, alternativamente investir em ativos financeiros e imobiliários.

Quando aponta a concorrência por inovações como fator preponderante do processo de desenvolvimento, contrariando a posição tradicional da economia neoclássica que atribuí esse papel a concorrência baseada nos preços, Schumpeter reconhece a importância da grande empresa e da concentração do capital para o desenvolvimento inovativo e para o progresso técnico². Destaca a relação íntima entre oligopólio e progresso técnico, apontando que o processo de diferenciação de produtos conduz a expansão e a criação de novos mercados; por outro, elevam-se os gastos com P&D, necessários à sobrevivência das empresas inovadoras.

Contrariando aos pressupostos da teoria neoclássica, a abordagem evolucionista faz uma analogia com o modelo biológico de seleção natural para ilustrar que as inovações não são decorrentes de um mecanismo racional de seleção de mercado. Mas sim determinadas pelo acúmulo tecnológico, pelas incertezas, pela racionalidade limitada, pela diversidade estratégicas e comportamentais entre as firmas e agentes econômicos. Conforme colocado pelo autor:

"...ilustram o mesmo processo de mutação industrial - se me permitem o uso do termo biológico - que incessantemente revoluciona a estrutura econômica a partir de dentro, incessantemente destruindo a velha, incessantemente criando uma nova. Esse processo de Destruição Criativa é o fato essencial acerca do capitalismo" (SCHUMPETER, 1942, p. 112-113, grifos originais).

Na análise schumpeteriana, a discussão tradicional que envolve a determinação do progresso técnico do lado da oferta (dinâmica de inovação, conhecimento científico e atividades de P&D das firmas) e da demanda (preferências indicadas pelos consumidores e adoção de determinada tecnologias) perde o sentido³. A novidade apontada por essa abordagem está no fato de que o desenvolvimento de inovações depende, além da natureza do setor em que são geradas e adotadas, também de fatores institucionais tais como: linhas de financiamento e a estrutura industrial.

O enfoque neo-schumpeteriano vem sendo desenvolvido ao longo das últimas décadas, a partir da publicação pioneira em 1982, do livro de R. Nelson e S. Winter, "*An Evolutionary Theory of Economic Change*". Essa publicação resgata aspectos importantes do processo de

² Quando compara os dois tipos de concorrência: apóia em preços, qualidade e esforço de vendas, com a por inovação, SCHUMPETER (1942, p. 114) destaca quanto a segunda que: "*A eficiência desse tipo de concorrência, perto do outro, é assim como um bombardeio comparado a se forçar uma porta*".

³ O desenvolvimento básico do modelo evolucionista apresenta, além de uma perspectiva temporal, um determinismo histórico a medida em que as tecnologias são selecionadas e adquirem uma caráter irreversível e acumulativo, próprio do processo de desenvolvimento tecnológico. Pode-se destacar ainda a importância dada por essa corrente as condições institucionais que governam os interesses dos agentes econômicos, tais como: regulações, condições políticas, comportamentos dominantes, para a definição dos padrões de mudanças tecnológicas (DOSI & ORSENIGO, 1988, p.19-21).

inovação e do caráter evolucionário do capitalismo, já discutido por Schumpeter, e que coloca a firma como elemento central na dinâmica capitalista.

O argumento principal de NELSON & WINTER (2005) é que, tal como a evolução das espécies se dá (na teoria darwiniana) por meio de mutações genéticas submetidas à seleção do meio ambiente, as mudanças econômicas - entendidas tanto no aspecto técnico-produtivo quanto na estrutura e dinâmica dos mercados - têm origem na busca incessante, por parte das firmas, como unidades básicas do processo competitivo, de introduzir inovações de processos e produtos - o que teria, em regra, características estocásticas; e estas inovações, por sua vez, seriam submetidas aos mecanismos de seleção inerentes à concorrência e ao mercado.

No modelo evolucionário, a inovação tecnológica é abordada como o elemento central da atividade econômica e a hipótese básica é de que existe a necessidade de adaptação por parte das firmas ao meio ambiente. Além disso, algumas considerações necessariamente devem ser feitas a fim de formalizar a abordagem: i) incluir a inovação tecnológica no centro da análise; ii) a existência de um sistema de escolha em um ambiente de incerteza; iii) pressupor que os agentes envolvidos são heterogêneos e têm diferentes crenças; iv) considerar que as firmas estão inseridas em um meio ambiente que contém surpresas, de maneira que busquem a adaptação, ou não sobreviverão; v) reconhecer que o caminho para uma “exitosa adaptação” não é óbvio, mas podem se traduzir em rotinas, ou seja, em adaptações.

Isso faz com que os evolucionistas tratem as atividades de inovação como sendo fortemente seletivas, seguindo um mecanismo de busca e seleção dentro da lógica de mercado, que possibilita inovações contínuas e cumulativas em função do estado da arte das tecnologias já em uso e da capacidade de cada firma para conjugar os vários tipos de conhecimento acumulados. Ou seja, pela teoria evolucionária, a mudança técnica e a estrutura de mercado devem ser entendidas como interativas, cada qual afetando e sendo afetada pela outra, onde a inovação é uma escolha não inteiramente conhecida, que pode ou não dar certo.

Neste ambiente de incertezas e diversidades, as empresas lançam mão de suas rotinas ou “trajetórias naturais”. Tais rotinas são, na verdade, as técnicas de produção, os procedimentos para escolha de insumos e produtos, as regras de preço, as políticas de P&D e outras atividades da empresa. As firmas que possuem as melhores rotinas tenderão a crescer mais do que as outras.

Neste caso, os elementos de incerteza são considerados como um agregado no processo de decisão. A existência de complementaridades importantes entre as diferentes tecnologias implica necessariamente em alguma forma de coordenação entre elas. Em alguns setores, as variáveis são

multidisciplinares, aumentando a sua complexidade na medida em que digam respeito não só o funcionamento de organismos individuais, mas também os efeitos de suas interações com o outro e com o ambiente (POSSAS, *et. al*, 1994, p. 8).

De maneira geral, tal como na natureza, em que o código genético das espécies predominantes acaba por se tornando o mais adequado para enfrentar os intemperismos do ambiente natural, no processo competitivo firmas adotam procedimentos e rotinas a fim de organizar as suas atividades, o que será seguida (imitada) por outras firmas e que ocasionalmente se tornarão os procedimentos ou rotinas predominantes. Esse conjunto de rotinas ou procedimentos é o que os evolucionistas chamam de paradigma tecnológico.

Segundo NELSON & WINTER (2005, p. 34-36), as rotinas são classificadas em três tipos: i) a primeira, denominada “procedimento padrão de operação”, refere-se àquelas definidas no curto prazo em função do estoque de capital fixo, o qual determina insumos e produtos; ii) a segunda diz respeito àquelas que determinam o comportamento do investimento da firma, isto é, às equações que governam seu crescimento ou declínio, medido em termos de capital fixo; iii) e a terceira envolve o processo deliberativo da firma, referindo-se ao processo de busca por ela adotada⁴.

O esforço inovador, que pode significar tanto a mudança de rotinas como a adoção de novas tecnologias, é o que os evolucionistas denominam de processo de busca. É através desse processo que as firmas se envolvem em várias opções por meio das quais descobrem, julgam e avaliam mudanças possíveis em suas maneiras de fazer as coisas. Assim, ao escolherem dentre estas opções as mais lucrativas, as firmas conseguem ou não sua expansão (NELSON & WINTER, 2005, p. 304).

O processo de busca e seleção das inovações dentro do ambiente competitivo ou do processo concorrencial é o aspecto teórico da abordagem evolucionista proposto como alternativa para a racionalidade maximizadora e o equilíbrio neoclássico. Para os evolucionistas, as firmas não apresentam comportamento maximizador, conforme proposto pela teoria econômica convencional, possuem rotinas que coordenam a sua atividade interna, baseada no conhecimento que foi adquirido pela firma ao longo da sua atividade (racionalidade procedural)⁵.

⁴ A análise conjunta desses elementos permite que se defina a dinâmica de um “modelo de crescimento da firma”, que é estocástico, e poder ser modelada por um processo complexo que envolve como solução a técnica de Markov.

⁵ Baseado no estudo de SIMON (1959), numa organização hierarquizada, as decisões não podem ser pensadas e compreendidas como ponto isolado no tempo (decisões instantâneas), mas ao contrário devem ser analisadas como “processos”. Assim, a distinção efetuada por Simon entre racionalidade “substancial” e racionalidade “procedural” (limitada) torna-se um ponto de referência obrigatório. No que concerne à racionalidade substancial, o que realmente

Essa abordagem coloca em evidência o papel das competências e da capacidade de geração de conhecimento tácito, as firmas apresentam uma conduta satisfatória, pois o conjunto de possibilidades é limitado e elas não têm como saber quais são as ótimas. Assim, NELSON & WINTER (2005, p. 32) indicam que todos os padrões comportamentais previsíveis e regulares das firmas são denominado de “rotinas”, tanto os procedimentos que envolvem contratação e demissão de funcionários, quanto as políticas relativas a investimentos, à P&D ou publicidade.

Percebe-se que o conjunto de rotinas de uma firma deve ser visto como sendo um conjunto de técnicas disponíveis para manter um determinado nível de qualidade e funcionamento em seus processos. Quanto à possibilidade de soluções que necessitem mudanças técnicas, a firma controlando suas rotinas, poderá dentro do possível buscar uma alternativa técnica para o problema. Assim, os problemas são tratados como fatores aleatórios e imprevisíveis, que vêm de encontro à atividade, sendo que, para a sua solução, o indivíduo, ou a firma, deverá sair da rotina.

Esse mecanismo de transformar um fator aleatório em uma rotina nada mais é o que chamamos de processo de aprendizado, pois permite integrar novas soluções à rotina dos indivíduos e, por conseqüência, ao conjunto de rotinas (técnica) das firmas (ZAWISLAK, 1996).

A seleção é o processo que valida os resultados da busca, implicando na escolha, a partir da eliminação, de tecnologias ou estratégias não satisfatórias, ou seja, que não produzam efeitos ou resultados compensatórios (não lucrativas). No caso específico do progresso técnico, essas rotinas podem ser utilizadas como ferramentas de prospecção de mercados, análise de demanda, atividades de engenharia reversa, entre outras. Tratam-se de artifícios racionais aplicados pelas empresas no processo de escolha do que fazer, como uma das finalidades, a minimização das incertezas frente às inovações que são propostas. Conforme colocado por Nelson & Winter:

O mecanismo de seleção aqui utilizado é claramente análogo à seleção natural de genótipos com taxas de reprodução líquida diferenciadas da teoria evolucionária da biologia. E tal, como a teoria biológica, em nossa teoria evolucionária, a sensibilidade da taxa de crescimento de uma firma à prosperidade ou à adversidade constitui em si mesma um reflexo de seus gens” (NELSON & WINTER, 2005, p. 37).

importa é o objeto da decisão, isto é, como escolher entre um conjunto de alternativas potenciais. Por sua vez, a racionalidade “procedural” corresponde a uma lógica das escolhas em que a decisão não pode ser analisada e interpretada fora das regras seguidas pelos agentes. Ou seja, a decisão depende menos de seu objeto que dos procedimentos que conduzem a um tal objeto. Como formulação inicial o autor sugere um conceito amplo de racionalidade limitada que abrange (i) a busca de soluções satisfatórias em contraposição às otimizadoras; (ii) a substituição de objetivos abstratos e globais por sub-objetivos tangíveis (porém mensuráveis e otimizados) e; (iii) a divisão da tarefa do processo decisório entre muitos especialistas.

Assim a interação dinâmica entre os processos de busca, que é apoiado em estratégias empresariais e o de seleção, que é efetuado pelo mercado, é responsável por validar ou não uma inovação de maneira que “... sanciona, redireciona ou rejeita certas estratégias, bem como as trajetórias.” que as empresas e o conjunto da indústria seguirão. Ou seja, define em um dado momento o regime tecnológico que será adotado. A dinâmica interativa desse processo dá lugar a um movimento que não pode ser reduzido a um ajustamento de equilíbrio, ocorrendo, assim, um constante desequilíbrio econômico. Isso leva as firmas a empreenderem em arriscados - do ponto de vista das incertezas - processos de busca e a engendrar as condições de ruptura com soluções tecnológicas precedentes, criando posições diferenciadas nos mercados. Logo, para a abordagem neo-schumpeteriana, é fundamental a busca por desequilíbrios, por assimetrias, saltos (POSSAS, 1989, p. 161-162).

Segundo PONDÉ (1993, p. 8), esse mecanismo faz com que os arranjos institucionais moldem as condutas individuais e suas interações. Isso afeta tanto a direção e o ritmo do fluxo de inovações, quanto à intensidade da seleção, do aprendizado e da imitação, demarcando os “caminhos evolutivos” mais prováveis a serem percorridos. Conforme AREND (2004, p. 217), o enfoque evolucionista pode ser tratado como um processo dinâmico no qual os padrões de comportamento das empresas e do mercado são obtidos conjuntamente. Isto é, a trajetória surge ao longo do tempo de um processo conjunto que articula estratégia, busca/seleção e geração. Essa interação entre estratégia das firmas e estrutura de mercado é tratada por Dosi, que observa que:

“... o sucesso de algumas empresas na introdução ou imitação de novos produtos e processos de produção altera seus custos de produção, sua competitividade de mercado e, finalmente, é parte da evolução das indústrias afetadas pelas inovações” (DOSI,1988, p. 107).

A inovação tecnológica selecionada permite aos compradores adquirirem produtos a quantidades e preços vigentes, que cubram os custos totais e, além disso, reduzam ainda mais os custos de produção em relação às técnicas adotadas, operando com lucro. Portanto, a lucratividade da inovação, além de depender dos gastos dos consumidores e do preço do produto e dos fatores, também depende da tecnologia dominante.

Além dos aspectos intra-firma, a inovação demonstra sua lucratividade substituindo técnicas através da expansão da produção ou através da “imitação adaptativa” pelas firmas concorrentes. Assim, em uma indústria onde a inovação é um importante fator para a concorrência, a habilidade da firma em sobreviver depende da eficácia de seus laboratórios de P&D, da capacidade de explorar e proteger suas inovações e da rápida incorporação do que

fazem seus concorrentes. Isso abre espaço para a adoção de determinadas estratégias de inovação e imitação em relação à concorrência.

NELSON & WINTER (1977, p.40-45) advertem para a importância de fatores não tecnológicos e mesmo extra-econômicos na determinação e no direcionamento do progresso técnico. Estes fatores atuam no direcionamento do progresso técnico proporcionando um ambiente seletivo, caracterizado por pressões competitivas entre firmas e condições de demanda que favorecem ou não os esforços de inovação. Além disso, existe um ambiente, que Dosi definiu como “não mercantil”, caracterizado pela presença do Estado, cuja ação pode proporcionar situações propícias à inovação. Neste caso, a participação do Estado é relevante a fim de criar condições, a partir de políticas públicas, para que o processo seletivo favorável às inovações prospere.

Analisando esse ponto, POSSAS (1985, p.132-134) organiza os elementos do ambiente seletivo em seis categorias: i) elementos econômicos estruturais; ii) elementos da situação macroeconômica; iii) elementos de natureza política-jurídica-institucional; iv) elementos do meio ambiente natural; v) elementos de caráter social e; vi) elementos de caráter cultural. A primeira e a segunda categoria, respectivamente, estão relacionadas aos elementos da situação micro e macroeconômicas. A terceira categoria, diz respeito ao arcabouço de leis e normas que regulam a atividade econômica e as instituições que as executam. Os elementos do meio ambiente natural são: o clima, solo, temperatura, relevo, entre outros; dentre os de caráter social destacam-se: distribuição de renda, nível educacional, relações de trabalho, associações etc. E os elementos de caráter cultural estão ligados aos hábitos, costumes, valores, tradições históricas e religiosas.

De maneira geral, a idéia central dessa abordagem é de que as mudanças têm a sua origem na busca incessante, por parte das firmas para introduzir inovações, criando assimetrias. Essas inovações são submetidas constantemente aos próprios mecanismos de seleção do mercado. Assim, essa teoria contribui para a difusão de inovações a partir dessa interação entre a firma e o mercado.

O processo de busca e seleção de novas oportunidades tecnológicas deve ser encarado como um esforço com características inovadoras, de mudanças das rotinas existentes. Porém, devido às incertezas inerentes ao processo e os componentes estocásticas que compõem essas rotinas, nada garante que o esforço em P&D das firmas será selecionado pelo mercado e resultará em ganhos para as mesmas. É certo que as decisões tomadas pelas firmas alteram estrategicamente suas estruturas produtivas, e são selecionadas tanto em decorrência de aspectos internos, como o avanço do conhecimento tecnológico adotado, que gerará trajetórias e

paradigmas tecnológicos; quanto dos externos que caracterizam o macroambiente econômico, social e político.

Para POSSAS(1989, p. 168), o estudo dos paradigmas tecnológicos está centrado em um novo marco teórico microdinâmico uma vez que admite o progresso técnico como elemento indutor da conformação das estruturas de mercado. O processo de mudança tecnológica é tratado como sendo evolucionário, isto é, as várias alternativas tecnológicas competem umas com as outras e, através de um processo de seleção sistemática exercida pelo mercado, determina-se vencedor. Segundo AREND (2004, p. 224) apesar da existência de diversas alternativas, existe um dado conhecimento que permite razoavelmente, identificar que projetos serão bem sucedidos. Logo, as transformações tecnológicas que ocorrem ao longo do tempo, e que proporcionam melhorias não possuem uma origem totalmente aleatória, muito pelo contrário, os avanços de hoje tendem a seguir os sucessos obtidos no passado.

Essa é a idéia de conhecimento técnico acumulado que NELSON & WINTER (1977, p.40-45) utiliza para definir as “trajetórias naturais”. Trata-se de um processo de acumulação de melhorias técnicas que são processadas ao longo do tempo e que permite que as firmas façam previsões minimizando suas incertezas.

Em termos gerais, DOSI (1988, p. 112-115) aponta que a inovação tecnológica envolve problemas que somente são solucionados a partir do conhecimento formal de causa (fundamentações teóricas que envolvem os diferentes sistemas), do conhecimento prévio (experiências práticas já realizadas) e do conhecimento específico (aqueles não divulgados pelos inventores). A partir dessas considerações, e influenciado pelo conceito de “paradigma científico” de KUHN (1962), Dosi definiu em 1982 a idéia de paradigma tecnológico como sendo um padrão ou modelo de princípios derivados de conhecimentos das ciências naturais e da tecnologia existente, o qual define o campo de investigação, os problemas a serem resolvidos e os procedimentos para resolvê-los⁶.

Os paradigmas representam marcos importantes para se entender a transformação das estruturas industriais, sendo que constituem um importante referencial para a construção de um enfoque microeconômico evolucionista. Segundo esse autor:

⁶ O conceito de paradigma foi inicialmente desenvolvido por Thomas S. Huhn no livro “*A estrutura das revoluções científicas*”, e definido como sendo um conjunto de crenças, técnicas e valores compartilhados por uma comunidade que serve de modelo para a abordagem e soluções de problemas. Ressalta ainda que todos os problemas surgem e são resolvidos apenas dentro de um determinado paradigma e que diferentes paradigmas apresentam diferentes questões e diferentes soluções. Por fim, defende que a mudança de paradigmas não é um processo racional, e que não há qualquer padrão de racionalidade que irá avaliar e criticar os paradigmas sob um ponto de vista comum, já que cada paradigma possui seu conjunto de regras que só tem sentido dentro de sua própria teoria (KUHN, 1962).

“Um paradigma tecnológico define contextualmente as necessidades a serem atendidas, os princípios científicos a serem usados para as tarefas, a tecnologia de materiais a ser empregada [...] um padrão de solução de problemas tecnológicos selecionados, baseado em princípios altamente seletivos, derivados das ciências naturais, juntamente com regras específicas direcionadas para a aquisição de novos conhecimentos e sua salvaguarda, sempre que possível, contra a rápida difusão entre seus competidores” (DOSI, 1982, p. 152).

O paradigma tecnológico, como definido acima, apresenta diferentes níveis de generalidade, aplicando-se a uma indústria (tecnologia) ou a um conjunto delas (grupos). Essa natureza paradigmática do conhecimento tecnológico, conforme colocado por Dosi, caracteriza esse processo como altamente seletivo e cumulativo, o que é responsável por uma relativa ordenação dos padrões observados de mudanças tecnológicas. Esses padrões são introduzidos na abordagem a partir da noção de trajetória tecnológica. Um paradigma pode abranger várias trajetórias, por meio das quais se difunde e reproduz, e no limite tende a transformar-se ou ser superado por outro, uma situação de transição que potencializa inclusive a coexistência de mais e um paradigma.

As trajetórias tecnológicas são definidas pelo progresso técnico efetivo ao longo de múltiplos *trade offs* econômicos e tecnológicos, que indicam o progresso tecnológico e que resultam de esforços inovadores de empresas e intuições, inclusive públicas (POSSAS *et. al.*, 1994, p. 5). Como coloca DOSI (1988, p. 115-117), trata-se de uma espécie de “*avenida de inovação*”, isto é, um grupo de direções tecnológicas possíveis selecionadas e pré-estabelecidas, cujos limites exteriores são definidos pela natureza do paradigma tecnológico vigente.

Tais trajetórias são importantes para orientar as estratégias inovativas das firmas, garantindo uma certa regularidade no comportamento das mesmas. Porém, dada a natureza incerta dos investimentos em inovação, nada garante o seu resultado na configuração da estrutura de mercado. Essas incertezas colaboram para que ocorram “assimetrias competitivas”, “variedade tecnológica” e “diversidade comportamental”, o que resulta na geração e difusão da inovação e na diversidade das firmas (sob vários aspectos, desde tamanho e lucratividade) encontradas nos mercados.

O paradigma tecnológico possui vários vetores ou trajetórias tecnológicas, responsáveis pelo direcionamento do progresso técnico. Assim sendo, POSSAS *et. al.* (1994, p. 5) conclui que a inovação é o resultado de uma interação entre elementos técnicos e econômicos que se realimentam para orientar que vetor ou trajetória tecnológica será adotada em um ambiente marcado pela incerteza e riscos. Além disso, a probabilidade de realização de avanços

tecnológica, seja em empresas, organizações e mesmo países, é uma função dos níveis tecnológicos já atingidos por eles. Assim, a hipótese central da noção de trajetórias tecnológicas de Dosi é que a atividade inovativa é seletiva, canalizada em direções precisas e cumulativas, portanto, não é um bem livre disponível a todos os agentes.

Uma mudança no paradigma tecnológico necessariamente implicará em uma mudança nas trajetórias. Isso por que cada paradigma impõe modos de buscas e seleção, bases de conhecimento e combinações próprias. Segundo POSSAS *et. al* (1994, p. 6), é o paradigma tecnológico vigente que delimita o programa de pesquisa e desenvolvimento adotado (regime tecnológico), trata-se do responsável pela concentração de esforços em uma única direção favorecendo a cumulatividade do conhecimento e trilhando novas trajetórias, ou seja substitui conceito de apropriabilidade por acessibilidade ao conhecimento dos benefícios da inovação.

Dependendo do paradigma tecnológico adotado e da intensidade da cumulatividade que este apresenta, as vantagens de uma firma sobre as demais se ampliam, isso, conforme descreve AREND (2004, p. 238), acarreta estruturas cada vez mais concentradas gerando mais ou menos assimetrias. Nota-se que ocorre um permanente processo de geração, manutenção e busca de ampliação dessas assimetrias, configurando situações de maior e menor desenvolvimento econômico entre as firmas. Trata-se de um processo evolutivo no qual o aprendizado tecnológico é a base para o desenvolvimento de novas trajetórias e novos paradigmas. Logo, o estado de aprendizado das firmas, o acúmulo de experiências e competências, e de busca e seleção de novas soluções, conformam o caráter de organismo em constante evolução, ou como colocou Schumpeter em termos biológicos de “mutação”.

Pode-se dizer que é através do aprendizado que se dá à constituição do processo inovativo. A realização de tarefas de forma contínua e repetitiva (rotinas) possibilita sua realização mais rápida. O acúmulo de conhecimento, ganhos em habilidade e aumento da experiência capacitam a firma, sobretudo, na resolução de problemas e na exploração das oportunidades tecnológicas. Assim, é fundamental às firmas o reconhecimento e organização dos seus processos de aprendizado tecnológico, de modo à estimular o desenvolvimento de novos conhecimentos, adquirindo uma maior capacitação tecnológica e competitividade.

Conforme ZAWISLAK (1996, p. 334) as novas rotinas, a organização e a tecnologia da firma evoluem, o que resulta na própria evolução da firma. Assim, a atividade de inovação não se limita apenas através de processos formais, como gastos em P&D, mas, sobretudo, em ambientes informais de resolução de problemas. Em suma, toda atividade produtiva é um processo de

aprendizado, formal ou tácito, que será realizado através de uma rotina. Inerente à rotina haverá um determinado volume de problemas, mais ou menos controláveis, porém nunca previsíveis.

Controlar o problema significa encontrar uma nova solução, a qual, uma vez aplicada com sucesso, implicará um processo de aprendizado, que será transformado em uma nova rotina e assim por diante. Este é o mecanismo central da atividade de resolução de problemas e da evolução da habilidade, da rotina, enfim, da técnica (ZAWISLAK, 1996, p. 335).

A medida que se desenvolvem novas formas de aprendizado, com o acúmulo de novos conhecimentos aos conhecimentos tecnológicos já existentes, aumenta a competência da firma. Nesse quadro, a capacidade da firma contrói-se sob “*path dependencies*” (dependência do caminho), conforme DOSI & TEECE (1993):

“A noção de path dependencies reconhece o problema da história. Dados os investimentos prévios de uma firma e seu repertório de rotinas restringem seu conhecimento do futuro. Isto segue porque o aprendizado tende a ser local. Isto é, oportunidade de aprendizagem será estreita para atividades anteriores e, portanto, serão transação e produção específicas” (DOSI & TEECE, 1993 p. 12).

DOSI & TEECE (1993) deixam claro que a história importa na constituição da capacidade da firma, pois a trajetória percorrida ao longo do tempo condiciona seus processos decisórios. Afinal, ao longo do tempo, a firma cria competência, aprende a fazer, a usar e a interagir, ou seja, produz um repertório de rotinas que vão formando caminhos os quais possibilitam a ela tomar decisões estratégicas e aproveitar as oportunidades existentes.

Assim, é justamente com o surgimento de novos paradigmas que se abrem “janelas de oportunidade”, que podem ser desperdiçadas caso não se criem instituições apropriadas e eficazes para aproveitá-la. As novas tecnologias, de caráter revolucionário, lançam oportunidades inéditas para se alcançar o desenvolvimento. Durante a transição entre paradigmas, abrem-se, simultaneamente, duas janelas de oportunidade: na fase um, no início do paradigma, quando ainda estão se difundindo as novas tecnologias, e na fase de maturação, quando a tecnologia já é acessível e facilmente adaptada.

Quanto a competência, esses autores destacam que se trata de um conjunto de habilidades diferenciadas, vantagens complementares e rotinas organizacionais que permitem a firma coordenar uma série de atividades particulares de forma a prover a base para a vantagem competitiva em um mercado ou mercados particulares (DOSI & TEECE, 1993, p.6). Logo, a

competência das firmas é fundamentada em quatro pontos importantes: no aprendizado, nas oportunidades tecnológicas, na seleção ambiental e nos ativos complementares⁷.

Além da “*path dependence*” e dos ativos complementares, a definição de novas capacidades da firma é influenciada pelas oportunidades tecnológicas, constituídas a partir de “janelas” proporcionadas pela ciência básica. Apesar de fortemente relacionadas à indústria, as oportunidades tecnológicas são também influenciadas e alimentadas pelas inovações desenvolvidas pelas firmas através de suas atividades de pesquisa.

Porém, como colocado por TEECE (1986) não existe estratégia ótima que garanta o sucesso de uma empresa inovadora. De maneira geral, as grandes firmas possuem uma chance maior de sucesso, pois possuem ativos complementares especializados e co-especializados ao lançar novos produtos, bem como uma maior capacidade de realizar parcerias e contratos bem sucedidos.

Em um estudo realizado para classificar setores segundo as origens da tecnologia, as necessidades dos usuários dos produtos e as formas de apropriação das inovações, PAVITT (1984, p. 343-373) identificou 3 grandes grupos: i) *supplier dominated* (dominados pelos fornecedores); ii) *production intensive* (intensivos em produção); e iii) *science based* (baseados em ciência). A terceira categoria, por sua vez, foi subdividida em: a) *scale intensive* (intensivos em escala) e b) *specialized suppliers* (fornecedores especializados).

Pela caracterização estabelecida por PAVITT (1984), a origem das tecnologias do setor dominado pelos fornecedores (*supplier dominated*) é os fornecedores de equipamentos e insumos, ou seja, as firmas do próprio setor fazem poucos investimentos em P&D, dominam as inovações de processo (pela absorção de inovações geradas em outros setores), e sua absorção decorre da busca de reduzir custos pelas empresas e aumentar a eficiência dos fatores. Para o autor, essa categoria é basicamente formada por firmas pequenas com P&D e capacidade tecnológica baixos, onde a preocupação estratégica principal é o esforços para a redução de custos. Cita como exemplo dessa categoria a agricultura; setores tradicionais como têxteis, móveis etc.;

⁷ Neste caso, a inovação, para ter seu potencial de ganhos precisa de outros ativos ou capacitações, denominados de ativos complementares. Conforme TEECE (1986), esses ativos podem ser genéricos, especializados e co-especializados. Os genéricos são os de propósito geral que não necessitam ser adaptados para a inovação em questão. Ativos especializados, também chamados de específicos, são aqueles para os quais há dependência unilateral entre a inovação e o ativo complementar. E os co-especializados apresentam uma dependência bilateral. Os ativos complementares genéricos tendem a ser desincorporados e codificados e então são fáceis de se transferir. Porém, os específicos, que são compostos por sistemas altamente diferenciados, que possuem ativos e habilidades específicos à firma, não podem ser facilmente acessados por contrato, ou seja, são difíceis de copiar (TEECE, 1986, p. 289).

os serviços comerciais, entre outros, sendo que as firmas fazem uma contribuição secundária ao processamento de tecnologia de produto.

Já no setor de produção com escala intensiva (*production intensive*), as firmas investem fortemente em P&D e produzem internamente boa parte do seu processo tecnológico, assim as inovações são em produtos e processos e as atividades produtivas são mais complexas, com economias de escala de vários tipos. Nesse setor a apropriabilidade é maior, são firmas normalmente grandes e verticalizadas. Os fornecedores especializados, são composto pelos setores de mecânica e de instrumentos de engenharia, essas firmas dedicam sua atividade inovativa principalmente em produtos que serão utilizados em outros setores. Tratam-se de empresas relativamente pequenas e não fazem uma contribuição muito grande ao total de inovações produzidas no setor de atividade principal, sendo que os usuários e outras firmas fora do setor fazem grande parte das contribuições mais significantes.

Por fim, PAVITT (1984) destaca a categoria de firmas baseadas em ciência (*science based*), tratam-se de empresas grandes, principalmente do setor químico e eletro-eletrônico, cujas principais fontes de tecnologia são as atividades de P&D desenvolvidas em laboratórios próprios, utilizando-se também de grande parte do desenvolvimento das ciências subjacentes das universidades e das organizações tecnológicas. Devido a sofisticação das tecnologias e ciências subjacentes utilizadas e desenvolvidas, as várias formas de proteção das inovações, como as patentes e segredo industrial, das habilidades específicas de cada firma, existem fortes barreiras à entrada de novas firmas nesta categoria.

Ainda nesse ponto, ROSENBERG (2006) no livro *Inside the Black Box: Technology and Economics*, apresentou com detalhamentos históricos que o progresso técnico condiciona o desenvolvimento econômico, influenciando na evolução científica e implicando nos programas de pesquisas de instituições públicas e privadas. Esse autor estabeleceu que a tecnologia é muito mais que o efeito do emprego da ciência na construção de equipamentos, sistemas ou soluções. E que o domínio da tecnologia não se dá automaticamente através do transbordamento do conhecimento científico para as atividades práticas, muito pelo contrário, trata-se de um processo custoso, difícil, lento e que exige grandes investimentos.

Para ROSENBERG (2006), o processo de aprendizado pelo uso é fundamental para entendermos o processo de inovação tecnológica em setores de alta complexidade. Nestes casos específicos, esse tipo de aprendizado se diferencia do aprendizado pela prática, uma vez que este último está intrinsecamente relacionado a estratégias econômicas e ao processo produtivo. O aperfeiçoamento tecnológico pelo uso pressupõe um acompanhamento dinâmico e complexo de

inúmeros componentes e propriedades que ocorrem muito para além de sua significação econômica. Segundo esse autor:

“... numa economia com novas tecnologias complexas, existem aspectos essenciais da aprendizagem que são função, não da experiência envolvida na produção do produto, mas de sua utilização pelo usuário final Assim, o aprendizado pelo uso refere-se a um local de aprendizagem muito diferente daquele da aprendizagem pela prática. Há muitas razões por que isso deve ser assim. Talvez, em termos mais gerais, as características de desempenho de um bem de capital durável frequentemente não possam ser entendidas antes que se tenha tido uma prolongada experiência com ele” (ROSENBERG, 2006, p. 188-189).

Para POSSAS (1989, p. 170), os mecanismos de seleção e aprendizado são os componentes básicos para a difusão das inovações. Para esse autor, o processo de seleção é responsável por ampliar as vantagens competitivas tecnológicas das firmas líderes, identificando e selecionando as melhores possibilidades possíveis. Já o processo de aprendizado, tem a função de difundir o potencial inovativo e imitativo das firmas. Dessa forma, o progresso técnico pode ser identificado pela trajetória tecnológica vigente, nas quais as opções técnicas ficam condicionadas à trajetória anteriormente percorrida pela firma (*“path dependencie”*). Isso permite uma certa regularidade de longo prazo, reduzindo a instabilidade do ambiente institucional externo.

O conceito de aprendizado está associado a um processo cumulativo através do qual as firmas ampliam seus conhecimentos, aperfeiçoam seus procedimentos de busca e refinam suas habilidades em desenvolver, produzir e comercializar bens e serviços.

O aprendizado engloba os diversos processos pelos quais o conhecimento, científico e empíricos são posteriormente adquiridos pelas firmas, ou seja, a inovação se dá através das formas de aprendizado que a firma realiza. Observa-se que, na perspectiva neoschumpeteriana da mudança tecnológica, inovação e aprendizados são processos dependentes de interações e fortemente influenciados por contextos econômicos, sociais e institucionais e políticos específicos. Segundo Dosi:

“... o aprendizado é o processo pelo qual a repetição e a experiência permitem a realização das tarefas de um modo cada vez mais rápido e melhor, bem como as novas oportunidades de produção são identificadas” (DOSI et. al., 1992, pg. 191).

São três as modalidades básicas de mecanismos de aprendizado que podem ser realizados via fontes internas ou externas à firma. Quanto a capacidade tecnológica obtida via fontes

internas, são duas modalidades: i) cujo aprendizado é proveniente dos investimentos em políticas de P&D, trata-se de um processo de acumulação “tácita” de conhecimento baseado na busca de inovação, aperfeiçoamento de produtos e processos, ii) ou são incorporados através de vias informais, que inclui o aprendizado nas atividades correntes de produção, chamadas de “processos informais de acumulação de conhecimento tecnológico” dentre esses destacam o (“*learning by doing*” e “*learning by using*”).

Quanto às formas de transmissão do conhecimento, existem duas: formal ou informal. A transmissão formal é padronizada e codificada, e sua difusão ocorre através de publicações, licenças, manuais e patentes. Para esta forma de transmissão de conhecimento, a proximidade geográfica não tem muita importância. A transmissão informal é específica e tácita, e a difusão do conhecimento só ocorre através das pessoas, ensinamentos, treinamentos e aprendizado. Por ser informal, é muito mais sensível a distância (MALERBA & ORSENIGO, 1997).

O aprendizado por fontes externas é adquirido via fluxos de informações de caráter público e a partir, tanto da organização da produção em rede, como de centros de pesquisa, de universidades e de outras atividades relacionadas ao sistema de ensino e pesquisa local. Neste caso trata-se do desenvolvimento de “externalidades intra e interindustriais”, que inclui sistemas informação, mobilidade de mão-de-obra e serviços especializados (POSSAS, 1989, p. 170).

Na essência desse mecanismo está, obviamente, o processo de resolução de problemas, onde, com base nos conhecimentos acumulados, os seres humanos são levados a tomar decisões, ou seja, a fazer escolhas para manter o processo em funcionamento e, com isso, a acumular novos conhecimentos. Trata-se de uma contínua relação entre estoque e fluxo de conhecimentos.

Para DOSI (1988, p. 45) “...a inovação essencialmente está relacionada à descoberta, experimentação, desenvolvimento, imitação e adoção de novos produtos, novos processos de produção e novos arranjos organizacionais”. Assim, esse autor aponta alguns componentes que permite a compreensão do processo inovativo. São eles: a incerteza, as novas oportunidades tecnológicas baseadas nos avanços científicos, a complexidade envolvida nas atividades de inovação, a inovação tecnológica como uma atividade acumulativa e o processo de aprendizado baseado no “*learning-by-doing*” e “*learning-by-using*”. Ainda segundo esse autor:

“As pessoas e organizações, em especial as empresas, podem aprender como usar/melhorar/produzir coisas através do próprio processo de fazê-las, baseando-se nas suas atividades informais de resolução de problemas de produção, atendimento a requerimentos específicos de consumidores, superação de diversos tipos de gargalos etc”. (...) “... o que uma empresa pode esperar realizar tecnologicamente no futuro é altamente determinado pelo que ela foi capaz de realizar no passado” (DOSI, 1988, p.222).

O processo de aprendizado “*learning-by-doing*” é entendido como um procedimento em que os agentes aprendem a partir do conhecimento prático, proporcionando melhora na produção dos bens. Trata-se de um aprendizado via processo produtivo, que normalmente surge mediante a existência de “gargalos” e necessidades de resolver problemas técnicos desse processo. O “*learning-by-doing*” tem um enfoque concentrado no lado do produtor, consistindo no desenvolvimento cada vez maior da habilidade técnica nos estágios de produção.

No “*learning-by-using*”, o resultado derivado do aprendizado ocorre via uso, que é conscientemente perseguido e revertido numa melhoria das condições de produção e uso de um bem, trata-se de um processo que gera condições para mudanças contínuas. Através do uso podem ser conhecidos os limites, os problemas, as qualidades, e suas características, o que permite, através do sistema de informação, o aperfeiçoamento e melhoramento de bens usados no processo produtivo.

Por fim, a idéia é de que na abordagem neo-schumpeteriana, as rotinas atuem dentro da empresa como “genes”, transmitindo competências e informação. Os hábitos e rotinas das firmas mudam ao longo do tempo, e novas características podem ser transmitidas, sendo, então, possível a herança de características adquiridas. Trata-se, segundo (HODGSON, 1994, p. 132-3), da “memória organizativa” da firma, como se adquirem complexas aptidões tecnológicas e como essas vão sendo transmitidas dentro da economia.

Como resultado, as distintas aptidões tecnológicas fazem com que as firmas apresentem uma grande diversidade no processo de inovação, o que resultará em assimetrias e variedades tecnológicas. Essa heterogeneidade nos processos de inovação é o resultado de que as firmas utilizam, absorvem, desenvolvem e transferem tecnologias de maneira diferente uma das outras, para produção de produtos, fundando estruturas industriais com diferentes padrões de inovação da qual elas fazem parte (MALERBA & ORSENIGO, 1997).

Os neo-schumpeterianos confirmam a existência de distintos regimes tecnológicos, pois as firmas podem atuar em ambientes industriais diferentes. Segundo MALERBA & ORSENIGO (1997), regimes tecnológicos são definidos a partir de uma particular combinação de algumas propriedades, tais como: condições de oportunidade, condições de apropriabilidade, nível de cumulatividade do conhecimento e natureza da base de conhecimento. Logo, pode-se notar que para a abordagem evolucionista, a capacidade de inovação, além de apresentar uma característica assimétrica entre as diferentes firmas competidoras, varia entre países, entre setores específicos e mesmo no tempo.

DOSI (1988) identificou algumas razões que explicam essa variação dos avanços tecnológicos, destacou que as oportunidades tecnológicas próprias de um dado paradigma e as condições de apropriabilidade dos lucros gerados por ele são os principais determinantes para taxas de inovação dispar entre firmas e países. Quanto aos diferentes regimes de apropriabilidade de uma inovação, MACHADO (1998, p. 132-133) aponta que se torna mais forte quando mais difícil de ser copiada pelos competidores. Isso depende do grau de conhecimento tácito embutido na natureza da tecnologia e da eficácia dos mecanismos de proteção legal aos direitos de propriedade sobre inovações, a exemplo das patentes, dos direitos autorais, dos segredos comerciais e das marcas registradas.

O modelo de “Dinâmica de Inovação” proposto UTTERBACK (1996) foi desenvolvido para explicar a relação entre produtos inovativos de massa (com elevada padronização e escala de produção), o mercado e as firmas que surgem e competem com base na inovação tecnológica. Apesar desse trabalho de tese tratar de produtos complexos, que especificamente são sistemas de extração de sacarose, e que como tal não possuem as mesmas características de escala de produção e conhecimento técnico acumulado, dos utilizados no modelo de UTTERBACK (1996), esse modelo permite também discutir as diferenças entre produtos e inovações de processo, que resulte no chamado “*projeto dominante*”, definido pelo autor como:

“... aquele no qual competidores e inovadores devem aderir se esperam liderar o mercado de forma significativa. O modelo dominante geralmente toma a forma de um novo produto (ou conjunto de características) sintetizado a partir de inovações tecnológicas individuais já introduzidas de forma independente em produtos existentes” (UTTERBACK, 1996, p. 24).

Segundo UTTERBACK (1996), as firmas desenvolvem um processo dinâmico de inovação, que pode ser classificado ao longo do tempo em três fases: i) fluida; ii) transitória e; iii) específica. A primeira fase, é caracterizada por um ambiente dinâmico de experimentações, com uma elevada taxa de inovação de produtos colocados e validados pelo mercado. Os produtos desenvolvidos nessa fase são inovadores, porém, ainda não dispõem de informações definitivas sobre sua caracterização ideal, nem sobre seu mercado alvo.

A fase transitória, indica à firma inovadora a aceitação por parte do mercado do novo produto, ou como chamado por UTTERBACK (1996) do “*projeto dominante*”. Nessa etapa, as necessidades do mercado já estão definidas e a firma passa a focar a produção de escala para atender a crescente demanda pela inovação. Nota-se um maior vínculo entre o produto inovador e seu processo de produção, necessitando um maior investimento por parte da firma para colocar o produto em linha.

Na terceira fase, chamada de específica em referencia ao elevado grau de especificidades que se espera do projeto final, o processo de desenvolvimento do produto encontra-se mais maduro, e o produto já apresenta contornos definitivos, reduzindo o número de firmas que concorrem por esse *design*. No final dessa fase, as operações do processo de desenvolvimento do produto já são rotinas totalmente dominadas e automatizadas, a firma inovadora muda seu objetivo principal, busca então a alta eficiência e o baixo custo produtivo. Segundo o autor:

“...à medida que um produto torna-se mais padronizado e é produzido por um processo mais sistemático, a interdependência entre as sub-unidades organizacionais aumenta lentamente, dificultando e tornando mais onerosa a incorporação de inovações radicais” (UTTERBACK, 1996, p. 91).

A definição do projeto dominante provoca uma mudança quanto às competências necessárias para a competição entre as firmas. Antes deste, exigem-se que as competências estejam voltadas para a inovação radical, com uma organização informal de características altamente empreendedoras e flexíveis, muito próprio de centros de excelência em pesquisas e departamentos de P&D de grandes firmas. Após a definição do projeto dominante, as competências voltam-se para a inovação radical de processos de produção e inovações incrementais do produto ou serviço.

Por fim, UTTERBACK (1996) coloca que para a definição do projeto dominante, não são necessários apenas aspectos técnicos, outros fatores adicionais são importantes, tais como: uma forte imagem corporativa; vantagens próprias que de uma empresa estabelecida possui; canais de distribuição; estratégias de interação com os clientes; um processo de aprendizado focado para o mercado; entre outros.

1.3 A abordagem institucionalista

De maneira geral, nota-se que a noção de ciclos econômicos proposto por Schumpeter e de paradigma tecnológico definido por Dosi, explicitam a existência de um conjunto teórico que relaciona o regime de acumulação de capital, o padrão tecnológico da economia e o ambiente institucional. Assim, as instituições têm um importante papel na definição das diferentes trajetórias tecnológicas e de crescimento econômico adotadas.

Conforme CONCEIÇÃO, (2001, p. 76-77) a contribuição dessa abordagem é explicar a necessidade de se construir um ambiente institucional que possibilite o desenvolvimento industrial, a modernização política, o processo de difusão da informação e o de geração de novas

idéias. Para tanto, faz-se necessário entender o processo histórico de formação e atuação de algumas instituições nos diversos setores da economia.

No caso específico desse trabalho, a abordagem institucionalista será tratada brevemente, e agrupada em duas grandes divisões: i) o “velho institucionalismo” de Veblen ; ii) e a Nova Economia Institucional (NEA) cujos principais expoentes são Coase, North e Williamson. É importante destacar que não é objeto desse trabalho discorrer sobre essas diferentes interpretações minuciosamente, mais sim apontam características gerais que ajudam a entender a estruturação institucional que envolveu o setor produtor de máquinas e equipamentos para processamento de cana-de-açúcar e as agroindústrias durante o período de intervenção estatal. Além disso, caracterizar o papel dessas instituições na adoção de uma determinada trajetória tecnológica, baseada em um paradigma técnico específico, no caso tratado a moagem, em contrapartida de outro, tecnicamente mais eficiente e internacionalmente reconhecido e difundido.

Fazendo um contraponto à economia neoclássica, que apresenta uma estrutura teoria abrangente, relacionada ao comportamento e à escolha racional, que implica diretamente na teoria dos preços, no bem-estar econômico, e no equilíbrio dos mercados, a economia institucional não pressupõe que as concepções baseadas nos hábitos da atividade humana proporcionem formalmente uma teoria. Para essa abordagem são necessários outros elementos, tais como demonstrar como grupos específicos de hábitos comuns estão “enraizados” e são reforçados através de instituições sociais específicas. Logo, contrariando o modelo padrão em que a racionalidade dos indivíduos é uma variável conhecida, a abordagem institucionalista é forjada sobre a sociologia, psicologia e outras áreas de pesquisas que tentam entender como os agentes se comportam (HODGSON, 1998, p. 168-169).

O “velho institucionalismo”, adjetivo aqui utilizado como referência temporal e histórica, tem como seu principal expoente Thorstein Veblen. Conforme coloca CONCEIÇÃO (2002, p. 89) a abordagem de Veblen possui três pontos centrais: o primeiro refere-se à inadequação da teoria neoclássica em tratar as inovações, critica a sua característica de “dadas”, logo desconsiderando as condições de sua implantação; o segundo é sua preocupação, não com o “equilíbrio estável”, mas em como se dão as mudanças e o conseqüente o crescimento; e o terceiro é a ênfase dada ao processo de evolução econômica e de transformação tecnológica. Nesse sentido, o conceito de instituição é definido como sendo resultado de uma situação presente, que molda o futuro através de um processo seletivo e coercitivo, orientado pela forma como os homens vêem as coisas, o que altera ou fortalece seus pontos de vista.

De maneira geral, os pontos abordados por VEBLEN (1919) sintetizam sua preocupação principal, buscar uma teoria que explicasse como as inovações acontecem, não uma teoria que medita em torno das condições de equilíbrio depois das possibilidades tecnológicas estarem estabelecidas. A principal hipótese clássica rejeitada por Veblen, o primeiro ponto da sua abordagem, estabelece um pontapé inicial alternativo com o objetivo de construir uma “teoria econômica evolucionária”, onde instintos, hábitos e instituições exercem na evolução econômica papel análogo aos genes na Biologia (CONCEIÇÃO, 2002, p. 98).

De acordo com VEBLEN (1919, p. 239), as instituições podem ser definidas como sendo “... *hábitos estabelecidos de pensamento comum à generalidade dos homens*”. São vistas tanto como a superação quanto como o fortalecimento de processos de pensamento rotinizados, que são compartilhados por um número definido de pessoas em uma dada sociedade.

Segundo HODGSON (1998, p. 168), a abordagem dada por Veblen, moldou as idéias centrais do “velho institucionalismo”, que estão calcados nos conceitos de instituições, hábitos, regras e sua evolução. Destaca-se: i) o abandono da imagem da economia como um sistema auto-regulado; ii) o holismo no sentido de compreender a economia como parte de um todo em evolução; iii) o foco da análise no processo histórico de mudança da organização social de que as instituições fazem parte; iv) ênfase nas relações de poder que estão presentes nas economias de mercado, onde interações entre indivíduos são marcadas por correlações de forças, conflitos de interesses e mecanismos de coerção.

Conforme AREND (2004, p. 31), postas as características centrais do “velho institucionalismo”, é relevante destacar o papel estratégico conferido por essa escola ao conceito de “hábito”, do qual derivam o de “rotina” e “instituição”. Esse conceito é fundamental para explicar a gênese e permanência das instituições, pois são os hábitos que constituem parte das habilidades cognitivas que são aprendidas e imitadas dentro de instituições. Ainda segundo esse autor, quando os hábitos tornam-se comuns a um grupo ou cultura social estes se convertem em rotinas. Desta forma, os hábitos e rotinas preservam o conhecimento, particularmente o conhecimento tácito em relação às habilidades, e as instituições agem ao longo do tempo como um mecanismo de transmissão desse conhecimento.

Nota-se nas características apresentadas da abordagem institucionalista, uma grande proximidade com a escola evolucionista, principalmente no tocante as questões que envolvem a negação da apreciação clássica em torno da noção de equilíbrio, ou ajustamento marginal. Além disso, em comum, reiteram a importância do processo de mudança e transformação. Em suma, pode-se dizer que o “velho institucionalismo” não tem como alvo à construção de um modelo

geral simplificado, mas acredita que seus conceitos favoreçam análises específicas e historicamente localizadas. Esse é o principal contraste analítico dessa escola com o modelo neoclássico (HODGSON, 1998, p. 168).

A abordagem neo-institucionalista é derivada da forte influência dos trabalhos de Veblen, resgatando a importância de conceitos centrais do “velho institucionalismo” americano e do crescente vigor teórico da tradição neo-schumpeteriana. Para alguns autores, como MARSHALL (1993) e GORDON (1980) a idéia central dos neo-institucionalistas pode ser dividida em quatro frentes: i) a economia pode ser vista como um processo contínuo, que necessariamente não segue os preceitos clássicos; ii) as interações entre instituições e tecnologia são fundamentais; iii) rejeição à economia clássica, classificada como demasiadamente dedutiva, estática e abstrata; iv) a abordagem multidisciplinar para entender a economia (CONCEIÇÃO, 2002, p. 125).

O ponto de partida para a abordagem da Nova Economia Institucional (NEI) foi o importante trabalho "*The nature of the firm*", escrito por Coase em 1937. Nesse artigo, COASE (1937) trata de dois pontos fundamentais: primeiro não é a tecnologia, mas as transações e seus respectivos custos que constituem o objeto central da análise; e, segundo, a incerteza e, de maneira implícita, a racionalidade limitada são elementos chave na análise dos custos de transação. Assim, segundo a sua análise, a empresa teria como função economizar os custos de transação, o que se realizaria de duas maneiras: através do mecanismo de preços, que possibilitaria à empresa escolher os mais adequados em suas transações com o mercado, gerando “economia de custos de transação”; e substituindo um contrato incompleto por vários contratos completos, uma vez que seria de se supor que contratos incompletos elevariam custos de negociação e concertação (CONCEIÇÃO, 2002, p. 112).

Autores como Oliver Williamson e Douglass North também são expoentes desta corrente, apesar de apresentarem enfoques distintos. O primeiro apresenta uma nova abordagem no estudo da Organização Industrial, criticando os pressupostos clássicos de racionalidade (ilimitada ou substantiva) e maximização. E o segundo, faz análises num âmbito macroeconômico evolucionista, focando principalmente diferenças de performance econômica entre nações.

De maneira geral, a NEI preocupa-se fundamentalmente com os aspectos microeconômicos, enfatizando a teoria da firma, porém de maneira pouco convencional. Além disso, mescla esses aspectos com pontos relevantes da história econômica, economia dos direitos de propriedades, economia do trabalho e organização industrial.

Alguns economistas da NEI analisam as estruturas de poder e o papel do Estado na formação e influência dos diferentes mercados. Essa abordagem foca seu estudo no lado empírico

dos mercados, dando um maior realismo às análises econômicas através de uma melhor caracterização das transações que ocorrem no mercado. Assim, abordam com maior intensidade os fatores significativos inerentes às instituições como por exemplo: as informações incompletas e as assimetrias; os custos de transação; a definição dos direitos de propriedades; a regulação dos mercados; os nexos de contratos; e a definição de políticas públicas para determinados setores.

Williamson desenvolveu sua teoria da firma a partir de constatações do trabalho de COASE (1937), destacando que, devido aos custos de transação ocorrem alterações na estrutura da organização industrial. O objetivo de WILLIAMSON (1985) é compreender a origem e as funções das diferentes estruturas das firmas e dos mercados, e como essas instituições lidam com os problemas relacionados a transações. Para tanto, o artigo de 1985, apresentou sua Teoria dos Custos de Transação (TCT) que demonstrou o surgimento e o desenvolvimento de determinadas instituições, identificando as condições que estimulam os agentes a alterar a organização do meio em que atuam, buscando incrementar seu desempenho econômico.

Nesse trabalho WILLIAMSON (1991) apresenta três hipóteses básicas que sustentam toda a sua argumentação teórica: a primeira que as transações e os custos a ela associados definem diferentes modos institucionais de organização; em segundo, que a tecnologia, embora constituída em aspecto fundamental da organização da firma, não é fator determinante da mesma; e a terceira de que as “falhas de mercado” são centrais à análise (CONCEIÇÃO, 2002, p. 111)⁸.

Quanto as suas críticas a teoria clássica, são fundamentadas em dois pontos chaves. O primeiro enfatiza o novo tratamento dado por ele à firma, para Williamson, a firma deve ser vista como uma estrutura de governança, responsável por garantir uma coordenação mais eficiente das atividades econômicas que economizam os custos de transação. E o segundo, está embasado nas hipóteses de comportamento, para esse autor, a existência racionalidade limitada e do oportunismo dos agentes (contrariando a corrente clássica) são requisitos fundamentais para que existam custos de transação nas relações econômicas entre as firmas (WILLIAMSON, 1985, pg. 38-47).

⁸ Conforme colocado por Williamson: “Concentro-me nas transações e nos custos que se supõe realizá-las de um modo institucional e não em outro. Embora a relação da tecnologia com a organização continue sendo importante, dificilmente é determinante. Sustento a esse respeito que, salvo algumas exceções, as indivisibilidades e as inseparabilidades tecnológicas das quais se valem a teoria convencional para explicar a organização anexa ao mercado só servem para definir tipos de hierarquias muito simples. Alternativamente, mantenho que as considerações transacionais, não as tecnológicas, são as decisivas para determinar qual o modelo de organização que se há de adotar, em que circunstâncias e porquê. O que chamo de ‘estruturas de falhas de organização’ é crucial para a análise. Sua característica é que reconhece expressamente a importância dos fatores humanos, quando se tentam resolver os problemas da organização econômica” (WILLIAMSON, 1991, p. 18).

Assim, para WILLIAMSON (1985), o ambiente institucional define as “regras do jogo”, promove o desenvolvimento das atividades econômicas, as ações políticas, legais e sociais que governam a base da produção, troca e distribuição. Trata-se de um conjunto de normas que delimitam as ações estabelecidas pelo homem, disciplinando suas ações e regulando as instituições.

Assim, a análise dos custos de transação de WILLIAMSON (1985) oferece alguns elementos importantes para o estudo das inovações institucionais, a partir do momento em que permite analisar como novas formas de organização econômica podem resultar de esforços empresariais de geração de vantagens competitivas sobre rivais existentes e potenciais. Visto de maneira semelhante, pode-se dizer que a TCT enfoca a inovação institucional (novas formas de organização econômica) como resultado de estratégias empresariais que visam economizar em custos de transação e, portanto, geram diferenciais de eficiência sobre firmas rivais (AREND, 2004, p. 38-39).

A contribuição de NORTH (1990) na NEI foi a de articular as dimensões micro e macro institucional, para tanto reafirma o papel central das instituições no desenvolvimento histórico e propõem integrar a análise institucional à economia e à história econômica. Na sua abordagem, NORTH (1994a, p. 359) sugere que as instituições são restrições inventadas, que estruturam as interações humanas, são formadas pelas - segundo denominação do próprio autor - restrições formais (regras, leis, constituições) e restrições informais (normas de comportamento, convenções, códigos de conduta auto-impostos). Seu conjunto define a estrutura de incentivo das sociedades e, especialmente, das economias; logo podem ser tratadas como determinantes da performance econômica.

Sua análise, diferente da feita por Williamson, não trata somente da investigação das instituições e sua relação com o desempenho econômico, mas também aponta para uma teoria da mudança institucional. Neste caso, NORTH (1990, p. 83-84), indica que as mudanças institucionais são alterações substanciais, tanto nas restrições formais, quando mexe regras e leis, quanto nas informais, quando se alteram as convenções e hábitos. Trata-se de mudanças incrementais e essencialmente contínuas, de acordo com esse autor: “*A mudança tipicamente consiste em ajustamentos marginais ao complexo de regras, normas e imposição que constituem a estrutura institucional*” (NORTH, 1990, p. 84).

Segundo AREND (2002, p. 46) algumas dessas mudanças em preços relativos, propostas por North podem, ser exógenas, mas destaca que a maioria é endógena. Estas, normalmente são

resultados da aquisição de conhecimentos e especialização, ou seja, aprendizagem, levando os empresários a elaborarem novos modelos para solucionar problemas conjunturais, alterando assim os preços relativos percebidos. Nota-se neste caso, que é a atuação desses empresários, buscando solucionar problemas, que ocasiona a mudança institucional, geralmente são determinadas por um misto de mudanças externas e aprendizado interno (NORTH, 1994b, p.14).

Por fim, MORAIS & MILWARD (2005, p. 3) destacam que o papel central das instituições é de organizar as interações entre os diferentes agentes econômicos no processo produtivo e no mercado. E proporcionar que essa interação seja a mais produtiva possível, gerando um ambiente concorrencial que possibilite a inovação e o desenvolvimento tecnológico.

O Estado pela sua abrangência e legitimidade, apresenta-se como entidade privilegiada para canalizar forças através da coordenação de estratégias empresariais, e para a consolidação dos pactos necessários à sua concretização. Na abordagem institucionalista, o Estado é um importante e estratégico referencial para a constituição das economias modernas. Esta instituição maior é responsável pela proposição de incentivos, exigências de desempenho em definir o comportamento das atividades industriais existentes, além de proporcionar ao conjunto dos grupos empresariais viabilidades de projetos. Trata-se de um Estado que contribui para a divisão crescente do trabalho nas economias e para o desenvolvimento de uma estrutura complexa de interações entre os agentes (MORAIS & MILWARD, 2005, p. 4).

Dentro desta abordagem teórica, a política econômica, em particular a industrial, deve ser encarada como um instrumento necessariamente ditado pelo funcionamento das instituições. Trata-se de uma poderosa ferramenta que possibilita a compatibilidade entre estabilidade econômica, mudança tecnológica e competitividade sistêmica, minimizando as incertezas e potencializando as expectativas dos agentes. Neste contexto, o Estado assume um papel de destaque na elaboração e aplicação desses instrumentos de política, atuando estrategicamente para fortalecer setores e proporcionar a geração de inovações.

CAPÍTULO 2 O sistema de extração de sacarose por moendas, síntese das trajetórias percorridas

2.1 Os diferentes sistemas de extração de sacarose de cana-de-açúcar pré moagem

O processo de extração de sacarose de cana-de-açúcar através da moagem por rolos cilíndricos foi largamente utilizado nas regiões produtoras de açúcar a partir do século XV. Antes, os diferentes processos utilizados partiam do mesmo princípio físico empregado na moagem, a maceração dos colmos da cana-de-açúcar, porém utilizavam equipamentos diferentes das atuais e modernas moendas.

QUADRO 2.1: Tecnologias utilizadas para extração de sacarose da cana-de-açúcar, período de utilização preponderante e região

Período	Moagem / Inovação		Região
	Moendas	Força motriz	
até Séc. XVI	- pilões - trapiche - moinho romano - prensas	- homem - animais - roda d'água	- Oriente - Oriente Médio - Mediterrâneo
Séc. XVI	- pilões - trapiche - moinho romano - prensas	- homem - animais - roda d'água	- Oriente - Oriente Médio - Mediterrâneo - Ilhas Atlântico
Séc. XVII	2.1.1.1 Inovação	- homem	- Oriente
	- moendas de 2 rolos - moendas de 3 rolos	- animais - roda d'água	- Ilhas Atlântico - Américas
Séc. XVIII	- moendas de 3 rolos	- animais - roda d'água	- Ilhas Atlântico - Américas
Séc. XIX	Inovação		
	- moendas horizontal - trens moenda - difusor - açúcar beterraba	- roda d'água - máquina vapor	- Américas - Europa

Fonte: Adaptado de GAMA (1979, p. 81)

A obra clássica de LIPPMANN (1941) relata, para as diversas regiões em que se cultivava a cana de açúcar, as diferentes técnicas empregadas para extrair o caldo. Apesar das diferentes possibilidades de acionamento descrito por esse autor (bois, roda d'água, vento ou força humana) o princípio básico da extração é a maceração da cana-de-açúcar, utilizando para isso diferentes equipamentos tais como: a moenda de rolos ou cilindros e suas variações, o pilão; e as diferentes prensas e os moinhos de pedra. O emprego preferencial desses utensílios variava basicamente em função dos seguintes aspectos: i) tradições da produção artesanal de cada região; ii) influência externa que essa região sofreu ao longo dos anos; iii) e a capacidade de adaptar

tecnologias empregadas no processamento de outras matérias primas na cana-de-açúcar. O QUADRO 2.1 destaca o uso preponderante desses diferentes equipamentos em função do período histórico e da região do mundo em que suas utilizações foram mais observadas.

2.2 Os primórdios (orientais) do processamento da cana: China e Índia

LIPPMANN (1941, V.1, p. 305 a 313) resume evidências históricas, literárias e artísticas que sustentam a China como a precursora da fabricação do açúcar. Em uma de suas descrições, esse autor destaca a retirada da sacarose através do “...*princípio de ferver pedaços da cana em água...*” como um “...*antigo costume religioso dos chineses...*”.

Descrevendo a produção açucareira da China, em um período posterior ao emprego da fervura dos colmos da cana-de-açúcar, LIPPMANN (1941, V.1, p 310) relata o emprego de um outro equipamento para extração de sacarose, a “*prensa de alcanforeira*”. Esse equipamento foi desenvolvido para extrair óleo da canforeira, uma árvore originária do Japão, China e Formosa cujas cascas e folhas produz uma essência com propriedades terapêuticas apreciadas na medicina oriental. Porém esse autor não dá maiores detalhes técnicos sobre esse equipamento e sua utilização na extração da sacarose de cana-de-açúcar.

A descrição dos primeiros utensílios e dispositivos tecnológicos para extração de sacarose da cana-de-açúcar foram documentados, na China, durante a dinastia Thang, por volta dos séculos IX e X. Analisando mais cuidadosamente esses documentos, NEEDHAM (1996, p. 288) conclui que, na verdade, a tecnologia descrita neles não foi originalmente desenvolvida na China, mas transferida a partir da Índia por monges budistas. A maceração da cana-de-açúcar, nesse processo, ocorre a partir de um dispositivo denominado *kolhu*, conforme ilustrado na FIGURA 2.1.

O autor desse antigo manuscrito descreve esse processo como sendo um esmagamento entre “*millstones*”, ou seja, esmagamento por um moinho de pedra, um ponto questionado por vários pesquisadores uma vez que não se trata de moinhos de pedras, mas sim de um moinho tipo almofariz. Esse dispositivo era utilizado na Índia durante o século I e foi transferido para China juntamente com outras técnicas de fabricação, como a cristalização e a clarificação do açúcar (NEEDHAM, 1996, p. 288-289).

Nesse processo a cana-de-açúcar picada era depositada em um recipiente cilíndrico, construído a partir da base de uma palmeira esculpida. Com uma haste na forma de um mastro tracionada manualmente, realizava-se a maceração dos colmos da cana-de-açúcar através de um

movimento circular desse mastro, o caldo escorria para fora do recipiente por um pequeno canal e era retirado para tratamento.

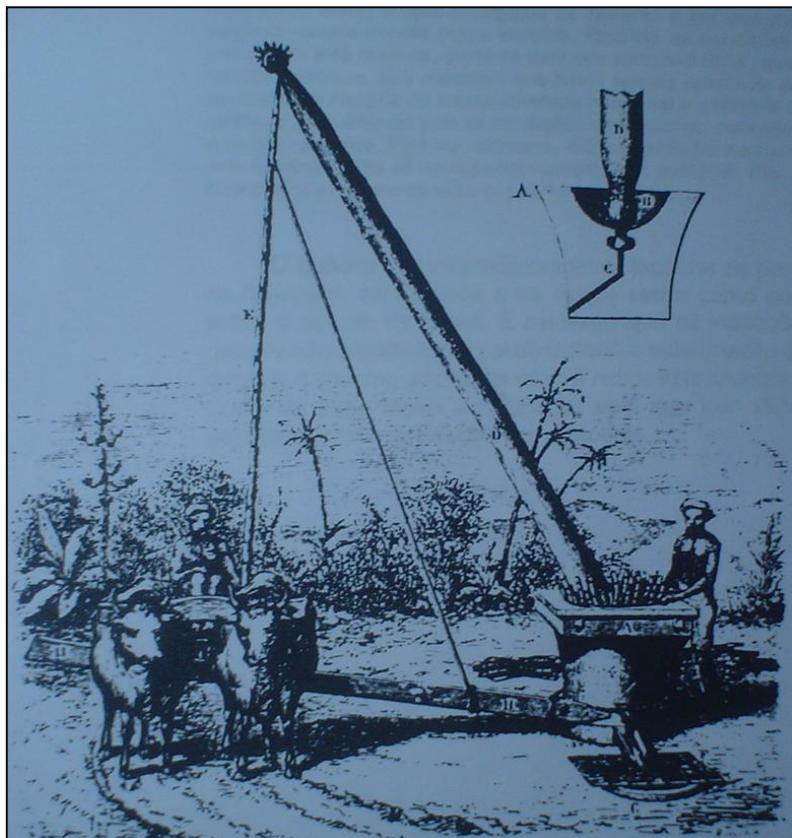


Figura 2.1: Moenda de almofariz utilizada na Índia.
Fonte: GAMA (1979, p. 86)

A descrição apontada por NEEDHAM (1996) coincide, com o “*yantra*” que, segundo DEERR (1950, V.2, p. 534 e 535), foi o primeiro equipamento para extração de sacarose de cana-de-açúcar empregados na Índia. DEERR (1950) aponta poucas evidências que efetivamente dê uma caracterização mais precisa dessa tecnologia utilizada no século X nessa região. Analisando posteriormente informações e relatos de navegadores em publicações que descrevem a expansão da atividade canavieira na Índia, verificou-se que essa tecnologia se tratava de uma espécie de pilão de moinho, construído originalmente a partir da base de uma palmeira com uma ranhura para escoar o caldo extraído da cana-de-açúcar macerada, muito semelhante à descrição do “*kolhu*” da China, daí a ligação entre as duas regiões produtoras.

A FIGURA 2.2 ilustra uma das moendas indianas utilizadas para extração de sacarose. Trata-se de uma moenda do tipo almofariz que foi reproduzida da obra de Louis Figuier denominada de *Lês Mervilles de l’industrie* (A indústria de Mervilles). DEERR (1950, V.2, p.

534) descreve em sua obra o mesmo processo de extração, porém relata que sua origem pode ser grega, baseada as antigas moendas para extrair óleo de oliva.

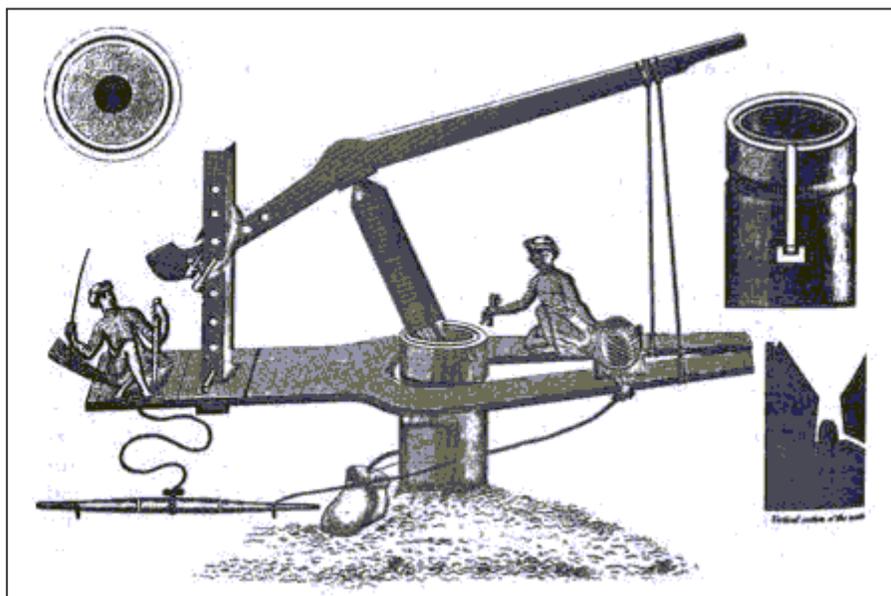


FIGURA 2.2: Moenda indiana do tipo almofariz.

Fonte: GAMA (1979, p. 87).

Nota: O pilão da moenda era esculpido na base de uma palmeira.

Da Ásia, o emprego da moenda de almofariz (*kolhu*) foi levada durante o período das cruzadas para a Palestina. LIPPMAN (1941, V.1, p. 340-341) relata técnicas de fabricação de açúcar utilizadas durante os séculos XI e XII, em que a cana era cortada em pequenos pedaços de meio palmo e esmagada em um pilão. Esse método foi posteriormente empregado na Europa durante o século XI principalmente na Sicília e na Espanha.

Durante o século XII um novo tipo de moenda passou a substituir a almofariz, devido a sua maior capacidade produtiva e melhor eficiência de extração. A moenda de mó de pedra, conhecida como “*edge-runner mill*” passou a dominar a tecnologia de extração de óleos e posteriormente de sacarose. A origem desse tipo de equipamento não é precisa, segundo NEEDHAM (1996, p. 292-293) é chinesa, e foi desenvolvida originalmente no século V para extrair óleo de sementes e no século XII para processar cana-de-açúcar, chegou ao Oriente Médio por volta do século XIII.

Existem dúvidas quanto às evidências históricas do emprego das moendas de mós de pedra no Oriente Médio. Viajantes ingleses observaram durante o século XIX grandes pedras circulares com até seis pés de diâmetros no vale do Rio Eufrates. A informações é que haviam sido utilizadas no processamento de cana-de-açúcar. Porém, essa opinião não é aceita por alguns estudiosos. Controvérsias à parte, o fato é que existe grande correspondência entre as moendas de

pedras encontradas na Pérsia e as utilizadas no Egito e na Sicília, a ponto desse tipo de equipamento ser batizado de “*Persian millstones*” por alguns pesquisadores (DEERR, 1949, p. 535).

A moenda de mós de pedra, como ilustra a FIGURA 2.3, utilizada durante o século XI era construída a partir de um grande disco de pedra com aproximadamente seis pés de diâmetro e peso superior a cem quilos, que na posição vertical, rolava circularmente sobre um piso esmagando a cana-de-açúcar, ou outra matéria prima. Sua principal aplicação durante toda a Idade Média foi na maceração de especiarias originadas das índias e de maçãs para fabricação de cidra. Nesse processo, a extração era complementada por uma prensagem da massa já processada para melhorar a eficiência de extração (NEEDHAM, 1996, p. 292).

O emprego de moinhos de pedra seguido da prensagem para o processamento da cana-de-açúcar expandiu-se rapidamente durante todo o ciclo dessa cultura no Mediterrâneo, nas colônias portuguesas do Atlântico (Madeira, Açores, São Tomé e Cabo Verde) e posteriormente na América até início do século XVII quando foi definitivamente substituída pelas primeiras moendas de cilíndrico. Quanto ao seu emprego na América, GALLOWAY (1989, p. 37) destaca sua adaptação à força motriz animal como a principal melhoria técnica, tanto no esmagamento de cana-de-açúcar quanto no processamento de minérios e fabricação de pólvora (FIGURA 2.4).

Apesar das referências do Oriente no desenvolvimento tecnológico de equipamentos e no aprimoramento de outras soluções inovativas para o processamento da cana e fabricação do açúcar até meados do século XIV, a partir de então, pouco se viu de melhorias introduzidas para essa atividade. Uma das explicações aponta a importância crescente que a econômica açucareira passou a ter no Ocidente, tornando-se uma atividade necessariamente de escala produtiva. Desde então, o centro da produção açucareira no Ocidente transferiu-se para as colônias do Atlântico, o que possibilitou o desenvolvimento de novas técnicas de produção agrícola e fabril.

Por outro lado, na China e Índia, a produção açucareira tinha um caráter artesanal com uma baixa escala de produção e o emprego abundante de mão-de-obra camponesa, especificidades que não demandam a necessidade de inovações técnicas, daí parte a explicação da estagnação no desenvolvimento tecnológica a partir do século XIV no Oriente.



FIGURA 2.3: Emprego das moendas de mós de pedra no processamento da cana-de-açúcar.
Fonte: GAMA (1979, p. 104)

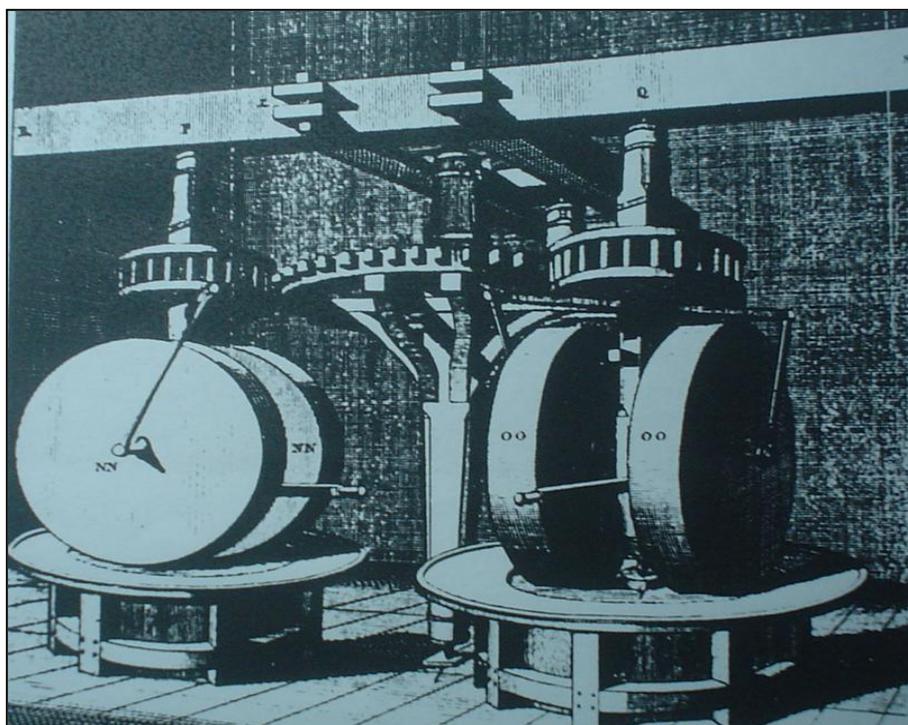


FIGURA 2.4: Emprego das moendas de mós no processamento de minério.
Fonte: GAMA (1979, p.112).

2.3 A tecnologia envolvida no processo de extração de sacarose no Mediterrâneo

Apesar de vários autores da história do açúcar destacarem a baixa produtividade dos primeiros equipamentos adaptados para o processamento inicial da cana-de-açúcar, não existem relatos quantitativos acerca dessa ineficiência. O que existe são descrições qualitativas que nos dão uma idéia do processo empregado e das especificidades técnicas envolvidas. Isso permite algumas indicações pouco conclusivas para uma análise comparativa entre os diferentes métodos e sua evolução técnica ao longo do tempo.

Durante quase quinhentos anos os centros consumidores de açúcar na Europa foram abastecidos por plantações e fábricas instaladas em regiões banhadas pelo Mediterrâneo, na própria Europa e no Norte da África. O desenvolvimento da produção canavieira na região do Mediterrâneo foi difundido a partir do Oriente Médio pelos árabes, instalando-se inicialmente nas ilhas e regiões peninsulares do sul da Europa e ao longo da costa da África do Norte.

As primeiras referências do cultivo de cana-de-açúcar ao redor do Mediterrâneo vêm da Síria, Palestina e Egito, nos anos após a sua ocupação pelos árabes, na primeira metade do século VI. Daí, o cultivo espalhou-se pelo vale e delta do Nilo, chegando ao Marrocos no século VII (DEERR, 1949, Vol. 1, p. 79-80 e LIPPMANN, 1950, V. 1, p. 40).

LIPPMANN (1941, V. 1, p. 270), descreve a respeito da produção de açúcar de cana-de-açúcar no Egito durante os séculos XIII e XVI a partir de relatos de uma enciclopédia da época. Esse autor pormenoriza as etapas de plantio, colheita, transporte, o emprego da maceração para a extração da sacarose da cana-de-açúcar, além da etapa de processamento do caldo para a fabricação do açúcar⁹. Em relação a etapa de extração destaca:

“ Os feixes de cana são levados por jumentos ou camelos à “casa da cana”, onde se cortam as “cabeças”, que dão caldo escasso e impuro; depois lascam a cana ao meio, cortam as metades, sobre grandes mesas de madeira (...) levando-os para as moendas de mó e movidas à água, por bois jungidos a um cabrestante ou, á maneira das antigas prensas de óleo, de alavanca ou parafuso” (LIPPMANN, 1941, V.1, p. 271).

Aponta ainda que o processo de moagem utilizado, muito rudimentar, não proporcionava uma separação completa do caldo e do bagaço. Logo, utilizavam uma segunda etapa a fim de complementar o processo, conforme destaca o ator:

⁹ As informações a respeito das práticas de produção descrita por Lippmann foram obtidas na Enciclopédia de Al-Nuvairi (1280 a 1332) escrita em 1325.

“Uma moedura por mais completa que seja, não bastava; põe-se o bagaço em espécies de sacos de junco flexível, e espremem-no em rodagens de vai-e-vem ou e prensas de alavancas manejadas a golpes repetido (...) só assim se consegue a regularidade do trabalho ulterior” (LIPPMANN, 1941, V.1, p. 271).

Outros métodos para extração de sacarose da cana-de-açúcar também foram descritos por esse enciclopedista árabe e referenciados por LIPPMANN (1941, V. 1, p. 272). Na sua maioria, parte do mesmo princípio já salientado neste texto: inicia-se com a picagem da cana, seguida de uma maceração e uma etapa de prensagem para retirar o caldo.

Ainda no Egito, porém no século XV observa-se o emprego de um moinho de pedra (moinho de mó) no processo de extração de sacarose da cana-de-açúcar, LIPPMANN (1941) descreve uma passagem da viagem de um certo cavaleiro pela planície do Nilo no ano de 1496:

“... corta-se a cana, que é doce, bem rente ao chão, a qual se reduz em pedaços pequenos de um dedo ou menos; estes são jogados a uma espécie de tanque onde há uma mó disposta de tal modo, que bois a põem em movimento sobre o fundo do tanque, e assim se opera a moagem” (LIPPMANN, 1941, V. 1, p. 390-391)

Para GALLAWY, (1989, p. 34) a atividade canavieira na Espanha iniciou-se no século IX, dois séculos após a invasão árabe. A costa mediterrânea na região de Málaga e Almeria, e posteriormente a região de Valencia, foram os principais centros produtores espanhóis entre os séculos X e XVI.

Referindo-se a prática da produção do açúcar na Espanha, mais especificamente em Granada, durante o século XII em plena invasão árabe, LIPPMANN (1941, V. 1, p. 285) destaca a utilização de um pilão para a extração da sacarose.

“... corta-se a citada cana, se está madura e boa, no tempo citado, janeiro: depois a recortam em pequenos pedaços, que são quebrados violentamente em pilões ou utensílios semelhantes, moidos, fazendo-se o cozimento em caldeira limpa” (LIPPMANN, 1941, p. 285).

LIPPMANN (1941) aponta que no início do século XII, em Granada, existiam aproximadamente 14 fábricas de açúcar que utilizavam pilões acionados por animais de carga e pela força d'água. Na Itália a cana-de-açúcar foi introduzida um século e meio após a conquista da Sicília pelos árabes no final do século IX. Porém, foi a partir da sua retomada pelos normandos no século XI e do início das cruzadas que aumentou a familiaridade dos europeus

com açúcar, levando a um crescimento da procura e uma conseqüente expansão canavieira na Palestina, Rodes, Malta, Chipre, Creta e na própria Sicília¹⁰ (GALLAWAY, 1989, p. 34).

Existem relatos sobre a utilização adaptada de um outro tipo de moinho de pedra para o processamento de cana-de-açúcar, tratava-se de um moinho para produzir farinha de trigo, também chamado de moinho romano (FIGURA 2.5). Esse equipamento era constituído de duas pedras circulares sobrepostas, a parte superior girava sobre a inferior que permanecia imóvel, os pedaços de cana-de-açúcar eram colocados entre as duas pedras e macerado. Em seguida, o bagaço era prensado para melhorara a eficiência de extração.

A respeito da atividade de produção de açúcar no Mediterrâneo, mais especificamente na Sicília, LIPPMANN (1941, V.1, p. 333) descreve a utilização de um moinho de farinha para o processamento de cana-de-açúcar, destaca o caráter provisório e adaptativo dos equipamentos instalados nas fábricas do século XII: “... *os molendinas, ocorrem tão freqüentemente nos textos do século XII, não são moendas de cana, mas moinhos de trigo...*”.

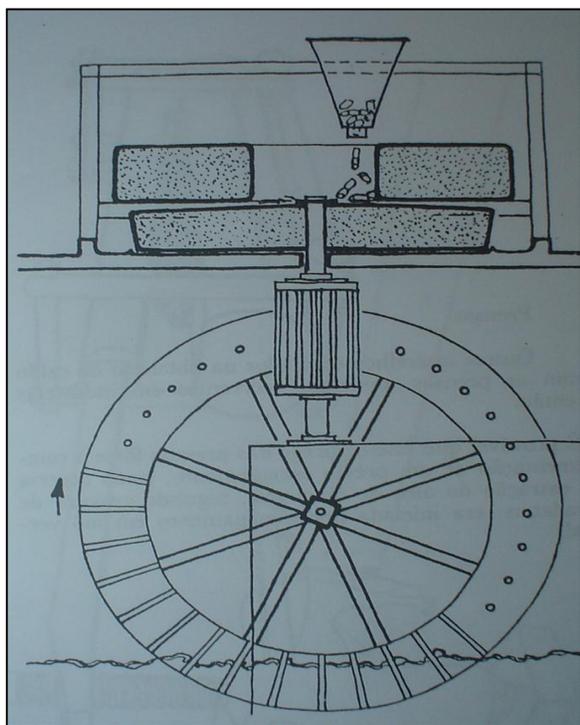


FIGURA 2.5: Esquema de um moinho de cereais (moinho romano para processar trigo) .
Fonte: FERNANDES (1971, p. 21)

¹⁰ Durante os anos que sucederam a conquista da Sicília pelos Normandos (a partir de 1072) LIPPMANN (1941, V. 1, p. 332) destaca a intensificação da atividade canavieira nessa região. E foi nos arredores de Palermo, devido as pedreiras de Calatubo, que se desenvolveu a atividade de construção de moinhos de pedras (mós de pedra) que abastecia as fabricas de açúcar da Sicília e ilhas vizinhas.

A etapa de moagem da cana-de-açúcar se caracterizou durante todo o período de produção no Mediterrâneo pelo intenso emprego de mão-de-obra, dada a elevada ineficiência dos equipamentos utilizados, devido principalmente a força motriz empregada. Os colmos da cana-de-açúcar eram cordados em pequenos pedaços e o caldo extraído em duas etapas: a primeira através da moagem; e na segunda etapa, o resíduo macerado era acondicionado em uma prensa e esmagado novamente, por várias vezes, liberando o restante do caldo (GALLOWAY, 1989, p. 37 e 38).

A FIGURA 2.6 reproduz a estampa da coleção *Nova Reperta* de Ian Van Der Straeten (Stradanus, 1536-1605), que também é lembrada por DEERR (1941) e LIPPMANN (1950), ilustra a atividade de manufatura de açúcar na Sicília no século XVI (FIGURA 2.6). Alguns pesquisadores da história do açúcar a consideram equivocada quanto a se tratar de uma fábrica siciliana de açúcar. Para DEERR (1950, V.1, p. 535-536), a ilustração de Stradanus se refere a descrição de um engenho típico do Egito; o moinho hidráulico representado no segundo plano da ilustração é uma cópia fiel de outras ilustrações da edição veneziana do Vitruvius (1567); o moinho, em particular, é representado como sendo um autêntico “*mola versatilis*” conhecido também como moinho romano utilizado para processar azeitonas e cereais desde o século I a. C.

NEEDHAM (1996, p. 302-303) também se refere à ilustração, posicionando-se contrário a possibilidade de se tratar de uma fábrica siciliana. Inicialmente aponta que o artista não entendia muito sobre a morfologia da cana-de-açúcar, a reprodução sugere duas folhas em cada nós, o que não ocorre em nenhuma variedade de cana-de-açúcar utilizada na época. Segundo, que seria necessário uma grande pressão – até mesmo a utilização de uma ferramenta auxiliar como um bastão, sobre os colmos de cana-de-açúcar para introduzi-los nesse tipo de moinho (sugere que era um moinho romano para cereais), inviabilizando a possibilidade de se utilizar um equipamento do tipo “*mola versatilis*”, como ilustrado.

VIEIRA (2006, p. 12) sugere que o processo de extração de sacarose através de moinho de grão, tipo “*mola versatilis*”, não é reconhecido historicamente devido a falta de evidências técnicas para isso. Sobre a ilustração, descreve que apesar de ser a mais divulgada, revela pouco sobre a atividade. Para esse autor, o aspecto principal da gravura é a representação da divisão de tarefas e fases da fabricação do açúcar: em primeiro plano o corte da cana em colmos, a moagem, depois a prensagem, o cozimento nas caldeiras e finalmente o processo de purga com os pães secando.

Independentemente da discussão que norteia a ilustração de Stradanus o fato é que o processamento da cana-de-açúcar ocorria em três etapas, duas das quais adaptadas a partir de equipamentos desenvolvidos para processar cereais.



FIGURA 2.6: Extração de açúcar na Sicília durante o século XVI.
Fonte: GAMA (1979, p. 90).

A prensa ilustrada na obra de Stradanus era chamada de *prensa largar-tórculo*, originalmente desenvolvida para a extração de óleo de oliva, as azeitonas eram moídas inicialmente em moinhos de mós (feitos de pedra) e posteriormente, a massa resultante ensacada e prensada. A FIGURA 2.7 reproduz a ilustração de Stradanus publicada em 1580, observa-se a fabricação de azeite de oliva, com o emprego do moinho com tração animal (trapiche) e prensa manual (*tórculo*), notam-se semelhanças entre as duas ilustrações referenciadas nas FIGURAs 2.6 e 2.7.

Segundo LIPPMANN (1941, p. 394) durante todo o século XV na produção açucareira de Palermo:

“Colhe-se a cana, que é cortada em pedacinhos, e estes são levados a um moinho de pedra, em volta do qual anda um cavalo, tal como nos lagares, donde, depois de bem moídos e quebrados, são transportados para um prensa de madeira, em que extrai o caldo...” (LIPPMANN, 1941, p. 394).

No trecho citado, verifica-se que o moinho de pedra descrito trata-se de um *trapiche*, ou seja, um tipo de moenda com mós de pedra que rodam sobre um piso no qual se colocam as canas

a serem esmagadas. Segundo GAMA (1979, p. 105) a palavra *trapiche* origina-se do termo latino *Trapetes*, que significa “*pedra de moinho de azeite*”, que se aplica além da cana e das azeitonas, nos moinhos de pulverização de minérios, fabricação de pólvoras e de cal, podendo ser acionado através da força humana, animal e por roda d’água.



FIGURA 2.7: Fabricação de azeite de oliva no século XVI.
Fonte: GAMA (1979, p. 119)

Os trapiches foram utilizados na produção de açúcar durante todo os séculos XV e XVI, principalmente no mediterrâneo e posteriormente nas Américas, mais precisamente nos primeiros engenhos espanhóis instalados em São Domingos, no início da produção açucareira no Novo Mundo.

Para GALLOWAY (1989, p. 37), a atividade canvieira no Mediterrâneo caracterizou-se pelo atraso tecnológico em relação a outras regiões do mundo. Destaca que os poucos casos de inovação tecnológica na economia açucareira do Mediterrâneo foram mal documentados, portanto, não se podem comprovar seus impactos na eficiência produtiva dos engenhos. Aponta a substituição gradual da mão-de-obra pela força motriz animal (cavalos, bois e jumentos) e posteriormente o emprego de rodas d’água, principalmente no Egito, Marrocos e Sicília, como a principal melhoria técnica do período.

O declínio da produção açucareira no Mediterrâneo tem sido historicamente atribuído a concorrência com produtores mais eficientes nas colônias no Atlântico e na América. Essa

justificativa, aparentemente simplista, deve ser analisada levando-se em conta aspectos próprios da produção açucareira do Mediterrâneo durante os séculos XV e XVI. A produção de açúcar diminuiu em importância no Egito, Palestina e Síria durante o século XIV, ocasionado por pragas nos cultivares, pestes que dizimaram populações agrícolas, conflitos armados, entraves políticos nos diferentes sultanatos do Egito e Marrocos, e a estagnação tecnológica. Na costa sul da Espanha, a atividade canavieira continuou importante até meados do século XVI, porém sem uma produção com escala expressiva, comparado ao crescimento da demanda desse produto (GALLOWAY, 1989, p. 43-44).

Independentemente dos problemas enfrentados por importantes produtores de açúcar do Mediterrâneo, a atividade canavieira se expandiu para as colônias no Atlântico e posteriormente para a América. No Brasil e em outras colônias na América, o modelo técnico inicialmente adotado para o processamento da cana-de-açúcar era semelhante aos utilizados nas ilhas do Atlântico e no Mediterrâneo. A principal vantagem comparativa estava nas novas técnicas de plantio e tratos culturais da cana-de-açúcar, e a possibilidade de implantação de um modelo “*plantation*” de colonização. As condições ambientais: clima e solo; dispensavam gastos com irrigação e de competição de áreas com outras culturas alimentares, além disso, a abundante disponibilidade de lenha como combustível reduziam os custos de fabricação do açúcar.

2.4 A controvérsia sobre a invenção da moenda de cilindros

Um ponto amplamente difundido em todas as discussões que envolvem a evolução dos sistemas de processamento de cana-de-açúcar foi a introdução pioneira da moenda de três rolos. Sua importância está no fato de ser o primeiro dispositivo tecnológico genuinamente desenvolvido para o processamento da cana-de-açúcar, melhorando consideravelmente a eficiência desse processo. A utilização dessa tecnologia dispensava a picação e a prensagem, etapas até então fundamentais para o melhor desempenho produtivo durante a extração da sacarose.

Todos os autores são unânimes em considerar a introdução e a generalização da moenda de três rolos, primeiro posicionados na vertical e posteriormente na horizontal, como um divisor de águas para a atividade canavieira a partir do século XVII, ou seja uma inovação tecnológica radical. Porém, existem discordâncias quanto ao pioneirismo dessa inovação. O fato é que, tanto a moenda de mós de pedra vertical, quanto a moenda romana do tipo “*mola versatilis*”, apresentavam-se como meios de extração de sacarose pouco eficazes, levando em consideração a

generalização da produção e do comércio açucareiro no século XVI, sendo sistematicamente substituído pela moenda de cilindros a partir de então.

Inicialmente, a tese de LIPPMANN (1941) e DEERR (1950) de que a invenção remonta a Sicília do século XV foi a mais aceita e, posteriormente a mais rebatida. Para esses dois autores a moenda de cilindros é originária da Sicília e fruto de melhorias tecnológicas dos antigos “*trapetum*” de processar azeitonas.

Destaca LIPPMANN (1941, V.1, p. 394-395) que a inovação partiu de um produtor chamado Pietro Speciale, que acumulava o cargo de prefeito da Sicília, segundo esse autor:

“Em 1419, a universidade de Palermo compôs um guia da cultura e irrigação da cana, e em 1449, conforme Ranzani, montou Pietro Speciale, perto de Ficarazzi, ... (“o admirável aparelho que os sicilianos chama de trapetum”), para moer a cana acionada por roda d’água. Essa nova máquina, ainda hoje chamada de trapetto ou trapitto, compunha-se de dois ou três tambores em posição horizontal ou vertical, mui próximos uns dos outros e movidos por uma só engrenagem, a cana passa entre o primeiro e o segundo tambor e depois entre este e o terceiro, e assim se obtinha uma moagem simples, completa e barata” (LIPPMANN, 1941, V. 1, p. 394).

Em 1952 Moacyr Soares Pereira inicia uma pesquisa em Palermo com a finalidade de comprovar as suspeitas da não veracidade a cerca da introdução da moenda de cilindros, ou tambores como alguns autores preferem, citadas por DEERR (1950) e LIPPMANN (1941). Os resultados dessa pesquisa foram apresentados no livro “A origem dos cilindros na moagem da cana: Investigação em Palermo” publicada em 1955 pelo Serviço Especial de Documentação Histórica do Instituto IAA.

Esse autor analisou as referências bibliográficas citadas por DEERR (1950) e LIPMANN (1941) que sustenta a tese de que a inovação fora desenvolvida por Pietro Speciale na Sicília. Quando confronta o fragmento do texto de LIPPMANN (1941, V.1, p. 394-395) a respeito da inovação, com os originais de Ranzani, PEREIRA (1955, p. 24) destaca que não existe nada que comprove a introdução de rolos para processar cana-de-açúcar, nem que o “*trappeto*” era construído com três cilindros, conforme sugere Lippmann. Muito pelo contrário, as evidências levantadas no texto são de que o “*trappeto*” é o mesmo equipamento já descrito neste e em outros textos sobre tecnologia canavieira, e que não era formado por rolos como descreve Lippmann.

Analisando a obra de Gaspar Vaccaro, considerado o principal historiador da cultura canavieira e açucareira da Sicília, PEREIRA (1955, p. 25-26) levanta mais argumentos que

descaracterizam a assertiva de Lippmanne e Deerr sobre as moendas de três cilindros¹¹. Neste texto, o autor cita a existência de dois tipos de “moinhos” para processar cana-de-açúcar:

“ Das histórias até agora publicadas não me foi possível saber qual tenha sido o moinho do qual fizeram uso as colônias americanas, se tomado pelo método siciliano, chamado de trappeto, ou se sob a fora atual composta de três cilindros.... Na Sicília jamais se conheceu aquela maquinaria de três cilindros até o total abandono das fábricas de açúcar foi sempre usado o nome de “Trapetum”.... (PEREIRA, 1955, p. 25-26)”.

Em uma outra passagem do texto, PEREIRA (1955) destaca uma crítica do autor (Vaccaro) para generalização do emprego do termo “moinho”, destacando que é impróprio para designar o conjunto de cilindros verticais. Neste caso, o termo fora adaptado da expressão antiga para a forma moderna da máquina, cujo princípio básico se difere do anterior. O “trappeto” tinha a finalidade de macerar, moer o grão, a azeitona, o fruto, a cana-de-açúcar entre outros, através do mó de pedra, daí o termo moinho. Já os referidos cilindros esmagavam a cana-de-açúcar sem desintegrá-la, um processo com diferenças técnicas substanciais, que segundo o texto justifica uma nova nomenclatura, diferente da anterior.

“ ... e quando se quis na América extrair o caldo, dirigiu-se Veloso aos artífices da Ilha de Palma, uma das Canárias, onde certamente só existiam moinhos semelhantes aos nosso [trappetos]. Por outro lado a expressão francesa, que até agora se conserva, é a de ‘Moulin’, cuja ação é esmagar, esmiuçar com mó de pedra dura, que não pode em verdade se adaptar aos cilindros verticais que comprimem, esmagam sem partir....E daí vai concluindo que ser moderna a maquinaria dos cilindros substituindo a antiga, da qual não se cancelou a expressão mas imprópriamente se adaptou a atual. (PEREIRA, 1955, p. 27)”

Além da constatação documental de que a invenção da moenda de três cilindros não foi uma obra siciliana, PEREIRA (1955, p. 30) avilta a possibilidade de que essa técnica tenha sido trazida do Oriente, mais especificamente da China, por franceses e empregados originalmente no Ocidente em São Domingo, uma colônia no Atlântico. Inicialmente esse equipamento era composto de apenas dois cilindros de madeira, e já era caracterizado como mais eficiente que o “trappeto”, pela sua simplicidade, rapidez e economia. Posteriormente, para torná-lo duplamente útil foi acrescentado um terceiro cilindro, melhorando seu rendimento operacional e a qualidade do caldo: mais límpido e puro; o que impactou positivamente na etapa de clarificação, tornando-a

¹¹ O texto referenciado: “Sobre o reclamo da cana de açúcar na Sicília e nas regiões que o existem” (tradução de PEREIRA, 1955, p. 25). No original como: Gaspar VACCARO e Panebianco. *Sul richiamo della Canna Zuccherina in Sicília e sulle ragioni che lo exiggono*. Presso la tipografia di Lipomi, 1829.

mais rápida e barata. Logo após a introdução e melhoria tecnicamente desse equipamento pelos franceses, a inovação foi imitada pelos ingleses na Jamaica (PEREIRA, 1955, p. 30-31).

Os estudos recentes sobre a história do açúcar reforçam as evidências de que o emprego de dois cilindros para processar cana-de-açúcar teve sua origem na China, onde foi utilizado inicialmente para processar algodão e papel, e chegou à Europa por volta do século XVI e, a partir de então adaptado às necessidades da produção açucareira local.

GALLOWAY (1989, p.205-206) apresenta um desenho de Sung Ying-Hsing que ilustra o processamento da cana-de-açúcar através de um moinho vertical de dois cilindros acionado por tração animal. Destaca que o mesmo princípio foi inicialmente utilizado no descaroçamento de algodão, porém, neste caso os rolos eram posicionados na horizontal, diferente do emprego na cana-de-açúcar (FIGURA 2.8).

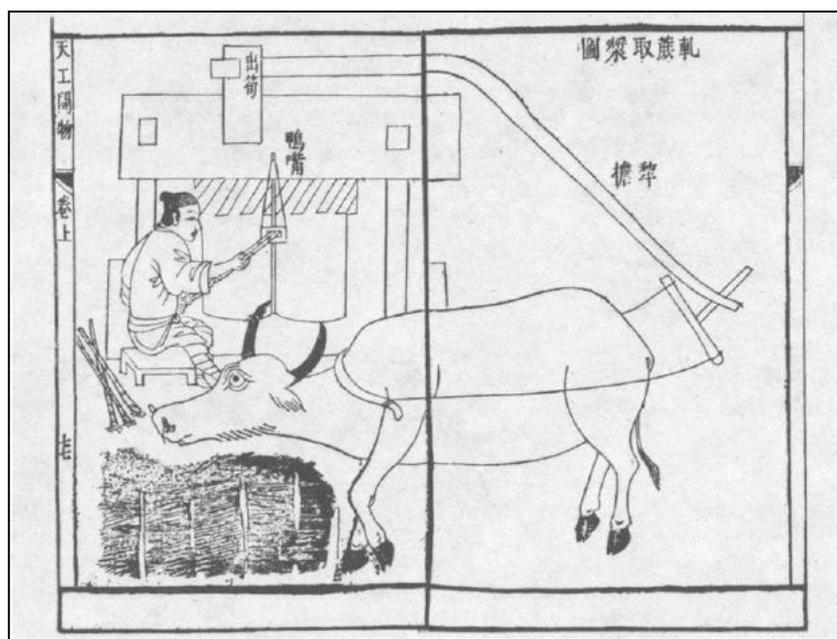


FIGURA 2.8: Moenda de dois cilindros chinesa (tração animal).

Fonte: . DANIELS & DANIELS (1988, p. 525).

A máquina de descaroçar algodão chinesa era um equipamento com dois cilindros horizontais que giram em direções opostas. O algodão cru era introduzido entre os dois rolos previamente ajustados, manivelas individuais acionavam cada um dos cilindros, permitindo a passagem do algodão e retendo o caroço.

Percebe-se certa semelhança entre a tecnologia empregada na máquina de descaroçar algodão e as primeiras moendas de cilindros para cana-de-açúcar. DANIELS & DANIELS (1988, p. 505) aponta esse equipamento chinês como um possível ancestral dos modernos laminadores de aço, e outros equipamentos utilizados na fabricação industrial do papel e de tecidos. Apesar

das ilustrações que remontam a utilização desse equipamento na China, acredita-se que teve sua origem na Índia, porém construído com apenas um rolo horizontal que expelia o caroço pressionando o algodão cru entre o cilindro movido por manivela e uma base fixa, o segundo rolo foi introduzido pelos chineses no século XII.

As primeiras moendas com dois rolos na posição vertical para processar cana-de-açúcar foram construídas na China durante o século XVI, motivada principalmente, pela melhor adaptação do mecanismo de acionamento dos cilindros ao emprego da tração animal. Os primeiros engenhos com moendas de dois cilindros acionados por queda d'água foram construídos na América entre os anos de 1520 e 1530 a partir de modelos originados na China e Índia. Foram introduzidos no Novo Mundo pelos espanhóis e portugueses logo após os primeiros contatos marítimos entre a Europa e a Ásia no início do século 16 (NEEDHAM, 1996, p. 302-303).

Todos os indícios levantados apontam para a transferência da tecnologia empregada na máquina de descaroçar algodão oriental para a construção das primeiras moendas de dois cilindros, descaracterizando a sustentação de DEERR (1950) e LIPPMANN (1941) quanto a origem siciliana desse equipamento.

2.5 A aplicação da moenda de dois cilindros nos engenhos nas Colônias do Atlântico

Apesar de existir consenso entre os pesquisadores, que defendem a concepção a partir do Oriente da moenda de cilindros, e que a sua introdução e difusão tecnológica no ocidente ocorreu nas colônias no Atlântico, existe uma segunda hipótese para a inovação. Segundo relatos da Historiografia castelhana, a moenda de cilindro foi inventada e introduzida no processamento da cana-de-açúcar por Gonzales de Veloza em Hispaniola no século XVI. A despeito dessa hipótese, DANIELS & DANIELS (1988, p. 517), após analisar as evidências e argumentos apresentados, relata que a invenção em questão não se trata da moenda de cilindros, mas da indústria do açúcar naquela ilha¹².

¹² O principal argumento de DANIELS & DANIELS (1988) para descaracterizar a inovação de Gonzáles como sendo a moenda de cilindros está em: ORTIZ, F. *Cuban, Counterpoint: Tobacco and Sugar*. New York, 1947. Neste texto o autor destaca que “Gonzáles de Velosa construiu uma moenda movida a força animal (cavalo) e inaugurou a primeira fábrica de açúcar da ilha, ele por si só merece agradecimentos como principal inventor desta importante indústria”. (tradução minha). Segundo DANIELS & DANIELS (1988) é evidente que as observações do autor citado se aplica à "invenção" da indústria de açúcar na ilha, e não da moenda de rolos.

Pode-se dizer que o ciclo canavieiro no Atlântico iniciou sobre o domínio e padrão tecnológico até então adotado no Mediterrâneo. E que a introdução da moenda de dois ou três cilindros não foi motivada por inovações próprias do Mediterrâneo, conforme sugeriu LIPPMANN (1941) e DEERR (1950), surgiu na Ásia foi transferida para as Canárias e de lá para as colônias no Novo Mundo.

Como uma das sustentações dessa tese, DANIELS & DANIELS (1988, p. 516) destaca que escavações em sítios arqueológicos nas antigas regiões canavieiras do Mediterrâneo evidenciaram, predominantemente até meados do século XVII, o emprego de moinhos de pedras no processamento da cana-de-açúcar. Os primeiros vestígios e relatos acerca da utilização de moendas de cilindros no Mediterrâneo remontam o século XVIII na Espanha, depois no Egito e Marrocos, e esses equipamentos esmagavam cana-de-açúcar com apenas dois cilindros¹³.

A Ilha da Madeira foi a primeira colônia portuguesa no Atlântico a desenvolver a atividade canavieira, entre os anos de 1420 e 1433 foram instalados os primeiros engenhos com a tecnologia até então empregada no Mediterrâneo. Tratava-se de fábricas com pequena capacidade de produção voltada para a exportação, os primeiros equipamentos instalados para extração de sacarose foram as “*alçapremas*” e posteriormente o moinho de mó de pedra. Em meados de 1450 foi construído o primeiro engenho movido com roda d’água, apesar da pouca descrição técnica dessa fábrica, estudos indicam que se tratou de um moinho de mó de pedra movido por uma roda horizontal, uma técnica empregada nessa região até meados do século XVI. A partir da Madeira, a atividade canavieira expandiu-se rapidamente para as Canárias, Açores, São Tomé e Brasil DANIELS & DANIELS (1988, p. 5112-5113).

Durante o século XVI surgiram os primeiros relatos da instalação de moendas de cilindros no ocidente. Segundo DANIELS & DANIELS (1988, p. 514) foi nas Ilhas Canárias em 1570 que se instalou a primeira moenda de dois cilindros, um equipamento adquirido por negociantes italianos e construído com tecnologia da ilha da Madeira, esse equipamento recebeu os nomes de: *ingenio*, *trapiche* e *molina*. A nomenclatura *trapiche* entrou no vocabulário canavieiro como sinônimo de todos os tipos de engenhos de cilindros utilizados para esmagar cana-de-açúcar.

Esse novo equipamento de rolos introduzido no ocidente para processar cana-de-açúcar apresentava inicialmente duas configurações possíveis: cilindros na horizontal e na vertical. Não

¹³ DANIELS & DANIELS (1988, p. 516) citando WILLUGHBY’S, Francis. “A Relation of a Voyage Made through the Great Part of Spain”. In *Observations Topographical, Moral, and Physiological: Made in a Journey through Part of the Low-Countries*. London: John Ray, 1673, p. 466-99 , p. 477-79. “Two-roller horizontal mills followed by static perssing continued at least until the middle of the next century in Spain...”

SPAUDING, Thomas descreve em: COULTER, E. M. *Georgia’s Disputed Ruins*. Chapel Hill: N. C., 1937. “For two-roller horizontal mill that Napoleon Bonaparte’s experts found in 19th-century Egypt” .

existe um consenso a respeito de que configuração inicialmente foi adotada, é fato que as referências a respeito das moendas de dois rolos verticais são mais presentes na historiografia canavieira e aparentemente surgiram após as moendas com dois rolos posicionados na horizontal. As primeiras moendas de três rolos foram construídas na configuração vertical, uma evolução incremental aparentemente simples do modelo de dois rolos vertical mais utilizados até então.

As moendas de dois rolos posicionados horizontalmente foram utilizadas durante o século XVI e XVII nas ilhas colonizadas no Atlântico e de lá, transferido para a América. A disposição técnica dos rolos dessa moenda se assemelha a disposição original do descarçador de algodão chinês, inspiração inicial das primeiras moendas de dois rolos para cana-de-açúcar, conforma já descrito neste texto. Segundo GAMA (1979, p.123), a moenda de rolos horizontais, denominada de “engenhos de eixos” eram as mais utilizadas no Novo Mundo até serem substituídas pelas moendas de palitos, entende-se aqui como sendo as de cilindros posicionados na vertical (FIGURA 2.9). Assim, esse autor dá indícios de considerar a utilização, tanto das moendas de dois rolos verticais como já descrito, quanto das de dois rolos horizontais, como anteriores as primeiras moendas com três rolos verticais.

As especificações técnicas desses equipamentos de dois rolos, independente da sua configuração, são semelhantes e de necessária caracterização a fim de entender sua evolução para o modelo de três cilindros. Inicialmente eram inteiramente construídas de madeira, por conta disso apresentavam desgastes, principalmente nos mancais e nos cilindros. Esse desgaste aumentava a distância entre os rolos diminuindo gradativamente a eficiência de extração do equipamento. Quanto a questão energética, se adaptavam a força motriz animal, de rodas d'água, ventos (principalmente nas ilhas do Caribe) e mão-de-obra escrava.

Operacionalmente ela possuía um lado de entrada e um lado de saída, como eram constituídos de apenas dois cilindros, apresentava a desvantagem de não poder ser alimentado dos dois lados. Isto é, não permitia a dupla moagem com uma única alimentação, como as moendas de três cilindros. Assim, para melhorar sua eficiência de extração do caldo, o repasse do bagaço já esmagado era feito inúmeras vezes (FIGURA 2.10).

A moenda de dois rolos apresentava como principal vantagem a redução no número de operações durante a etapa de extração do caldo da cana. Nas fábricas do Mediterrâneo e nas primeiras colônias do Atlântico, que utilizavam a maceração através de mós de pedra, a cana era inicialmente picada, moída e prensada, três operações que requeria duas máquinas (moinho e prensa). Já nas moendas de cilindro, dois esmagamentos com apenas um equipamento.

Nas reproduções ilustrativas das operações de fabricação de açúcar durante o período em que o emprego dos moinhos de mós de pedra era predominante, observa-se um número médio de cinco trabalhadores na fase de extração de sacarose da cana-de-açúcar: pelo menos três na operação de picação e maceração da cana-de-açúcar (alimentação do moinho), e dois na etapa de prensagem. Quanto a fábrica utilizava mão-de-obra no acionamento do moinho, esse número aumentava em pelo menos mais dois trabalhadores, com o emprego dos engenhos de cilindros esse número reduziu para apenas três.

Outra vantagem que passou a ser operacionalizada a partir do século XVIII era que, independente do número de esmagamento realizado, quanto maior melhor a eficiência de extração, o bagaço, principal subproduto da operação de esmagamento com rolos, apresentava características que possibilitava sua queima, melhorando a eficiência energética dos engenhos.

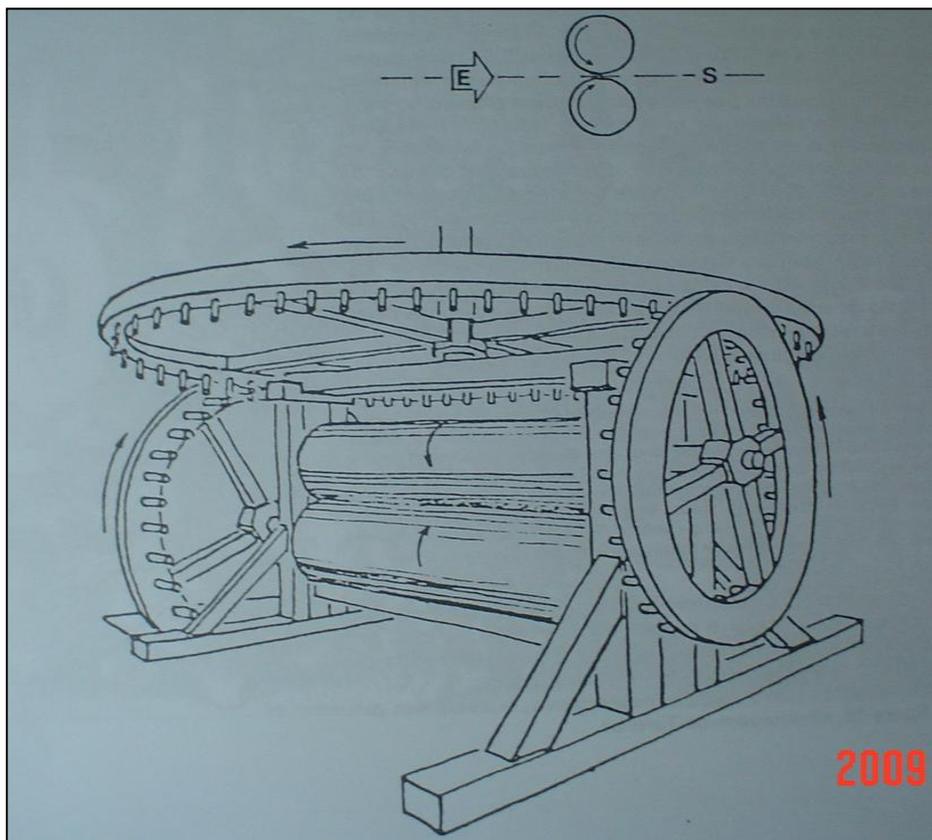


FIGURA 2.9: Moenda de rolos horizontais.
Fonte : GAMA (1979, p. 122)

A utilização das moendas de rolos horizontais foi referenciada por clássicos autores e pesquisadores da atividade canavieira no Brasil, fica evidente as desvantagens desse equipamento em relação a disposição vertical dos cilindros. FREI VICENTE (s.d.) destaca o dispêndio energético necessário para acionar esse equipamento em função da sua robustez. Para o auto, o

ideal era o acionamento por roda d'água, porém esse mecanismo apresentava problemas de produtividade, pois a movimentação do cilindro era lenta. Quando o engenho era desprovido de recursos hídricos, necessariamente recorria ao trapiche movido por tração animal (almanjarras), as desvantagens comparativas desse tipo de acionamento elevavam os custos de produção do açúcar uma vez que exigia do produtor juntas de animais para mover as pesadas boleadeiras e processar a cana (FIGURA 2.9).

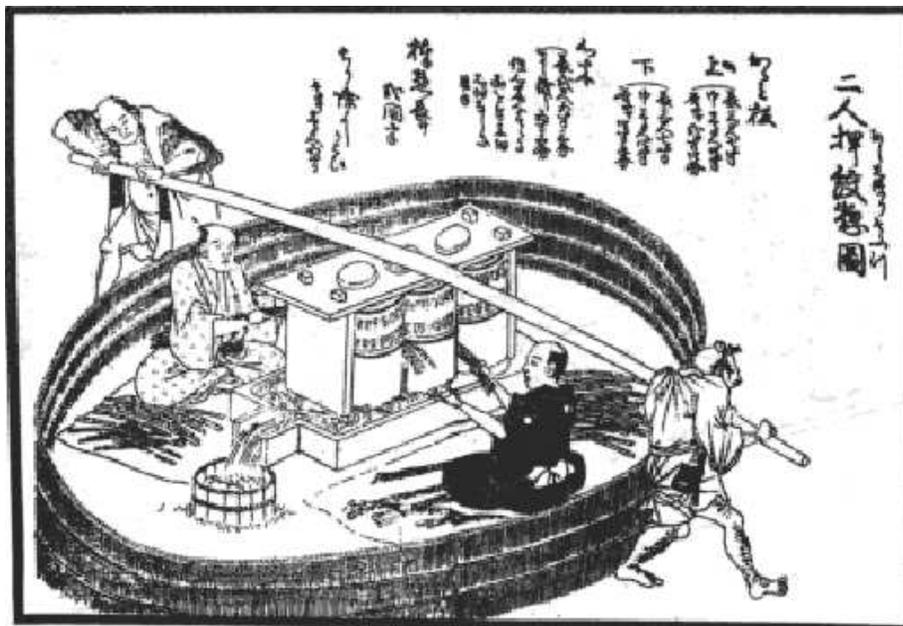


FIGURA 2.10: Operação com moenda de três rolos verticais.
Fote: NEEDHAM (1996, p. 341)

CARDIN (1952, p. 320) também destaca a desvantagem de engenho de rolos horizontais movido a almanjarras com juntas de bois, no que tange os custos com a manutenção do rebanho e atribui a um engenho movido com roda d'água o dobro da capacidade de extração de um engenho de animais. Quanto à utilização de moendas de dois rolos de madeira em engenhos nas Américas Central e do Sul, CANABRAVA (1981, p. 116-117) destaca que esse tipo primitivo de equipamento era facilmente observado nas Antilhas Francesas, nas áreas sob dominação holandesa, e no Brasil durante o início do Século XVII. Segundo essa autora, no fim do Século XVII esse tipo de moenda de dois rolos já havia sido totalmente substituído pelo modelo de dois cilindros dispostos na posição vertical.

“O defeito capital da velha moenda de dois cilindros horizontal estava na deficiência de pressão. Tão insignificante que, no Brasil, a cana apenas partia, era depois espremida por

meio de gangorras ou prensas de vigas – o mais antido aparelho de se extrair o caldo” (CANABRAVA, 1981, p. 116).

Quanto às primeiras moendas com dois rolos, ficou evidente sua origem na atividade canavieira oriental e a sua ligação tecnológica com os equipamentos utilizados para descaroçar algodão. Resta agora um breve esclarecer quanto a introdução do terceiro rolo, ou cilindro, na máquina originada na China (FIGURA 2.10), o que será tratado no item a seguir.

2.6 A moenda de três cilindros verticais e a sua utilização

A substituição dos trapiches com mós de pedra e das moendas de dois rolos na posição horizontal pelas moendas com três rolos verticais é considerada por estudiosos como a evolução técnica mais importante para o processamento da cana-de-açúcar. A disposição vertical dos cilindros em uma moenda apresenta vantagens comparativas significativas sobre a configuração horizontal, até então utilizada. A simplicidade de construção e configuração (FIGURA 2.11) permite que sobre um dos cilindros, mais alongado, fixe o dispositivo de acionamento da moenda, resultando em uma menor tomada de potência para sua movimentação.

O alinhamento vertical dos cilindros permite que o caldo da cana-de-açúcar escorra do bagaço mais rapidamente, potencializando a recuperação de açúcar no processo. A eliminação da etapa de prensagem, só possível após a introdução das moendas de cilindros verticais, diminuiu os custos de produção, tanto na redução de mão-de-obra envolvida na extração, quanto na qualidade do caldo extraído que era mais claro com uma quantidade menor de impurezas, o que impactou diretamente na etapa de clarificação do açúcar.

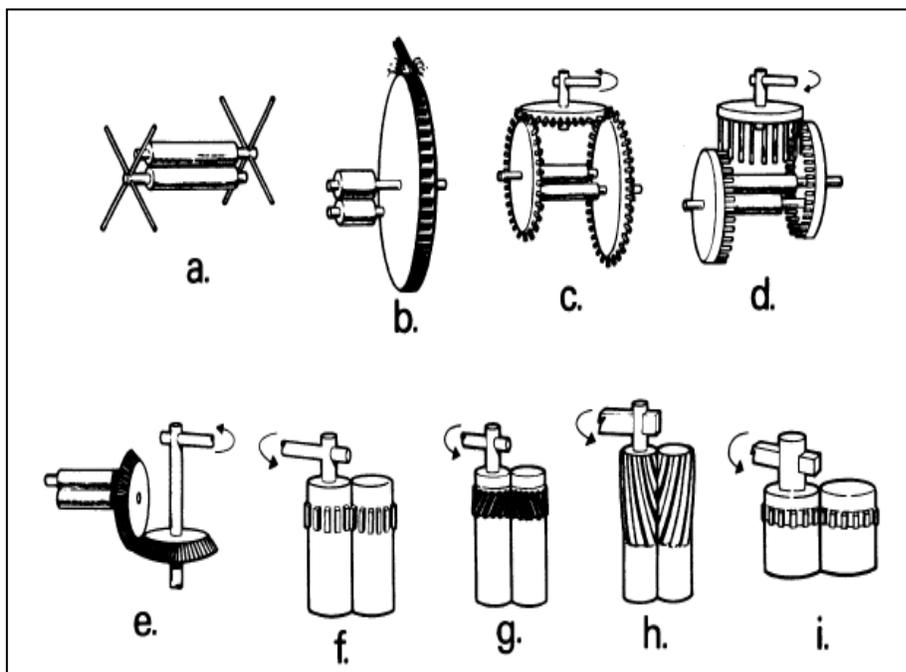


FIGURA 2.11: Moendas de dois cilindros

Fonte: DANIELS & DANIELS (1988, p. 505)

Nota: a. – e.: moendas de dois rolos horizontais; f. – i.: moendas de dois rolos verticais

Apesar de amplamente difundida em todas as regiões canavieiras do mundo e preponderantemente utilizada durante os séculos XVII e XVIII, a origem das moendas com cilindros verticais é obscura. Segundo DANIELS & DANIELS (1988, p. 523) os primeiros indícios de utilização desse equipamento com essa disposição foi relatado em um manuscrito indiano de em 1540. Porém, um estudo mais apurado dessa evidência constatou que o equipamento em questão era um pilão de almofariz (“*kolhu*”) e não um moinho de rolos.

Efetivamente, o primeiro engenho indiano com uma moenda de dois rolos dispostos verticalmente foi visto no fim do século XVII por John Francis Careri em visita por Goa. Segundo DANIELS & DANIELS (1988, p. 524) esse tipo de moenda, principalmente acionada por bois, era comum em todo o sudeste da Ásia entre os séculos XVII e XIX, e que a sua origem é muito anterior ao período relatado pelo viajante inglês.

As primeiras moendas de dois rolos posicionados na vertical foram utilizadas simultaneamente na China e nas colônias da América por volta de 1600. A tese mais aceita pelos estudiosos é que sua invenção foi na China por volta de 1590 e que: i) o intercâmbio de missionários cristãos; ii) e as estreitas relações comerciais entre essas duas regiões, fizeram com

que a inovação disseminasse rapidamente, sem possibilidades de precisar cientificamente a originalidade da inovação (NEEDHAM, 1996, p. 323)¹⁴.

Os primeiros cilindros eram feitos de madeira com cortes oblíquos no formato de evolventes na parte superior do rolo, esses cortes facilitavam o engrenamento entre os dois cilindros. Assim, à distância entre os rolos fica previamente definida melhorando a capacidade de esmagamento da moenda, e o acionamento de um dos cilindros em um sentido, necessariamente movimentava o outro, no sentido inverso, direcionando um fluxo de entrada da cana-de-açúcar e de saída do bagaço (FIGURA 2.12).

O emprego do terceiro rolo nas moendas de dois cilindros verticais para o processamento da cana-de-açúcar foi uma questão de tempo e de experimentação tecnológica¹⁵. O primeiro registro de uma moenda com essa característica técnica é incerto, porém existem indícios que a inovação tenha partido de produtores do Novo Mundo, e que tenha sido inventada no Peru e rapidamente transferida por um padre espanhol para o Brasil, principal centro produtor de açúcar da época. Segundo DANIELS & DANIELS (1988, p. 526) a primeira referência desse tipo de equipamento aparece na ilustração de um manuscrito 1613 que foi publicado na obra de MAURO (1960, p. 204)¹⁶ (FIGURA 2.13).

Percebe-se que existem dúvidas quanto à autoria dessa inovação, a fim de solucionar essa dúvida o pesquisador Antônio Barros de Castro (BARROS de CASTRO, 1980) sugeriu que o padre espanhol tenha tomado conhecimento desse equipamento através de técnicas de mineração de prata do Peru. No Brasil, transferiu seus conhecimentos de engenharia mecânica para o artesão que adaptou as idéias para o processamento da cana-e-açúcar.

Essa tese de BARROS de CASTRO (1980) é duramente questionada por DANIELS & DANIELS (1988, p. 528) que não aponta similaridade tecnológica e nem compatibilidade entre

¹⁴ Segundo DANIELS & DANIELS (1988, p. 529), existe uma vasta coleção de cartas publicadas e não publicadas a partir do século 16, que forneceram informações das diferentes missões jesuíticas no oriente e nas Américas para o secretariado jesuíta em Roma. Dentre essas comunicações estão informações a respeito de técnicas agrícolas de produção de cana-de-açúcar e de seu processamento fabril para fábricas dessa missão religiosa no México e no Peru. Segundo o autor é um fato relevante que embasa a potencializada de transferência rápida da tecnologia canavieira do oriente para as colônias do Atlântico e América.

¹⁵ As moendas de cilindros verticais também foram denominados de “moendas de entrosas”, devido as ranhuras construídas ao longo dos cilindros com a finalidade de melhorar a superfície de contato entre os rolos e a cana, proporcionando, ao mesmo tempo, a quebra das fibras da planta e seu esmagamento. Ver mais em GAMA (1979, p. 125-126).

¹⁶ Frederic Mauro, *Lê Portugal et l'Atlantique au XVII Siècle (1570-1670)*. Paris, 1960. O autor relata a breve transição o sistema de esmagamento de dois cilindros horizontais para os verticais e, finalmente, a adaptação do terceiro rolo durante o início do século XVII. Não discute a autoria da inovação, afirmando-se tratar apenas de uma consequência busca de melhorias no processamento da cana-de-açúcar.

os equipamentos e processos técnicos utilizados pelas empresas de mineração espanholas e as do setor canavieiro da época.

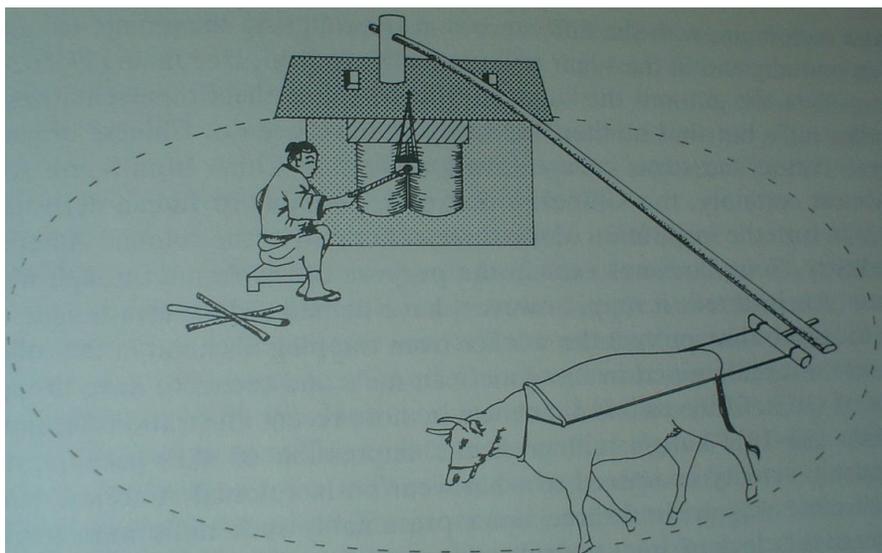


FIGURA 2.12: . Moenda de dois rolos japonesa utilizada no século XVII
Fonte: GALLOWAY (1989, p. 205)

Por volta de 1620 um colono português chamado Gaspar Lopes Coelho que trabalhava como mestre de engenhos em Pernambuco, fez uma petição a coroa portuguesa reivindicando para si a invenção de uma moenda de três rolos dispostos verticalmente, porém essa não foi aceita por falta de provas concretas da invenção.

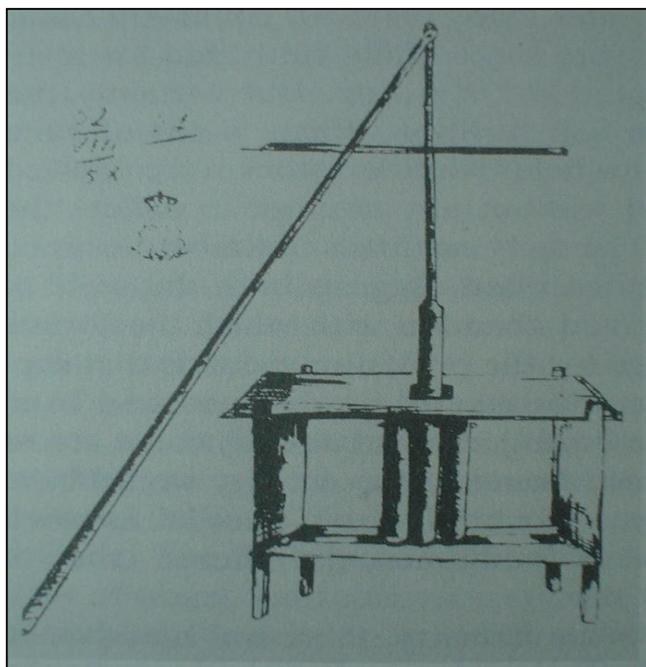


FIGURA 2.13: Esquema manuscrito de 1613 da primeira moenda de três rolos verticais que se tem registro.
Fonte: GALLOWAY (1989, p. 74).

2.7 Conseqüências da introdução da moenda de três rolos verticais

O fato é que, qualquer que seja a verdade destas reivindicações conflitantes, ficou claro que a moenda de três cilindros foi uma invenção diretamente e genuinamente ligada a atividade canavieira e uma melhoria tecnológica que remonta um novo ciclo da atividade canavieira no mundo, descaracterizando as hipóteses levantadas por Deerr e Lippmann sobre a autoria siciliana.

O texto de BRANDÃO (1962), destaca a repercussão da inovação no Brasil quanto à melhoria na eficiência de extração de sacarose e da substituição completa dos antigos equipamentos até utilizados. Além disso, frisa algumas características técnicas da inovação, primeiro a disposição vertical e o distanciamento entre os três cilindros de madeira e segundo as várias possibilidades de acionamento possíveis.

“...uma nova invenção de moenda, a que chamam palitos, para a qual convém menos fábricas, e também se ajudam para moendas deles de água e de bois; e tem-se esta invenção por tão boa que tenho para mim que se extinguirão e acabarão de todos os engenhos antigos, e somente se servirão desta nova traça ... três paus postos de por alto muito justos, dos quais o do meio com uma roda de água ou com uma almanjarra de bois ou de cavalos se move e faz mover os outros” (BRANDÃO, 1962, p. 85).

Nota-se que a movimentação do cilindro central acionava necessariamente os outros dois, ou seja, os cilindros eram interligados na parte superior do equipamento por três conjuntos de dentes esculpido na ponta de cada um dos cilindros. O engrenamento desses dentes permitia a transferência do movimento do cilindro central para os demais, o resultado era o chamado duplo esmagamento com apenas um acionamento, a principal inovação desse tipo de equipamento.

Nas primeiras moendas de entrosas (cilindros verticais) de três rolos, apenas o cilindro central se movia através do seu acionamento direto, não existia nenhum dispositivo que engrenava e transferia movimentos aos demais rolos, estes permaneciam fixos. Nessa disposição também era possível o duplo esmagamento, porém a força necessária para acionar o rolo móvel, puxar a cana entre os dois primeiros cilindros, esmagá-la e repetir a operação era muito grande, desgastando excessivamente os cilindros que permaneciam fixo, aumentando o distanciamento entre eles e diminuindo a eficiência da operação. Como solução incremental, foi instalado dispositivos de engrenamento nos três cilindros, conforme já escrito (FIGURA 2.14).

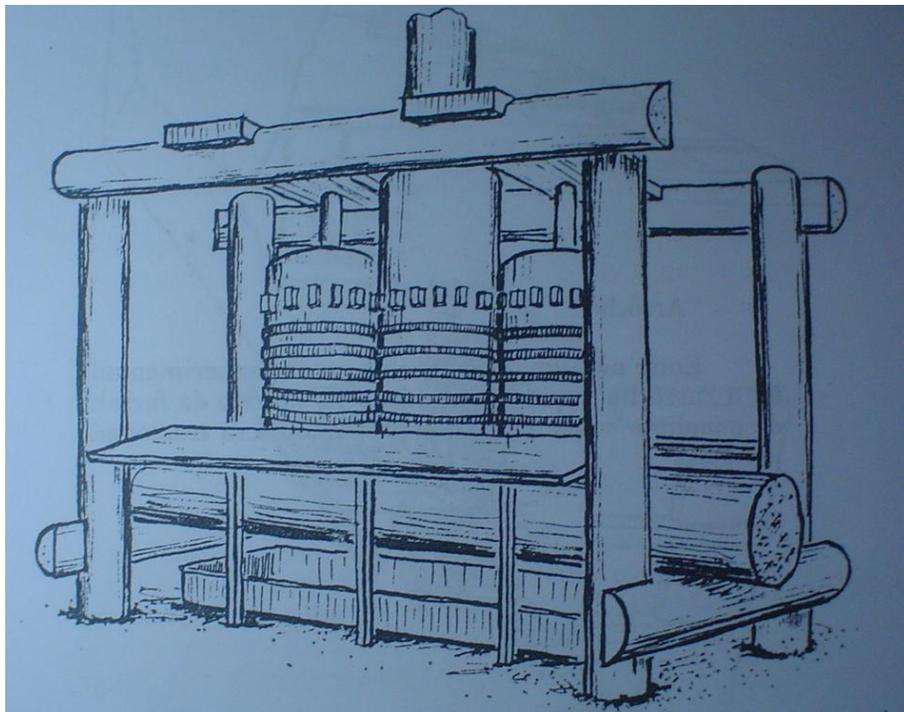


FIGURA 2.14: Moenda de três cilindros vertical.
Fonte: FERNANDES (1971, p. 29).

Quanto à divisão e especialização do trabalho nos engenhos de cana-de-açúcar dessa região, LIPPMANN (1941, V.2, p. 130-131) descreve que na etapa de extração do caldo trabalham cinco pessoas: uma no transporte da cana-de-açúcar até a base da moenda; duas alimentando a moenda no processo de dupla pressão; e mais duas recolhendo e retirando o bagaço, todos trabalhando em torno de 16 horas por dia. A adoção desse novo tipo de moenda proporcionou um rendimento maior na produção açucareira uma vez que incrementou a capacidade de extração de caldo dos engenhos. Uma vantagem importante desse equipamento estava nas várias possibilidades de acionado por qualquer fonte de energia conhecida na época. Além disso, tratava-se de um dispositivo de construção e manejo simples e, apesar dessas vantagens, apresentava um rendimento ainda modesto, extraía-se no máximo 56% do volume do caldo contido na cana, isso quando se utilizava a força animal (CANABRAVA, 1981, p. 120)¹⁷.

Esse equipamento apresentava características importantes para época, apesar de ainda apresentar deficiência na extração de sacarose, apresentava uma mecânica simples e rudimentar.

¹⁷ Durante todo o Século XVIII, em Pernambuco foi largamente utilizada as moendas movidas a atração animal. CANABRAVA (1981, p. 123-124) aponta que a preferência por esse equipamento vem do seu preço relativamente baixo e da facilidade de operação, que dispensava mão de obra especializada.

Além disso, satisfazia com eficiência as necessidades do consumo e as condições estruturais da indústria do açúcar.

As moendas que utilizavam roda d'água como força motriz foram bastante difundidas no Brasil durante o século XVII, conforme VAN DER DUSSEN (1947, p. 192) dos 122 engenhos catalogados por esse autor, pelo menos 69 deles eram movidos por energia hidráulica. Porém, a partir do século XVIII percebeu-se uma supremacia da tração animal. Os engenhos com almanjarras eram mais simples de serem construídos, exigindo do artesão um grau de conhecimento técnico muito menor. Segundo FERLINI (2000, p. 192) no início do século XVIII em Pernambuco, um conjunto completo de almanjarras e moenda custava por volta de 6.000 cruzados, enquanto que uma roda d'água valia em torno de 9.000 cruzados, uma diferença significativa para a época.

A atividade canavieira no nordeste do Brasil, sofreu um processo de interiorização em busca de terras mais férteis e maior disponibilidade de lenha para processar o caldo, a partir do século XVIII. Assim, as plantações se afastaram das regiões ribeirinhas inicialmente exploradas e os engenhos acompanharam esse movimento se instalando em áreas com indisponibilidade de recursos naturais para construir acionadores hidráulicos FERLINI (2000, p. 193).

Segundo GALLOWAY (1989, p. 96), o modelo de produção açucareiro nas colônias da América admitiu características fundamentais quanto à adoção por parte dos produtores de inovações técnicas. Para tanto, o autor apresenta três hipóteses para entender o processo de adoção dessas melhorias ao longo do século XVI e XVII.

A primeira hipótese é a de que as inovações possibilitaram aos produtores elevar seus ganhos líquidos, reduzindo perdas e tornando o processo de produção mais eficiente. A segunda, destaca a escassez e o esgotamento dos recursos naturais disponíveis como motivador de soluções técnicas, sejam melhorias de processo ou permitindo a substituição de fatores de produção. A terceira, que a concorrência de mercado encorajou a adoção de inovações.

Na primeira hipótese o autor destaca que as novas técnicas agrícolas, a busca por variedades mais adaptáveis e resistentes de cana-de-açúcar e as melhorias no seu cultivo foram disseminadas rapidamente e puderam ser adotadas apresentando ganhos líquidos certos aos produtores de todas as colônias canavieiras da América. Na segunda hipótese, o autor destaca que na América, a disponibilidade de recursos naturais como solo e água eram abundantes e as condições climáticas favoreciam essa atividade agrícola. Assim a abundância de recursos permitiu aos produtores cultivarem as suas plantações, sem a necessidade de mudanças de rotina técnica, ou seja, sem introduzir grades inovações ou melhorias com a finalidade específica de

mitigar os recursos naturais envolvidos. Como exemplo destaca-se o estoque natural de lenha que estavam disponíveis aos engenhos coloniais na América. Um recurso escasso e absolutamente limitado em outras regiões canavieiras como nas ilhas do Atlântico e no Mediterrâneo, para a produção americana de açúcar apresentava-se como vantagem comparativa relevante (GALLOWAY, 1989, p. 94).

Já o papel dos mercados como uma variável que influencia a adoção de inovações tornou-se mais importantes, com o passar dos anos, quando novos produtores e consumidores surgiram. Inicialmente havia apenas um destino para o açúcar americano: a exportação; esta situação se alterou com o crescimento local das colônias. Uma hipótese é de que os mercados locais desencorajavam os pequenos produtores a adotar inovações, porém no contexto internacional, os grandes produtores tinham interesse em investir em melhorias a fim de se posicionarem melhor frente a concorrência (GALLOWAY, 1989, p. 94-95).

Neste contexto, especificamente quanto ao processo de extração de sacarose, as inovações adotadas durante os séculos XVI e XVII nas colônias da América surtiram melhorias significativas na eficiência do processo e conseqüentemente, na capacidade de produção de açúcar dos engenhos. O sistema de moenda com três eixos apresentou algumas melhorias incrementais nos séculos seguintes, melhorias estas que serão tratadas nas seções seguintes deste trabalho, porém nada comparável ao ganho tecnológico que foi a sua introdução no século XVII.

Nesse equipamento foram obtidas melhorias que refletiram diretamente na economia do trabalho humano, no modelo anterior, o repasse da cana-de-açúcar na moenda só era possível com a movimentação de trabalhadores entorno do equipamento. Com a moenda de duplo esmagamento (três rolos na posição vertical), dois trabalhadores eram posicionados fixos à frente da moenda, um de cada lado, repetindo o mesmo movimento operacional varias vezes durante o dia (FIGURA 2.15). A produção ganhou continuidade a medida que a movimentação dos trabalhadores deixou de ser interrompida, não se interrompia o fluxo de trabalho e a lacuna em suas jornadas foi diminuída apresentando ganhos significativos na eficiência produtiva (FERLINI, 2000, p. 194).

Quanto a esses ganhos, DANIELS & DANIELS (1988, p. 497) reproduz informações sobre produtividade de engenhos no México contidas em um manual açucareiro de Ward Barrett. Analisando os dados fornecidos por Barrett durante o século XVI até o XIX, verificou-se um aumento na produtividade (quantidade produzida de açúcar por unidade de trabalho) de até quatro vezes para o período em questão.

DANIELS & DANIELS (1988) destaca que em partes esse aumento é um mistério, porém devido a hipótese de introdução de melhoria técnica no processo de extração de sacarose (principalmente a difusão do emprego das moendas com três cilindros) e sua transferência para o México ter ocorrido entre o fim do século XVI e início do XVII, o salto de 411 para 598 quilos de açúcar por trabalhador entre os anos de 1580 e 1640 é absolutamente plausível e reflete em números a melhora na eficiência do processo.

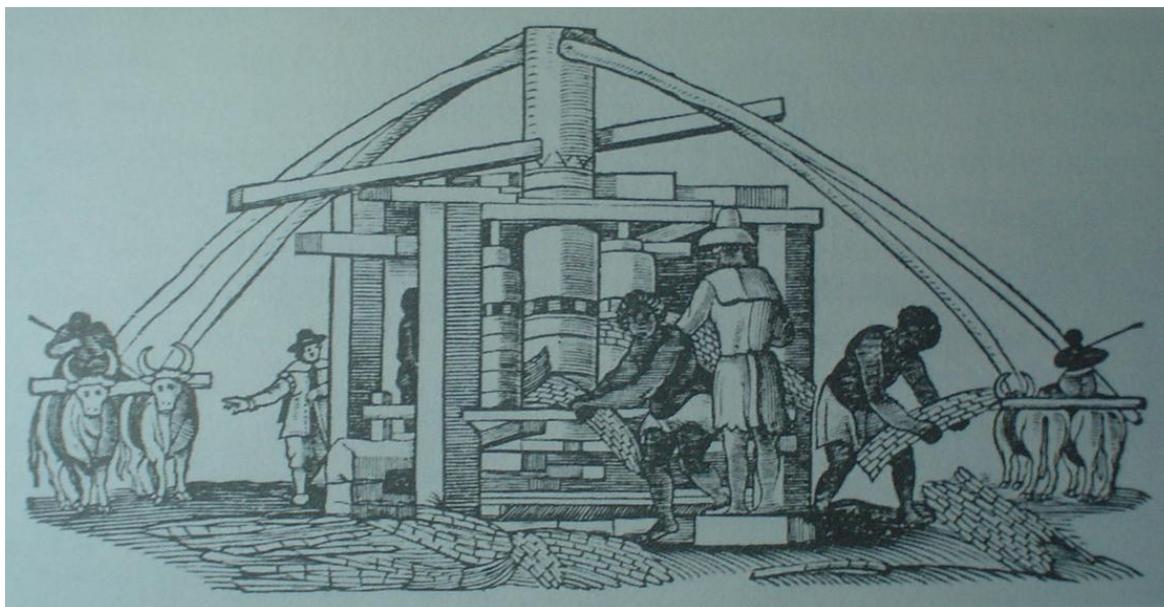


FIGURA 2.15: Operação em moenda de três rolos verticais.
Fonte: FERNANDES, (1971, p. 37).

A instalação das primeiras moendas de três rolos verticais nos engenhos nas Antilhas se iniciou na segunda metade do século XVII, imediatamente após a inovação ser apresentada no Brasil. Segundo BARRETT (1977, p. 124), apesar da aparente robustez, essas moendas apresentavam como principal problema o excessivo desgaste entre as partes móveis e de contato. Para tanto, os engenhos contavam com peças de reposição entre elas rolos e principalmente dentes das cintas de engrenamento que distribuía o movimento do cilindro central para os demais. A operação de manutenção das moendas era demorada e exigiam mão-de-obra especializada, um carpinteiro mais conhecido como “mestre de engenhos” ficava como responsável pela construção de peças sobressalentes e pela substituição dos componentes deteriorados (FIGURA 2.15).

Para minimizar os custos de produção com paradas repentinas para manutenção e substituição de componentes desgastados, BARRETT (1977, p. 125) destaca que os engenhos dessa região adquiriam grandes quantidades de sebo animal para engraxar as partes móveis e de

maior atrito da moenda, minimizando a deterioração precoce do equipamento. Nota-se em algumas passagens desse texto que a madeira, principal matéria prima para construção das moendas e única fonte de energia para o processamento do caldo durante a fabricação do açúcar, era um bem escasso e limitado a algumas regiões das Antilhas. A introdução desse novo equipamento permitiu a redução no custo de aquisição de lenha, uma vez que o duplo esmagamento da cana-de-açúcar gerava um resíduo, o bagaço, com pouca umidade e apropriado para a queima direta nas fornalhas de cozimento (BARRETT, 1977, p. 122-124).

Quanto à produtividade agrícola e industrial dos engenhos nessa região, BARRETT (1977, p. 124) destaca um produtor que em 1658 adotava a tração animal com almanjarra de cinco bois ou cavalos como força motriz e uma moendas com três rolos verticais. Essa configuração permitia um ritmo de moagem de aproximadamente uma tonelada de cana por hora, para tanto, era imprimido um ritmo de corte equivalente a 0,03 ha de cana por hora. O autor escreve que a operação de corte era realizada durante o dia e o seu processamento em jornadas ininterruptas de 24 horas, sugerindo que parte da cana cortada e transportada para o engenho ficava depositada para abastecer a moenda durante o ciclo de 24 horas de seu funcionamento.

Aparentemente, neste caso, a etapa de extração do caldo que ditava o ritmo de produção, ou seja, a capacidade de esmagamento da moenda era o gargalo da produção deste engenho. De maneira resumida, os poucos dados apresentados pelo autor permite concluir que a introdução das moendas de três rolos potencializou a capacidade de esmagamento do engenho, transferindo para a etapa seguinte, o cozimento, mais especificamente para o número e o tamanho das caldeiras utilizadas, o estrangulamento da produção de açúcar.

2.8 Melhorias incrementais na moenda de três rolos verticais até meados do século XIX

Durante o século XVII a utilização da moenda com três rolos verticais foi se difundindo e no início do século XVIII essa tecnologia já era a mais empregada no mundo e a partir de então sofreu apenas algumas modificações incrementais. A primeira dessas modificações foi à disposição dos rolos de madeira na forma de triângulo (desalinhados), fazendo com que a cana sofresse duas pressões seguidas com maior facilidade, melhorando o rendimento de extração e a adaptação do trabalhador a sua operação.

Os cilindros das moendas passaram a serem fabricados de diâmetros diferentes, esse incremento inovativo permitiu que um rolo realizasse um maior número de volta em relação ao seu próprio eixo, aumentando o volume de cana processado e, conseqüentemente, a capacidade

de extração de caldo da moenda. Os cilindros de madeira foram revestidos com chapas de ferro fundido. Isso ampliou a vida útil da moenda, minimizando o desgaste precoce dos rolos, além de viabilizar a extração do caldo de maneira mais uniforme e eficiente.

Os primeiros cilindros de madeira revestidos de chapas de ferro fundido instalados em uma moenda de cana-de-açúcar foram fabricados em 1674 nas colônias do Caribe por produtores ingleses. Segundo CANABRAVA (1981, p. 118), no século XVII já existiam no Brasil engenhos que adotavam essa técnica. Segundo DEERR (1950, V. 2, p. 537) a primeira menção ao uso de chapas de ferro para revestir os rolos foi em 1653. Os cilindros de madeira foram enviados para Londres onde foram revestidos por um ferreiro que trabalhava com fornos e forjas. Este método foi difundido e muito utilizado até meados de 1845, para tanto foi concedido a William Harding, idealizador da inovação, uma patente de exclusividade da invenção.

A obra “Cultura e opulência do Brasil” de André João Antonil descreve episódios preciosos sobre a vida econômica do Brasil em princípios do século XVIII; faz um apanhado das condições que regiam as principais atividades agrícolas da Colônia, em especial a da cana-de-açúcar. ANTONIL (1982, Livro 1, p. 40-41) discorre sobre a operação de moagem da cana e quantos trabalhadores estavam envolvidos nessa etapa em um engenho típico da região do Recôncavo Baiano. A moenda era construída basicamente de três grandes e resistentes cilindros feitos de madeira, revestidos e posicionados verticalmente sobre uma base. Na ponta de cada um desses cilindros encravava-se um anel dentado que unia os rolos e permitia sua movimentação a partir de um único acionamento, que no caso era através da força hidráulica.

“Os corpos dos três eixos, da metade para baixo, são vestidos igualmente de chapas de ferro unidas e pregadas com pregos feitos para este fim com a cabeça quadrada e bem entrante, para se igualarem com as chapas, debaixo das quais os corpos dos eixos são torneados com tornos de pau de lei para que fique a madeira mais dura e mais capaz de resistir ao contínuo aperto que há de padecer no moer. Sobre as chapas aparece um círculo ou faixa de pau, que é a outra parte do corpo dos mesmos eixos, despida de ferro; e logo imediatamente se segue o círculo dos dentes de pau de lei, encaixados no eixo com suas entrosas.” (ANTONIL, 1982, Livro 1, p. 40)

Lippman aponta detalhes de um manual de cultivo de cana e de fabricação de açúcar do início do Século XVIII, na seção referente à extração do caldo descreve os cilindros das moendas utilizadas na época:

“ Os tambores são de ferro fundido e dotados interiormente de uma peça de madeira bem ajustada; os intervalos são untados com breu. (...) A cana, feita em pedaços de 3 a 4 pés, passa entre o primeiro e o segundo tambor, e, depois, em direção contrária, entre este e o terceiro (...) ” (LIPPMAN, 1941, V.2, p. 130).

Na obra de Koster, que relata suas viagens pelo Nordeste do Brasil durante os primeiros anos do Século XIX, por ocasião de sua passagem por uma propriedade canavieira em Pernambuco, descreve as plantações, o engenho e as etapas de fabricação de açúcar e aguardente. Em relação às características da moenda *KOSTER (1942, p. 341-342)* aponta que: “*As máquinas de triturar a cana são formadas por três cilindros verticais, feitos de sólida madeira, inteiramente orlados ou revestidos de ferro*”.

Em Barbados os produtores de açúcar não conheciam o processo de cobrir os cilindros de madeira com chapas de ferro, e as indicações são de que a transferência tecnológica ocorreu a partir de viajantes cronistas e religiosos missionários interessados na atividade açucareira. Nas colônias espanholas a prática de revestir os rolos dos cilindros já era usual no fim do século XVII, porém, conforme destaca esse autor, o material utilizado para isso era o bronze, muito mais maleável que o ferro fundido. Destaca ainda que as chapas laminadas de bronze eram fixadas nos rolos de madeira através de prego, o que permitia sua substituição quando necessário (BARRETT, 1977, p. 122-123).

A moenda de três cilindros verticais foi introduzida como um equipamento genuinamente idealizado para o processamento da cana-de-açúcar e, portanto, pode ser considerada uma inovação tecnológica radical para a economia canavieira mundial. Sua utilização, juntamente com outros fatores próprios das novas regiões canavieiras nas Américas, proporcionou aos produtores de açúcar vantagens comparativas fundamentais, potencializando a oferta de açúcar no mundo, reduzindo os custos e os preços no mercado internacional e ampliando a demanda desse produto. Durante o início do século XVIII registraram-se esforços para aperfeiçoá-la, tendo em vista a melhoria na sua capacidade de extração, a economia de mão-de-obra e a eficiência na recuperação do caldo. Porém, em decorrência da falta de conhecimentos técnicos suficientes nas áreas de metalurgia, siderurgia e mecânica não houve grandes avanços tecnológicos nesse século.

A estagnação tecnológica desse setor, que durou quase todo o século XVIII, termina nos últimos vinte e cinco anos com o advento da renovação da manufatura impulsionada pela Revolução Industrial na Europa. O modelo padrão de extração de sacarose através da moenda de três cilindros foi mantido durante todo o século XVIII, trata-se do paradigma tecnológico vigente, baseado em um princípio mecânico de separação da fração sólida (bagaço) da líquida (caldo), empregada até mesmo em outras atividades produtivas.

O que se percebeu durante todo o século foram pequenas melhoras introduzidas ao modelo original a fim de proporcionar melhor eficiência na extração do caldo. Uma evolução

baseada em um típico processo de busca de novas opções técnicas e de seleção das possibilidades que, momentaneamente, apresentavam as melhores condições de sucesso. O esforço específico inovador, que pode significar tanto a mudança de rotinas como a adoção de novas tecnologias, é através desse processo que as firmas se envolvem em várias opções por meio das quais descobrem, julgam e avaliam mudanças possíveis em suas maneiras de fazer as coisas, optando pelas mais lucrativas.

2.9 A Revolução industrial e sua influência no processamento da cana-de-açúcar

Entre o final do século XVIII e o início do XIX, com a Revolução Industrial, os novos conhecimentos de mecânica, siderurgia, química e a renovação da estrutura manufatureira da Europa proporcionaram condições para que importantes inovações nos sistemas de fabricação fossem introduzidas. Essas inovações foram difundidas a partir da Europa dos EUA, onde se encontrava em formação um setor produtivo direcionado a produzir máquinas e equipamentos para atender os diferentes segmentos da economia.

A inovação tecnológica e a competição foram os principais catalisadores para a transformação da indústria. Durante o século XVIII o que se viu na fabricação de açúcar nas Américas foram processos atrasados regidos por rotinas de décadas e pequenas modificações incrementais nos equipamentos e processos empregados. Após 1800, as descobertas científicas que tornaram possíveis a Revolução Industrial na Europa foram aplicadas também para a industrialização do açúcar, proporcionando mudanças de ordem organizacional, financeira e tecnológicas, tanto na área agrícola quanto industrial (GALLOWAY, 1989, p. 129).

O primeiro grande reflexo da introdução dessas inovações pode ser observado no aumento da capacidade média de processamento de cana-de-açúcar nos engenhos. Isso incentivou a entrada de novos capitais e consolidou Cuba como o maior e mais moderno mercado produtor de açúcar do mundo, nos seus engenhos forma desenvolvidos, testados e aperfeiçoados os novos equipamentos e processos para processamento de cana e fabricação de açúcar da era industrial.

Segundo GALLOWAY (1989, p. 129) as pesquisas que envolviam a cana-de-açúcar também se tornaram alvo de melhoria científica, a genética vegetal possibilitou no final do século XIX a descoberta de novas variedades de cana-de-açúcar, com melhor rendimento produtivo, maior resistência a pragas e doenças e uma capacidade de suportar diferentes condições edafoclimáticas diversas. Nota-se que o ritmo de evolução técnica que o setor açucareiro

apresentou até meados do século XVIII foi impactado abruptamente. Graças a isso, durante o século XIX, os aspectos do cultivo da cana-de-açúcar a sua industrialização, com exceção colheita e de parte da mão-de-obra empregada - que em muitas regiões ainda era escrava - mudaram sensivelmente, resumidamente, as transformações ocorrem na seguinte cronologia:

- 1- os engenhos de força motriz animal e acionados por roda d'águas foram aperfeiçoados com a introdução das moendas de cilindro horizontal, ampliando sua capacidade de processamento e sua eficiência de extração de cana-de-açúcar;
- 2- os grandes engenhos que utilizavam força motriz animal, tornaram-se semi-mecanizados com a introdução da máquina a vapor. Em algumas regiões canavieiras, como em Cuba e Caribe essa substituição foi rápida, já no Brasil foi a um ritmo mais lento;
- 3- na metade do século XIX foram instalados os primeiros evaporadores a vácuo e posteriormente as centrífugas, que tornaram os engenhos totalmente mecanizados. Esses equipamentos ampliaram a capacidade de processamento do caldo extraído da cana com economia de energia (lenha);

No fim do século XVIII a moenda era considerada o ponto de estrangulamento da grande manufatura açucareira, a Revolução Industrial proporcionou os elementos necessários para a melhoria técnica dos engenhos, e a moenda foi o equipamento que sofreu a mudança mais significativas. O projeto da primeira moenda horizontal foi desenvolvido e patenteada em 1754 por John Smeaton para um produtor de açúcar da Jamaica. Nesse equipamento os cilindros eram dispostos horizontalmente, com os seus centros angulados na forma de um triângulo isósceles (DEERR,1950, V. 2, p.537) (FIGURA 2.16).

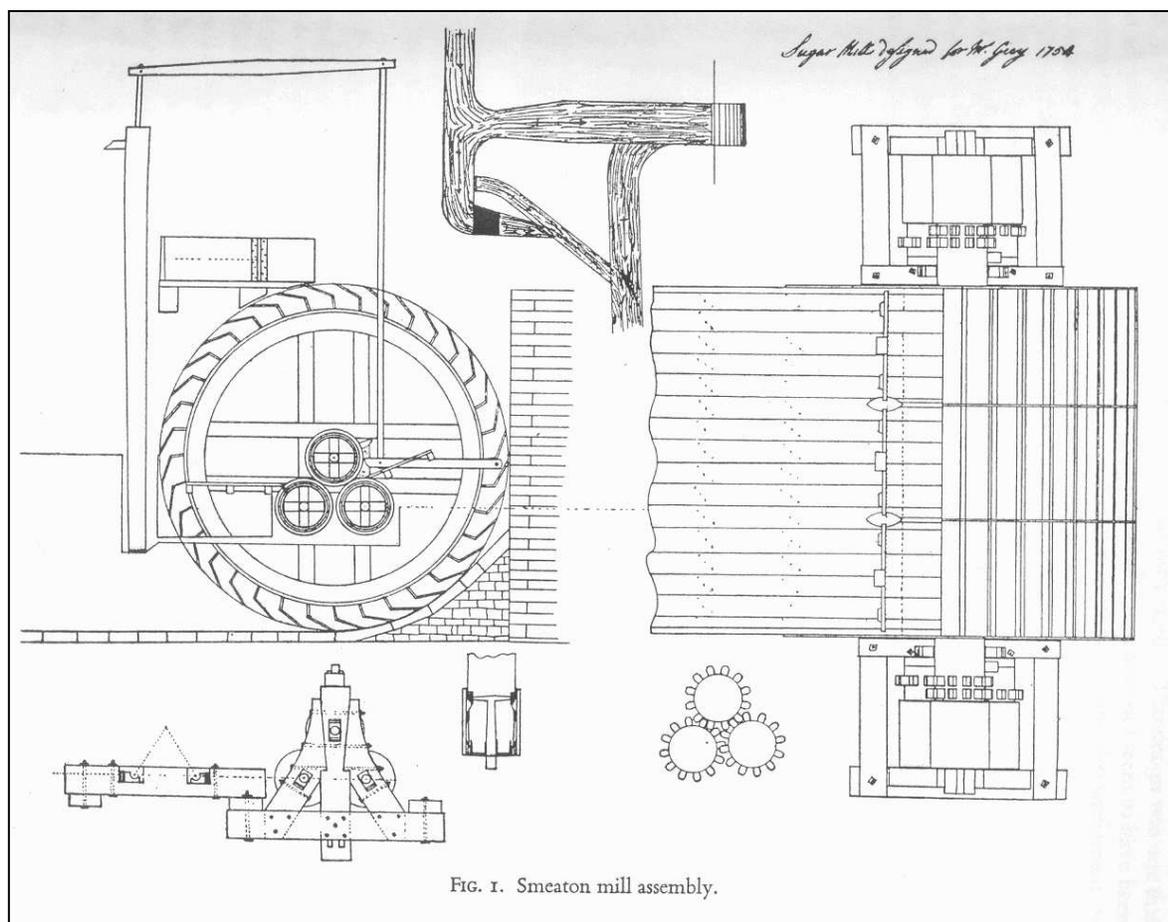


FIGURA 2.16: Moenda de três cilindros horizontal Smeaton.

Fonte: DEERR (1950, V.2, p. 538).

A moenda de três cilindros horizontal para o processamento da cana-de-açúcar representou uma inovação radical no ponto de vista da engenharia, proporcionando melhorias sensíveis ao modelo padrão de extração de sacarose. Apesar do paradigma vigente continuar sendo o processo de extração por esmagamento através de rolos, a disposição técnica desses cilindros permitiu ganhos de eficiência produtiva e energética, uma clara referencia ao modelo evolutivo tecnológico.

Essa disposição técnica dos cilindros apresentava vantagens consideráveis em relação as moendas com rolos na vertical. No modelo disposto na vertical, a alimentação da moenda era deficiente, por gravidade a cana era mal distribuída na entrada do equipamento. Um volume maior de cana se depositava na parte inferior dos cilindros de esmagamento, congestionando a base das moendas, diminuindo sua capacidade de extração.

A falta de uniformidade gerava um acúmulo de cana na parte inferior da moenda, ocasionava um desgaste acelerado das partes móveis de maior contato, reduzindo a superfície de esmagamento entre os rolos e o rendimento da operação. Provocava ainda um desequilíbrio no

esforço do conjunto, conduzindo a um desgaste dos mancais inferiores e na inutilização do equipamento.

Nesse novo modelo apresentava vantagens, não só pelos novos materiais empregados na sua fabricação que lhe proporcionava uma maior durabilidade, mas principalmente pelo seu projeto de engenharia. Seus mecanismos de transmissão eram mais eficientes aliviando o emprego da força no seu acionamento. A disposição dos rolos na horizontal permitia uma distribuição mais uniforme da cana-de-açúcar durante a alimentação da moenda, evitando o desgaste precoce dos cilindros e distribuindo com maior equilíbrio os esforços ao longo da estrutura do equipamento.

A pressão de esmagamento exercida sobre a cana-de-açúcar passou a ser controlada por dispositivos mais precisos de molas e pesos, instalados nos mancais dos rolos, que corrigia a alimentação irregular da moenda, proporcionando uma extração uniforme do caldo e um bagaço mais seco.

A homogeneização na alimentação das moendas fez com que dispositivos adaptados a entrada da moenda automatizasse essa operação, substituindo a mão-de-obra. Esteiras e rampas condutoras de cana-de-açúcar semi-mecanizadas e posteriormente mecanizadas, foram testadas e instaladas nos engenhos durante o século XIX a fim de melhorar a eficiência do processo e reduzir acidentes de trabalho.

A moenda com três cilindros horizontais foi melhorada ainda no fim do século XVIII e, a partir de então, produzido em escala por John Collinge em 1794 (FIGURA 2.17). Conforme DEERR (1950, V.2, p. 537), esse projeto foi muito bem aceito em todas as regiões canavieiras do mundo. Prova disso que, durante os anos de 1813 e 1817 a Fawcett, Preston na Co., tradicional produtora britânico de máquinas e equipamentos que licenciou a produção desse tipo de moenda, recebeu encomendas de 63 conjuntos de moendas horizontais e apenas 11 verticais.

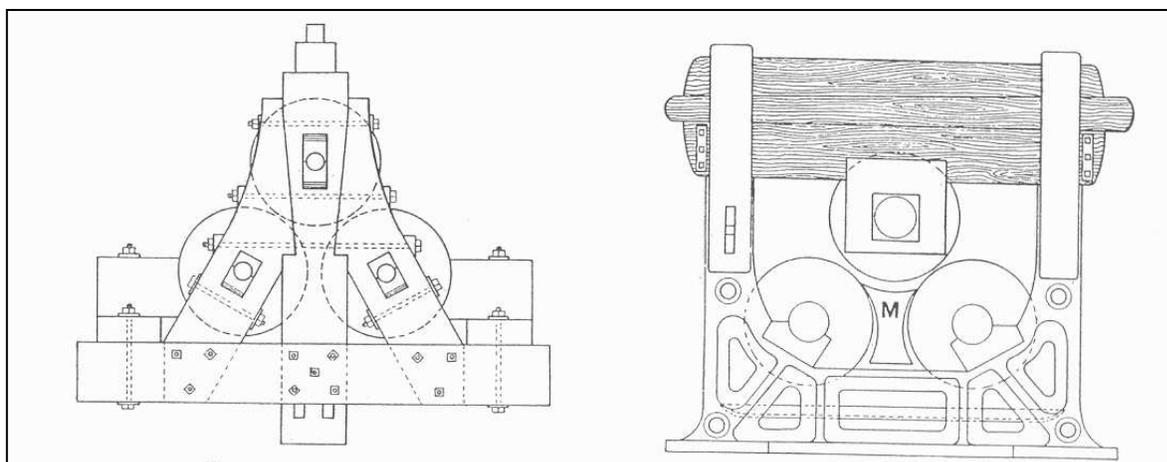


FIGURA 2.17: Moenda horizontal Collinge x Moenda horizontal Smeaton

Fonte: DEERR (1950, V.2, p. 539)

Notas: A diferença entre os dois modelos apresentados está na substituição da estrutura de madeira da moenda Smeaton por uma de ferro fundido na Collinge. Além disso, Collinge adaptou um dispositivo M (*trash turner*, atualmente chamado de “bagaceira”) para reter e direcionar a cana esmagada da primeira para a segunda compressão.

O dispositivo “*trash turner*” foi desenvolvido e patenteado por John Flerning em 1773 na Inglaterra, essa peça direcionava a cana-de-açúcar já esmagada no primeiro conjunto de rolos para o segundo, sem a necessidade de contato humano, evitando principalmente acidentes, é utilizada até hoje nos modernos conjuntos de moendas¹⁸. O dispositivo “*trash turner*”, foi o precursor das modernas esteiras de alimentação automática utilizadas atualmente em todas as grandes usinas do mundo.

Apesar de amplamente utilizada durante todo o século XIX a moenda Collinge de três cilindros logo foi superada tecnologicamente por um modelo construído por Jukes e Coulson em 1830 (FIGURA 2.18). A moenda Jukes e Coulson, como ficou conhecida, apresentava como principal melhoria um dispositivo móvel acionado por um parafuso que ajustava a distância entre os rolos de esmagamento conforme a necessidade da fábrica. Além disso, tinha um cabeçote menor, totalmente desmontável que permita a substituição de componentes desgastados com rapidez e eficiência.

A inovação seguinte foi reduzir o cabeçote de apoio dos mancais (carretel), e fixá-lo em duas longas hastes de sustentação de todo o conjunto. Isso permitiu ampliar a velocidade de trabalho e o volume de cana-de-açúcar processado na moenda sem que o equilíbrio de forças do

¹⁸ DEERR (1950), LPPMANN (1941), CARDIN (1952) e outros importantes autores da história açucareira relataram casos em que era costume nos engenhos manter um cutelo próximo a moenda, para cortar o braço de qualquer desafortunado que por ventura sofresse um acidente e fosse tragado pelos rolos no momento de alimentar a moenda.

sistema fosse abalado e o equipamento danificado. Essa inovação veio acompanhada de um cabeçote mais resistente e completamente fechado.

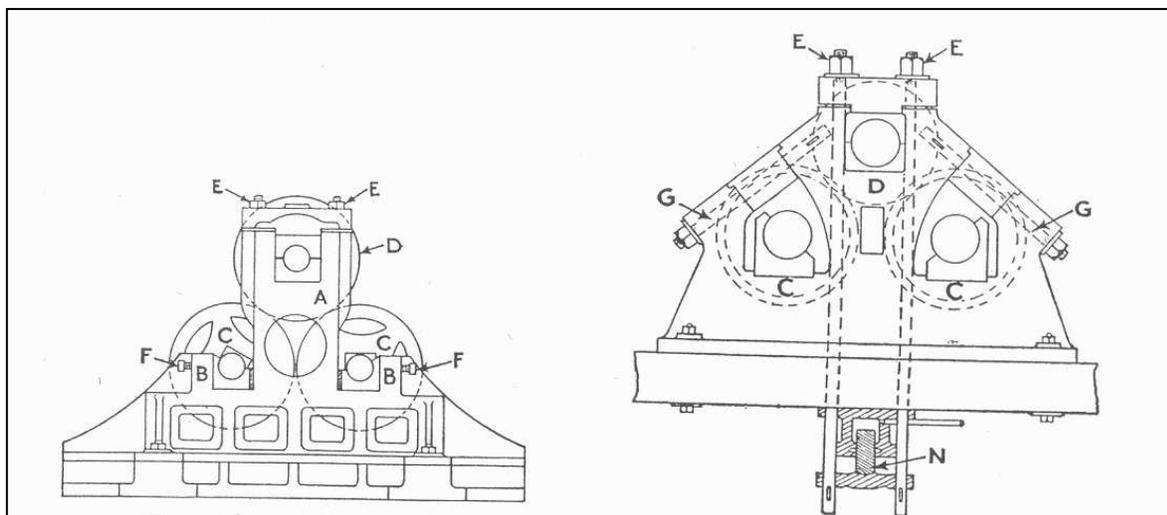


FIGURA 2.18: Moenda Junkes and Coulson.
Fonte: DEERR (1950, V.2, p. 539).

Em 1858 a moenda Buchanan foi patenteada na Inglaterra, era um equipamento muito semelhante ao utilizado atualmente e que apresentava melhorias consideráveis quando comparado aos modelos anteriores. Segundo DEERR (1950, p. 540) a descrição da patente deixava claro as diferenças apresentadas nesse modelo, primeiro o ferro fundido, material que constituía o suporte dos rolos e a estrutura da moenda, foi substituído em partes pelo ferro forjado, mais resistente e estável estruturalmente. Segundo, a base de fixação da moenda, que antes ficava no centro do equipamento, foi deslocada para as suas extremidades de apoio, melhorando o equilíbrio do equipamento, e facilitando sua instalação em uma fundação previamente construída. A moenda Buchanan possuía um sistema de ajuste no distanciamento entre os rolos mais preciso, apesar de ainda mecânico e calibrado por parafusos, permitia ao operador regulagens mais finas e rápidas.

Em 1871 que uma moenda francesa, fabricada e patenteada por Théophile Rousselot, um engenheiro radiado em Martinica, foi considerada o melhor equipamento para extração de sacarose da cana-de-açúcar até então construído. Esse projeto contou basicamente com alguns aperfeiçoamentos técnicos da moenda Buchanan: o cabeçote do equipamento foi reduzido; toda sua estrutura fora construída de metal forjado e; instalou-se rolamentos nos mancais de apoio dos rolos, proporcionando maior durabilidade ao desgaste DEERR (1950, V. 2, p. 540).

A principal inovação desse modelo foi à substituição do dispositivo mecânico com parafusos que controlavam a distância entre os rolos de esmagamento, por um mecanismo em

forma de balança, que acomodava uma série de pesos que, a partir de uma tensão gerada, controlava esse distanciamento. Permitia ajustes no distanciamento entre rolos da moenda sem que a operação de extração fosse interrompida.

A partir do modelo de Rousselot, a atenção principal dos inventores estava em tornar o dispositivo que regulava o distanciamento entre rolos cada vez mais eficiente, confiável e preciso. A moenda Boulton e Watt possuía apenas dois rolos horizontais, um fixo e outro que se movia em um intervalo controlado por um regulador acionado por pesos e alavancas, conforme a demanda de cana-de-açúcar a ser esmagada. Assim a pressão de esmagamento era controlada pelo operador conforme o coeficiente de extração de sacarose requisitado. A idéia foi imediatamente aceita pelos construtores de moendas, porém adaptada aos equipamentos com três rolos (FIGURA 2.19).

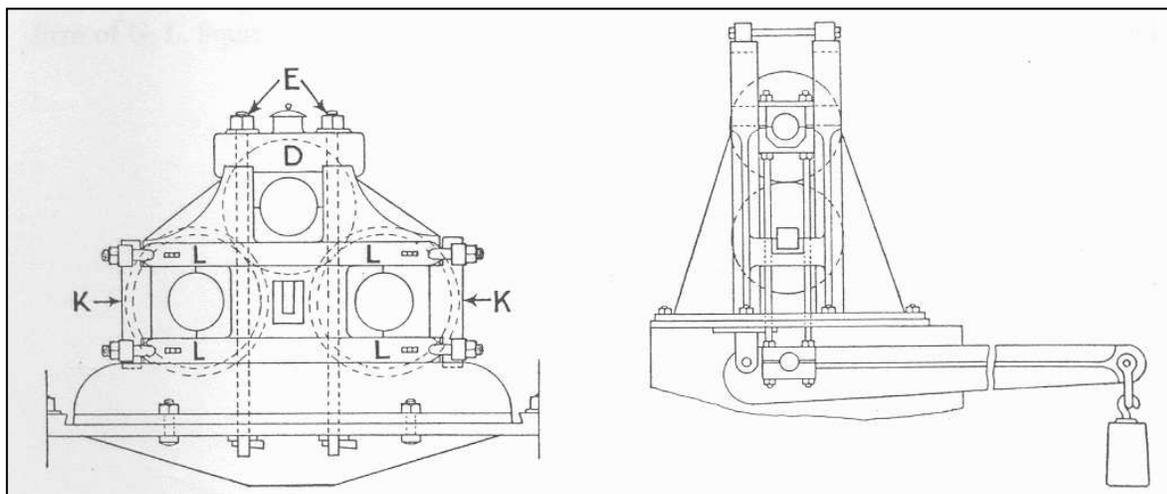


FIGURA 2.19: Moenda Rousselot e Sistema Boulton Watt de controle de pressão.
Fonte: DEERR (1950, V.2, p. 542).

Os controladores de distanciamento entre rolos e de pressão de esmagamento deixaram de serem construídos a partir de conjuntos de alavancas e pesos e foram substituídos por acionadores hidráulicos. A medida que as ranhuras dos rolos sofrem desgastes aumentando a folga entre eles, a pressão era ajustada automaticamente e o distanciamento entre os cilindros corrigido, permitindo uma extração constante durante toda a safra.

De maneira geral, as mudanças apresentadas durante as últimas duas décadas do século XIX na concepção da moenda para extrair sacarose da cana-de-açúcar foram necessariamente concebidas a partir de melhoras incrementais no modelo anterior, uma nítida aplicação de mecanismos de seleção e aprendizado. O que se vê é um processo evolucionário, onde alternativas tecnológicas competem umas com as outras e, através de um processo de seleção

sistemática exercida pelo mercado, defini-se o vencedor. Nestes casos, a seleção de novos modelos é responsável por ampliar as vantagens competitivas e tecnológicas das firmas líderes, identificando e selecionando as melhores possibilidades possíveis, o processo de aprendizado difundi o potencial inovativo e imitativo das firmas.

No fim do Século XVIII foram fabricados nos EUA as primeiras moendas construídas inteiramente de metal fundido, inicialmente desenvolvidas para a tração animal, as moendas Tipo Panamá e a Tipo Chattanooga possuíam três cilindros horizontais e ranhurados (FIGURAs 2.20 e 2.21), foram adaptas para o acionamento a partir de máquina a vapor. Segundo CRUZ (1920, p. 40-43), essas moendas apresentavam algumas vantagens comparativas ao modelo anterior: a eficiência de extração entre 60% e 75% do peso das canas; a possibilidade de regulação das distâncias entre os cilindros e a sua diversificação de processamento. Destaca ainda que as moendas Tipo Panamá era projetada e fabricada sob encomenda, conforme a capacidade de processamento do engenho, podendo variar os tamanhos de seus cilindros para produções diárias entre 5 e 15 toneladas de cana.



FIGURA 2.20: Moenda “Panamá” tipo horizontal.
Fonte: CRUZ (1920, p.41).

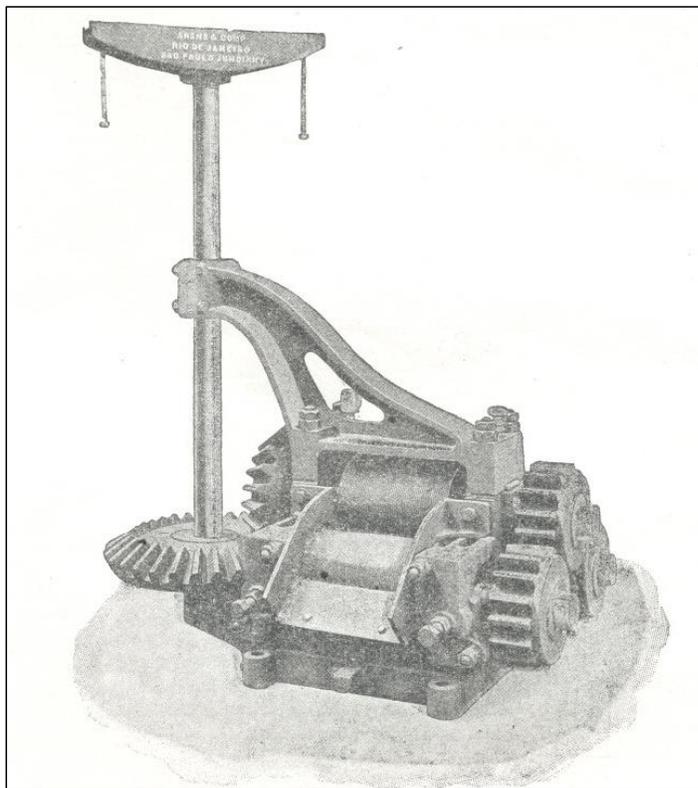


FIGURA 2.21: Moenda horizontal de três cilindros para tração animal.
Fonte: CRUZ (1920, p. 44).

2.10 O emprego da força motriz a vapor e sua repercussão na manufatura açucareira

A aplicação da força motriz a vapor nos engenhos permitiu um segundo salto de eficiência no processamento da cana-de-açúcar no início do século XIX. Essa inovação dita uma nova trajetória tecnológica no que tange o emprego da força motriz, os engenhos movidos à tração animal e força hidráulica, no curto e médio prazo, foram substituídos por turbinas e acinadores a vapor, umas tendências observadas atualmente nas modernas usinas do Brasil. Com a melhora na capacidade de extração de sacarose dos engenhos, devido às novas concepções de moendas, o bagaço ficou mais seco e propício a queima em fornos, gerando vapor para o acionamento da fábrica.

Segundo DEERR (1950, V. 2, p.549) a primeira tentativa de emprego da máquina a vapor como força motriz para a manufatura de açúcar ocorreu em 1768 na Jamaica. John Stewart instalou na fazenda “Greenwich” uma “*máquina que funciona garças à força de máquinas de fogo...*” da qual registrou uma patente no mesmo ano.

Em Cuba o primeiro engenho movido a vapor foi instalado em 1796, tratava-se de uma máquina inglesa que operou durante três semanas e fracassou. Porém, os experimentos continuaram durante os próximos vinte anos com mais de quinze tipos máquinas a vapor diferentes até que em 1817, um fabricado pela Fawcett, Preston and Company Limited, ficou definitivamente instalado no engenho de Juan Madrazo. Essa máquina, e outras três iguais foram compradas do mesmo fabricante e possuíam como característica técnica o sistema de condensação e acoplamento para mondas horizontais (FRAGINALS, 1988, V. 1, p. 266).

Foi durante o século XIX que essa opção tecnologia foi disseminada para os engenhos da América Latina e Índia. Os engenhos de Cuba foram os que mais aderiram a essa inovação, principalmente pela posição de destaque do açúcar cubano no mercado mundial, em 1846 cerca de 20% dos engenhos cubanos eram acionados a vapor, em 1860 aproximadamente 60% deles adotavam essa tecnologia, a adaptação da força motriz a vapor nos engenhos revolucionou a produção de açúcar (GALLOWAY, 1989, p. 135).

FRAGINALS (1988, V. 1, p. 263) destaca que até meados de 1840, período em que esse autor julgou necessário para a adaptação técnica das máquinas a vapor ao processamento da cana-de-açúcar, não foram construídas moendas exclusivamente para serem operadas com essa força motriz. As inovações apresentadas para as moendas durante a primeira metade do século XIX levavam em conta a adaptação desse equipamento para trabalhar com qualquer tipo de força motriz. Ainda segundo esse autor, do ponto de vista tecnológico, pode-se afirmar que, quanto à qualidade do produto e ao rendimento cana/açúcar, até 1840, não havia diferença entre uma moenda movida a vapor e uma outra movida por tração animal, desde que fossem, equipamentos inteiramente construídos de ferro, com três rolos na horizontal e do tipo fabricado por Fawcett, Preston and Co., Derosne-Cail, ou outro.

QUADRO 2.2: Característica de alguns engenhos cubanos em função da força motriz empregada período de 1761-1860 – produção média em toneladas métricas

Ano	Produção média (safra)	Força motriz
1761	49	Animal
1792	58	Animal
1804	127	Animal
1860	113	Animal
1860	411	Máquina a vapor
1860	1.176	Máquina a vapor

Fonte: Adaptado de FRAGINALS (1988, V.1, 217).

Durante século XIX a agroindústria açucareira apresentou seu maior desenvolvimento tecnológico, graças à introdução da moderna maquinaria nos engenhos dos principais centros produtores do mundo. No Brasil, essa iniciativa de modernização se concentrou nos engenhos mais importantes situados nos principais estados produtores. A máquina a vapor foi introduzida como força motriz inicialmente na Bahia em 1815, em Pernambuco por volta de 1817 e no Rio de Janeiro em 1827.

Apesar dessa iniciativa, EISEMBERG (1977, p. 62) destaca que em 1854, dos 532 engenhos existentes em Pernambuco, 101 eram movidos através de roda d'água; 426 por animais e somente 5 utilizavam o vapor como força motriz. No ano de 1857, as estatísticas oficiais do estado indicavam que 66% dos engenhos ainda adotavam a tração animal. Fazendo uma comparação rápida com dois outros grandes centros produtores de açúcar, EISEMBERG (1977, p. 62) escreve que em Pernambuco entre 1% e 2% dos engenhos utilizavam máquina a vapor, na Louisiana esse número já superava os engenhos que empregavam força motriz animal e em 1840, em Cuba, 70% dos 1.358 engenhos utilizavam essa força motriz.

Quanto a lentidão por parte dos produtores de açúcar da Bahia em introduzirem as melhorias técnicas já difundidas em outras regiões do mundo, CERQUEIRA (1950, p. 307) destaca que neste estado, em 1849 existiam cerca de 1.651 engenhos, 8,5% deles, em torno de 144 movidos a vapor; 15% ou 253 acionados por rodas d'água; e os outros 76,5% aproximadamente 1.274, acionados por tração animal.

Em 1914 existiam em Pernambuco 2.756 engenhos, dos quais 329 hidráulicos; 1.182 de tração animal e 785 utilizando vapor. Trata-se claramente de um processo lento de renovação tecnológica, os métodos manufatureiros rústicos do início do século XIX possibilitavam a um engenho médio brasileiro, uma produção diária máxima em torno de meia tonelada de açúcar preponderantemente mascavo. Os engenho mais modernos semi-mecanizados, e posteriormente, os primeiros totalmente mecanizados na metade do século chegavam a produzir até 10 toneladas diárias de açúcar branco.

Nota-se nos dois casos citados, que até a metade do século XIX surgiram no Brasil algumas iniciativas isoladas de alguns produtores em modernizar seus rústicos engenhos com novas técnicas agrícolas e maquinarias industriais já adotadas em outras regiões de economia canavieira. Porém, a adoção dessas medidas modernizadora não foi suficientes para melhorar a competitividade do açúcar nacional, primeiro porque não abarcava um número suficiente de produtores, só alguns grandes apresentaram-se interessados; segundo porque nem todos os produtores tinham capital disponível para investir na modernização dos seus engenhos.

Para EISENBERG (1977, p. 66) os fatores econômicos que explicam a não adoção das modernas tecnológicas por parte dos produtores brasileiros: i) os custos relativamente baixos da terra e do trabalho; ii) a instabilidade geral do mercado mundial de açúcar, cujos preços não eram controlados pelos produtores brasileiros e aumentava o risco do investimento; iii) e a falta de crédito correspondente a iniciativa dos produtores em investir. Ressalta que a tarifa de importação reduzida desestimulou a indústria de máquinas pesadas no Brasil, deixando em aberto a entrada de máquinas inglesas, fato este que estimulou a utilização da força motriz a vapor somente a partir da segunda metade do século XIX.

No Brasil, os engenhos centrais foram os responsáveis pela entrada das inovações apresentadas durante a Revolução Industrial na produção de derivados de cana-de-açúcar. Seu desenvolvimento teve início com a invenção da moenda a vapor, logo depois seguido da invenção do cozimento a vácuo nos chamados tríplexes efeitos e das turbinas centrifugadoras, que substituíram os antigos tendais de purgar¹⁹.

A moenda de três rolos movida a vapor aumentou a capacidade de processamento dos engenhos em todas as regiões canavieiras do mundo em que foi instalado, porém apresentava um baixo coeficiente de extração de sacarose. Analisando estudos e pesquisas realizadas durante a segunda metade do século XIX nota-se que as moendas da época extraíam uma média de 60% a 65% da sacarose contida na cana, independente da força motriz empregada²⁰. Esse valor não mudou até o fim do século quando foram instalados os primeiros jogos de moendas em série, chamados de “*tandem*”.

Na metade do século XIX foram realizadas inúmeras experiências para introduzir em uma mesma moenda mais de 3 cilindros, ou seja, um número maior que dois esmagamentos seqüenciais (FIGURA 2.22). A moenda Mornay de 4 cilindros foi patenteada em 1851 e introduzida no Brasil na década seguinte em um engenho em Pernambuco; a moenda de 4

¹⁹ O Decreto Legislativo nº 2.687 de novembro de 1875, assinala o momento em que o governo Geral passou a estimular a reorganização da agroindústria açucareira a partir da instalação de engenhos centrais. Os engenhos centrais foram concebidos originalmente por investidos franceses no início do século XIX na ilha de Bourbon, depois em Martinica e Guadalupe. Nas Antilhas esse modelo de produção foi muito bem aceito, introduzindo o progresso tecnológico, aumentando a produtividade e maximizando os lucros dos empresários. Entre os anos de 1875 e 1886 foram construídos e entraram em operação, com capital nacional: 5 engenhos centrais no Rio de Janeiro; 5 em São Paulo; 7 em Pernambuco; 2 na Bahia. Com capital estrangeiro, foram instalados no mesmo período: 4 engenhos centrais no Rio de Janeiro; 1 em São Paulo; 2 na Bahia; e 5 em Pernambuco (PERRUCCI, 1978, p. 118-120).

²⁰ ALMEIDA (1938, p. 8) destaca que as moendas com 3 cilindros na horizontal permitia uma superfície de esmagamento mais uniforme; maior rendimento do equipamento durante a safra devido a sua alimentação e operação regular; um desgaste menor e mais uniforme nos mancais e cilindros. Apesar de todas essas vantagens, esse equipamento, na melhor das situações de operação extraía entre 55 e 60% da sacarose da cana-de-açúcar.

cilindros Lê Blanc desenvolvida e patenteada por engenheiros franceses em 1883; a moenda Thonson-Black com 5 rolos de projeto e construção americana; e a moenda Brissoneau com 8 cilindros (FIGURA 2.23), são alguns exemplos de variações no equipamento original.

Os equipamentos com mais de três cilindros não apresentaram o desempenho desejado, necessitavam de uma potência maior de operação, apresentavam uma manutenção mais sofisticada e o preço de aquisição era elevado comparativamente ao modelo de 3 rolos. Além dessas desvantagens, não apresentaram um salto na eficiência de extração que justificasse a diferença no capital investido.

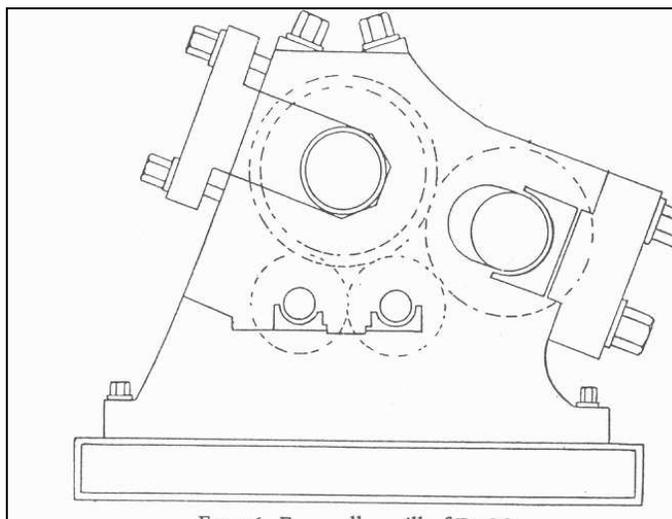


FIGURA 2.22: Moenda Mornay de 4 cilindros.
Fonte: DEERR (1950, V. 2, p. 544-545).

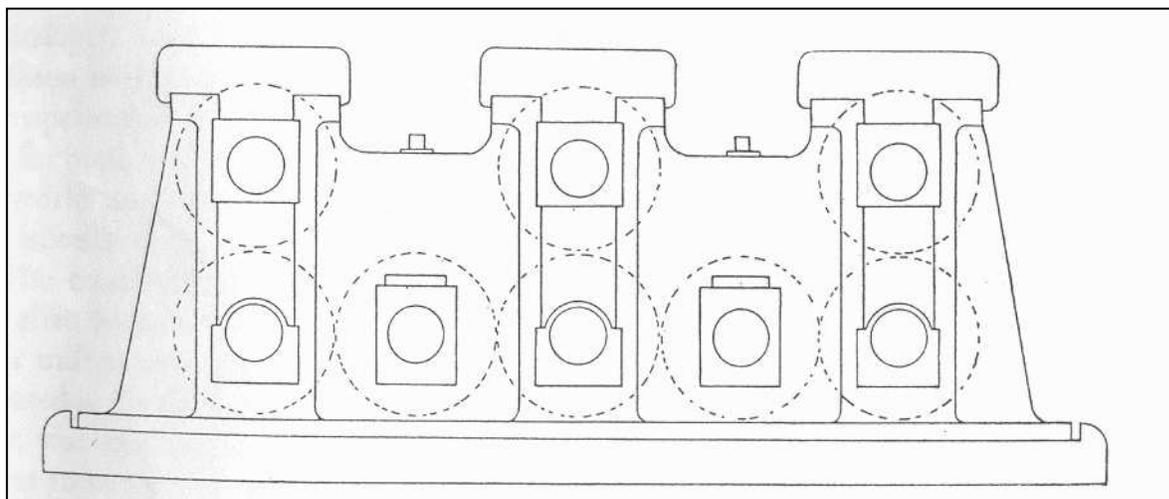


FIGURA 2.23: Moenda francesa de 8 cilindros.
Fonte: DEERR (1950, V. 2, p. 544-545).

CAPÍTULO 3 A trajetória do sistema de difusão no Brasil e mundo

Durante as guerras napoleônicas do século XVIII e XIX o mercado mundial de açúcar sofreu alguns bloqueios e parte da Europa ficou desabastecida. Esse cenário estimulou a substituição do açúcar de cana por outro com características similares. A França e a Alemanha lideraram as pesquisas para busca de um substituto satisfatório para a cana-de-açúcar, e a beterraba foi a mais indicada no momento. A produção de açúcar de beterraba entra em uma fase de expansão a partir do início do século XIX, apesar dos problemas logísticos, de fornecimento de matéria-prima e de financiamento das fábricas. Segundo GALLOWAY (1989, p.131) a produção de açúcar de beterraba não se desenvolveu rapidamente na França, as expectativas eram plantar em torno de 100 mil ha de beterraba até meados de 1812, porém em 1811 apenas 6.785 haviam sido plantados em todo o império napoleônico. Com a retomada do comércio de açúcar de cana após 1815, o mercado de açúcar de beterraba se desestrutura e praticamente acaba, a França se mantém como única produtora européia.

Na metade do século XIX o mercado de açúcar de beterraba reaquece, em primeiro lugar na França e, em seguida, em todo o Norte da Europa, Bélgica, Alemanha, e Rússia. O principal estímulo foi os problemas na indústria de cana-de-açúcar provocada pela abolição da escravidão nas colônias britânicas e francesas em 1833 e 1848, respectivamente. As políticas fiscais adotadas pelos países produtores de açúcar de beterraba beneficiavam sua indústria local e passaram a cobrar tarifas sobre o açúcar de cana. Esse expediente começou a ser utilizado pela França a partir de 1837 e a partir de então, por outros países produtores de beterraba (GALLOWAY, 1989, 132).

Apesar do crescimento do mercado de açúcar de beterraba na Europa, problemas técnicos impediram a ampliação da produção (QUADRO 3.1). A descoberta inovadora do processo de difusão para extrair sacarose da beterraba possibilitou a substituição dos antigos métodos de processamento desse produto, proporcionando mais eficiência, produtividade e escala na fabricação do açúcar de beterraba. Conforme PIACENTE (2006, p. 10), foi nesse contexto de evolução tecnológica que um novo processo de extração de sacarose - a difusão - teve seu início em 1865 com a instalada da primeira bateria de difusores na indústria açucareira de beterraba.

A osmose é o princípio básico dos aparelhos de difusão, os primeiros aparelhos foram construídos na Alemanha e França no fim do século XIX, a beterraba era inicialmente fatiada minimamente e disposta em uma série de tanques por onde circulava, através de jatos, água

quente. Ao fatiar a beterraba as células que contém a sacarose são expostas, a água quente tem a função de desloca, através de processo químico denominado de gradiente de concentração, um processo de “lavagem” esse açúcar para fora dessas células.

A massa de beterraba fatiada passava por uma bateria de recipientes (até 18 dependendo do tamanho da fábrica) em um processo, inicialmente desenvolvido por batelada, e posteriormente contínuo. Por fim a massa era desaguada em uma moenda, toda a sacarose extraída e diluída em água era encaminhada para as etapas seguintes da produção de açúcar a purificação do caldo, a concentração, e a cristalização.

QUADRO 3.1: Evolução da produção mundial de açúcar de cana e de beterraba – 1841 a 1910 (valores em tonelada métrica)

Período	Prod. Mundial de açúcar (cana+beterraba)	Porcentagem	
		Açúcar de beterraba / prod. mundial total	Brasil / prod. mundial total
1841-45	959.076	5,4	9,3
1846-50	1.146.281	9,3	10,3
1851-55	1.433.105	13,7	8,6
1856-60	1.676.492	21,3	6,3
1861-65	1.912.388	25,9	6,6
1866-70	2.414.270	32,0	4,4
1871-75	3.003.043	40,0	5,7
1876-80	3.320.512	44,2	5,3
1881-85	4.333.972	51,2	5,3
1886-90	5.572.260	56,5	2,8
1891-95	7.243.020	52,0	2,2
1896-00	8.174.820	61,0	1,4
1901-05	10.414.020	50,0	0,8
1906-10	12.831.200	49,3	0,4

Fonte: EISEMBERG (1977, p. 47).

Apesar de apresentar um maior custo de produção, compensado pelo subsídio e fortemente protegido pelos governos locais, especialmente na Alemanha e França, esse novo açúcar concorrente, tira do açúcar canavieiro a posição de hegemonia mundial. A Alemanha, França, Áustria-Hungria e a Rússia tornaram-se grandes produtores e consumidores de açúcar de beterraba. Foi em 1900, com o crescimento da demanda mundial de açúcar, a produção total comercializada na Europa chegou a 8.350.000 toneladas, dessa produção 5.489.000 toneladas provinham do açúcar de beterraba (LEMPS, 1998).

Para *BYE et al.* (1993, p 42-43), o desenvolvimento da produção de açúcar de beterraba, novo segmento na produção de açúcar, surgiu como uma resposta técnica, estratégica e política à hegemonia do açúcar de cana. Essa inovação foi identificada em um período de afirmação de um desenvolvimento baseado na indústria, diferente de boa parte da produção açucareira de cana que

até o início do Século XX ainda encontrava-se enraizada em princípios coloniais de produção. Ainda segundo esse autor, o produto alternativo e plenamente substituto do açúcar canavieiro, tornou-se rapidamente o maior concorrente da tradicional produção de açúcar à base de cana, uma vez que oferece ao consumidor final ou processadores intermediários o mesmo poder adoçante e com as mesmas propriedades: a sacarose.

O crescimento da oferta, principalmente na Europa, do açúcar de beterraba, além de aproveitar as vantagens assimétricas de alguns mercados protegidos, surgiu em um período em que o sucesso do açúcar de cana como alimento de amplo consumo, caracterizado como fonte calórica barata, de aceitação popular e rotulado como alimento básico na dieta da classe trabalhadora já estava consolidado.

Assim, seu êxito fundamenta-se sobre sua capacidade de gerar muito rapidamente uma organização produtiva integrada, dos produtores agrícolas às negociações internacionais, passando pelos fabricantes de equipamentos e industriais da transformação. Este processo diferencia-se do processamento com cana-de-açúcar menos pela matéria-prima que usa e pelas técnicas de transformação que utiliza (o esquema geral de transformação é idêntico: extração, purificação do caldo, concentração, cristalização), mais principalmente pela organização social da produção que introduz progressivamente: organizações profissionais e interprofissionais sólidas e “lobbies” industriais que contrastam com os sistemas rústicos feudais, coloniais escravagistas e posteriormente assalariados defasados e com condições de trabalho primitivas (BYE, *et al.*, 1993, p 44-45)

O processo de difusão para produção de açúcar de beterraba se desenvolveu vertiginosamente durante o século XX, devido ao mercado protegido e cativo fortemente subsidiado na Europa e posteriormente nos EUA, e aos incrementos técnicos que permitiu a redução nos custos de produção e o aumento da produtividade industrial. As antigas baterias de difusores, que caracterizavam a produção em batelada, foram substituídas por colunas com alimentação automática e contínua permitindo melhor controle produtivo e homogeneização da produção. Por fim, as melhorias técnicas concentraram-se também no pré-processamento da beterraba, a utilização de discos rotativos horizontais, e novos arranjos de facas, substituindo os originais moinhos de martelos, permitiram um corte mais preciso das lâminas de beterraba e melhor eficiência na exposição das células com sacarose, o que se reverteu em aumento na eficiência de extração de sacarose.

3.1 As adaptações da difusão para o uso na cana-de-açúcar até o início do século XX: algumas experiências no mundo

Entre 1886 e 1889 um estudo coordenado por um professor do Instituto de Tecnologia da Lousiana, testou com sucesso o primeiro difusor para processar cana-de-açúcar, caracterizando o início de um processo de aprendizado tecnológico, um esforço de adaptação de uma tecnologia utilizada no processo de uma matéria-prima para outra, podendo a vir a constituir um novo paradigma tecnológico para o processamento da cana-de-açúcar (EBELING, 1978, p.11).

Segundo o editorial da Revista *The Sugar Cane* de 1893 as experiências com esse tipo de equipamentos indicavam vantagens comparativas substanciais, principalmente na capacidade de extração. Cita como exemplo, experiências realizadas com difusores na Usina Kealia em Demerara entre as safras de 1891 e 1892, que mostraram uma capacidade de extração de sacarose em torno de 96%; experiências na Usina Belle Alliance Plantation na Luisiana durante a safra de 1892, com um coeficiente de extração de caldo de 87,5%; na Usina Habana em Queensland na safra de 1981, com um valor de 89%; em Cuba com uma média de 5% superior às fábricas com moendas (IS DIFFUSION, 1893, p. 240).

Um outro artigo publicado na *The Sugar Cane* de 1894, analisa o emprego do difusor de cana-de-açúcar na Usina Nompareil. O autor aponta as modificações realizadas nessa fábrica a fim de adaptá-la ao emprego do difusor. Destaca que a primeira modificação é a instalação de uma etapa de pré-extração, um picador de cana-de-açúcar mais robusto e com capacidade de processamento superior a utilizada anteriormente, uma vez que o difusor trabalha 24 horas de maneira interruptas. Segundo o artigo, o equipamento apresentou um coeficiente de extração de 93%, aproximadamente 30% maior que no caso do sistema de moendas (DIFFUSION, 1894, p. 236-237).

Em termos técnicos, a difusão para cana-de-açúcar consiste em fazer com que uma corrente de água aquecida circule entre recipientes que contém os *cossettes* (termo francês designado para denominar as rodela de cana ou beterraba). A água em contato com a sacarose contida nas células expostas da cana-de-açúcar faz com esta se desloque de um meio mais concentrado para outro menos, o princípio químico do deslocamento de gradiente de concentração. Uma bateria de difusor é composta de pelo menos 16 tanques, sempre alimentados pela parte superior e esgotados pela parte de baixo.

Assim que abastecidos com a cana picada, o primeiro tanque é cheio de cima para baixo com água aquecida, imergindo completamente seu conteúdo. Após, o líquido é bombeado para o

segundo e o primeiro é cheio novamente com água aquecida, e assim sucessivamente em todos os 16 tanques. Quando a cana contida no primeiro tanque já estiver totalmente lixiviada, ou seja, toda a sacarose recuperada já foi arrastada pela água, este é esgotado e seu bagaço desaguado em um terno de moenda.

Experimentos para adaptar o processo de difusão à cana-de-açúcar foram realizados também na ilha da Madeira, tradicional produtor de açúcar. Durante o final do século XIX, pesquisas chefiadas pelo químico açucareiro João Higino Ferraz tentaram, com algum sucesso, chegar a uma solução tecnológica para a difusão da cana. As notas e relatos de suas experiências foram transcritas por Alberto Vieira e Filipe dos Santos e publicadas em 2005 no livro: *Açúcar, Melaço, Álcool e Aguardente*.

Resumidamente, VIEIRA & SANTOS (2005, p. 54-56) descrevem o processo de difusão forçada, criado pelo pesquisador francês Monsieur L. Naudet e adaptado por João H. Ferraz nas usinas da ilha da Madeira. Segundo esses autores, um aparelho de difusão era constituído de uma bateria com oito tanques, completados com cana-de-açúcar processada, no geral um esmagamento com um triturador Krajewski. O primeiro tanque era cheio com água sobre pressão e aproximadamente a 85°C, essa água lavava a cana no primeiro tanque que era direcionada para o segundo e assim sucessivamente, circulando sobre pressão e aquecida em todos os tanques. Esse processo era realizado, até que o teor de sacarose arrastado pela água fosse máximo, em média 85% (FIGURA 3.1). Então a extração parava, o bagaço da cana lavado era substituído e direcionado para um terno de moenda desaguador, e o procedimento reiniciava.

Segundo Ferraz, tratava-se de um sistema produtivo descontínuo, operado por batelada, e que foi tornando-se inviável devido a sua baixa flexibilidade. À medida que a usina demandava aumentos na sua capacidade de processamento, toda a bateria de tanques era substituída por maiores, um custos que inviabilizou a utilização desse sistema durante todo o início do século XX em algumas regiões açucareiras do mundo.

QUADRO 3.2: Estudo comparativo de usinas no Hawaí – safras 1897/1898

Usinas	Cap. processamento (TC/h)	Sistema de extração	Capacidade de extração do caldo (%)
Waialua	53,3	3 moendas + 2 rolos	83,2
D'Oahu	49,6	3 moendas + 2 rolos	83,0
Makaweli	50,3	Difusão direta	94,3

Fonte: Adaptado de COLSON (1905, p. 126-131).

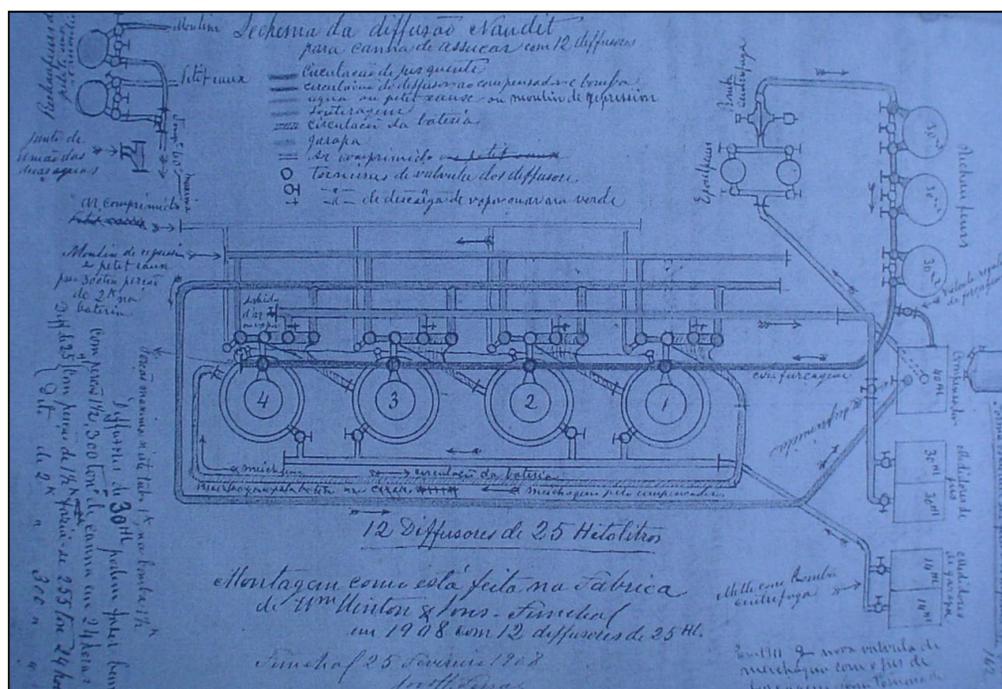


FIGURA 3.1: Bateria de difusor para cana-de-açúcar com 4 tanques não contínuos.
Fonte: VIEIRA & SANTOS (2005, p. 128).

Os dados obtidos de estudos comparativos entre os dois sistemas de extração no final do século XIX indicaram um maior coeficiente de extração na usina que utilizava a difusão direta (QUADRO 3.2). Os resultados apresentados por COLSON (1905, p. 126) comparavam duas usinas que utilizavam sistemas de moendas com tripla pressão, ou seja, três conjuntos de moendas interligados em série, uma disposição para a extração de sacarose considerada a mais eficiente para a época e pouco utilizada devido ao elevado investimento inicial. Os resultados de COLSON (1905, p. 129) fizeram com que o sistema de difusão para cana-de-açúcar fosse considerado por muitos especialistas da época o processo de extração do futuro.

Apesar das pesquisas realizadas nos EUA e do protótipo construído Ferraz (FIGURA 3.2), o primeiro difusor de cana-de-açúcar totalmente contínuo e automatizado, denominado sistema de difusão contínua Naudet, foi instalado em uma usina no Egito durante a década de 1930. Atualmente todos dos difusores para cana-de-açúcar construídos e em funcionamento partem do princípio tecnológico da difusão contínua.

No final do século XIX, o crescimento da agroindústria de beterraba fez com que as pesquisas voltadas para a produção de moendas mais eficientes se intensificassem principalmente no EUA e Inglaterra. Além disso, problemas decorrentes da adaptação do processo de difusão

para utilização na cana-de-açúcar, impulsionaram o setor de máquinas e equipamentos para buscar a obtenção de índices mais elevados de extração e de qualidade do caldo das moendas.

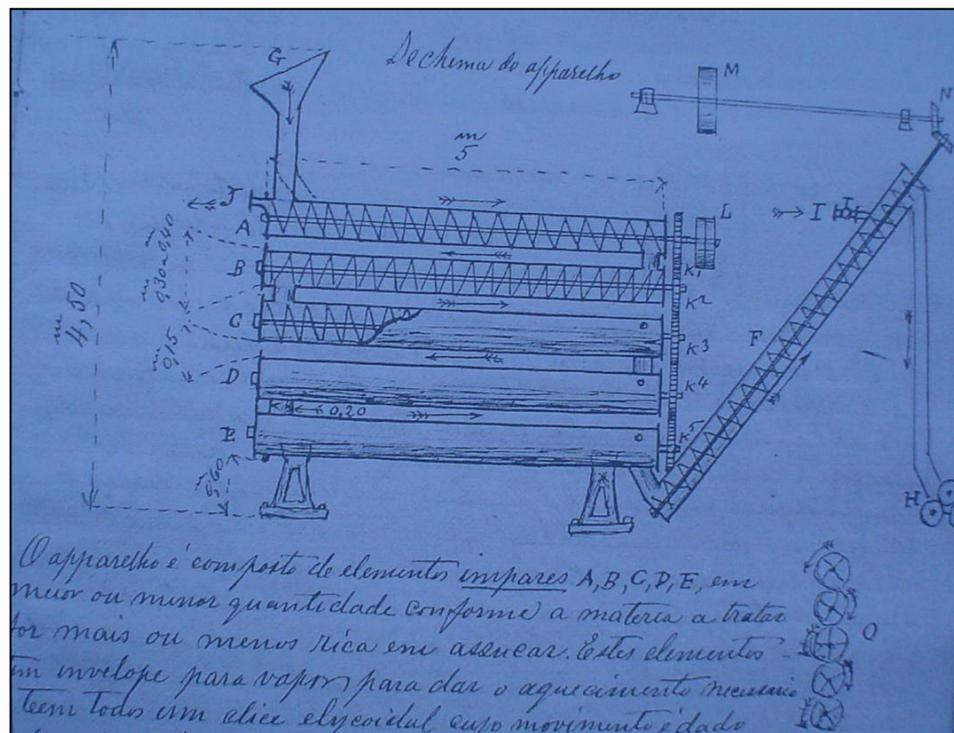


FIGURA 3.2: Projeto de bateria de difusores contínuos projetados por Ferraz.
Fonte: VIEIRA & SANTOS (2005, p. 127).

Apesar das vantagens comparativas apresentadas por essa tecnologia (melhor índice de extração de sacarose e qualidade do caldo), alguns especialistas fizeram observações inerentes ao emprego da difusão na cana que, de certa forma, contribuíram para o seu adiamento como processo hegemônico nas maiores economias açucareiras do mundo.

Uma primeira observação diz respeito às plantas processadoras de cana-de-açúcar já instaladas, ou seja, o capital já investido nas fábricas seria desprezado, tendo em conta o montante de capital invertido em moendas. A difusão aplicada a cana-de-açúcar apresentava um problema técnico ainda não solucionado, esse sistema de extração era contínuo, tornando-o pouco dinâmico e inflexível à ampliações na capacidade de processamento.

O processo de lixiviação no interior do difusor, diluía excessivamente o caldo em água, o que demandava equipamentos mais robustos para armazená-lo e um maior gasto com energia (lenha) para reduzir esse caldo em melaço. Isso demandava ajustes técnicos significativos nos equipamentos até então desenvolvidos para o processamento do caldo da cana.

O bagaço da cana originado do difusor, mesmo depois de passar pelo terno desaguador, apresentava umidade excessiva, o que prejudicava o balanço térmico da usina, inviabilizava sua queima direta. Esse subproduto era secado e depois queimado, demandando para tanto uma nova etapa no processo de fabricação e um novo arranjo de equipamentos para secagem.

Por fim, a adaptação do processo de difusão para sua utilização com cana-de-açúcar e a agroindústria açucareira de beterraba, impulsionou a indústria concorrente da cana-de-açúcar a buscar melhorias rápidas no paradigma já largamente difundido que era a moenda, objetivando índices mais elevados de extração e de qualidade do caldo. Essa melhora no rendimento industrial das usinas só foi possível em decorrência da construção de moendas cada vez maiores e da introdução de um novo conceito de moedas acopladas em conjuntos, os denominados trens ou *tandens*. Esse novo sistema acoplado de moenda proporcionou simultaneamente: i) aumento da capacidade de esmagamento; ii) a melhora na eficiência de extração do caldo; iii) e um bagaço mais seco, o que facilitava sua posterior queima.

Esse fato fica evidenciado em SAWYER (1906, p. 21), em um artigo que descreve, apesar de inúmeras tentativas, a difusão de cana, até o início do século XX, ainda apresentava sérios problemas de ordem técnica que comprometiam o seu maior uso na agroindústria canavieira. Além disso, destaca que usinass em importantes regiões produtoras de açúcar de cana com Cuba, Java e Hawaí que utilizavam a difusão, a abandonaram em favor dos novos trens e dos conjuntos de quatro e até cinco ternos de moendas (*tandem* de moagem).

QUADRO 3.3: Comparativo das moendas de acordo com número de rolos e capacidade de esmagamento (início do Século XX)

Tamanho dos cilindros (polegadas)	Quantidade de cana moída em 12 horas (toneladas)			
	3 cilindros	3 cilindros e 2 rolos	6 cilindros e 2 rolos	9 cilindros e 2 rolos
16x16	22	25	36	39
16x20	28	31	46	49
16x24	35	40	55	60
20x24	46	50	70	75
20x30	60	65	90	95
22x42	92	100	135	145
24x48	-	-	175	190
28x54	-	-	240	275
30x60	-	-	300	360

Fonte: Adaptado de CRUZ (1920, p. 51).

Nota: Os rolos indicados no quadro são adensadores, não possuem função direta de extrair caldo da cana.

Essa nova concepção de conjuntos de moendas interligados, que pode ser considerado uma inovação incremental, foi inicialmente concebida nos EUA no final do século XIX e rapidamente

disseminada em regiões canavieiras como Cuba, Jamaica e Java. Em um estudo comparativo, CRUZ (1920, p. 39-40) destaca que o máximo de eficiência de extração de sacarose obtido por um terno de moenda com três rolos de 22 x 24 polegadas de diâmetro era 65%. Quando se utilizavam dois ternos seqüenciais (seis rolos) de 20 x 36 polegadas cada, o rendimento subia para 80% (QUADRO 3.3).

3.2 As adaptações da difusão para o uso na cana-de-açúcar até o início do século XX: experiências no Brasil

Esse novo sistema de extração de sacarose, mais simples, de menor custo, e mais eficiente e que exigia, menor consumo de energia mecânica foi amplamente estudado, testado e adaptado para o processamento de cana-de-açúcar no final do século XIX. As moendas a vapor de apenas três rolos utilizadas nas principais usinas apresentavam uma baixa eficiência de extração de sacarose, em torno de 65%, e representavam um investimento inicial elevado.

DELGADO & CEZAR (1981, p. 333) apontam o fraco desempenho das moendas tradicionalmente empregadas, os baixos índices de extração de caldo e a presença de umidade em excesso no bagaço como fatos motivadores para a introdução desse novo paradigma tecnológico na indústria de açúcar-de-cana.

Em relação às primeiras descrições do emprego de difusores no Brasil e da sua adaptabilidade para processar cana-de-açúcar Eisenberg destaca:

“Os Pernambucanos não adotavam, o principal método alternativo para extrair caldo da cana. Inventado pelos fabricantes de açúcar de beterraba, a difusão eliminava os moinhos de rolo e os substituía por laminas que cortavam as canas longitudinalmente. A cana cortada era repetidamente mergulhada em água quente que lavava o xarope. Afirmava-se que a difusão extraía uma maior percentagem do mais puro xarope de cana, mas exigia maior quantidade de combustível...” (EISENBERG, 1977, p.. 61-62).

As experiências com a instalação de difusores para processar cana-de-açúcar no Brasil ocorreram ainda no fim do século XIX. As primeiras foram no Rio de Janeiro no engenho central de Bracuhy e no engenho central de Barcelos, ambos em 1883. No caso de Barcelos, conforme informa SANT’ANA (1970, p. 285), a bateria de difusores foi instalada juntamente com um cortador de cana alemão, que tinha a função inicial de desfibrar a cana-de-açúcar facilitando a lixiviação da sacarose²¹. Nesses dois casos, os equipamentos foram substituídos por sistemas de

²¹ O autor não fornece detalhes a respeito do fabricante do cortador de cana, apenas a Alemanha como sendo a sua origem.

moendas após duas safras de operação quando as fábricas ampliaram suas capacidades de processamento e não foi possível encontrara dados referente ao desempenho técnico desses equipamentos, nem mesmo descrição ou especificidades da sua instalação.

QUADRO 3.4: Características técnicas das fábricas instaladas no Brasil na safra de 1903

Estados	Número de fábricas				Total
	Difusão	Repressão	Pressão simples	Engenho tipo Wetzel ³	
Pernambuco	1 ¹	3	38	1500	1542
Alagoas	-	2	4	900	906
Sergipe	-	1	13	700	714
Bahia	-	21	-	200	221
Rio Janeiro	2	32	-	20	54
S. Paulo	-	6	3	10	19
Maranhão	-	1	2	60	63
Paraíba	-	-	1	100	101
R. G. Norte	-	-	1	150	151

Fonte: Adaptado de CERQUEIRA (1950, V. 4, p. 319).

Notas: ¹ Engenho Cacau.

² Engenhos centrais de Bracuhy e Barcelos.

³ Engenhos do tipo banguês.

EISENBERG (1977, p. 62), destaca artigos de jornais pernambucanos que descreve a instalação de dois equipamentos de difusão, na Usina Ipojuca e na Usina Cacaú, em meados de 1895. No primeiro caso a experiência foi frustrante por questões energéticas e as moendas voltaram a operar em seguida. No segundo, os problemas referentes a demanda de vapor foram resolvidos, o equipamento funcionava satisfatoriamente porém, quando a usina ampliou sua produção abandonou o difusor e optou pelas moendas.

No geral, os resultados no Brasil durante o final do século XIX com o emprego do difusor para processar cana-de-açúcar foram satisfatórios, como vantagem desse sistema ALMEIDA (1938, p. 10-11) destacou que o caldo extraído era mais puro e a maior capacidade de extração comparado a uma moenda de 3 rolos. Porém, apresentava como desvantagem um elevado consumo de energia e um bagaço muito úmido que não poderia ser utilizado como combustível direto.

Quanto ao emprego pioneiro do difusor no Brasil, a Revista *Sugar Cane* (WATTS, 1895, p. 270-271) publicou no seu editorial, reportagem sobre essa nova tecnologia instalada na Usina Cacaú. Descreve que os equipamentos foram fornecidos pela empresa francesa Fives-Lille, para uma capacidade nominal de processamento de 300 toneladas de cana por dia. O preparo da cana era composto por dois cortadores horizontais, a cana picada era transportada por um elevador que alimentava o difusor composto por uma bateria de 16 células (tanques). O deságüe

era composta por uma unidade de duplo esmagamento, constituída por 2 moendas com 3 rolos cilíndricos cada, o primeiro com estrias profundas e o segundo praticamente liso (desaguador). Por fim o bagaço, ainda úmido, era aproveitado como combustível e queimado em fornos, porém só representava 14% de todo o volume necessário para operar a usina, com os 86% advindos da lenha. Por fim, o artigo justificou que problemas no fornecimento de cana-de-açúcar dessa usina inviabilizaram a coleta de dados estatísticos relevantes de produção que ilustrariam a eficiência de extração do sistema de difusão (WATTS, 1895, p. 270-271).

O caso mais relevante do emprego do difusor no Brasil até o início do século XX foi o da Usina Açucareira Ester, uma usina que começou a ser construída em 1898, a partir de inversão de capital cafeeiro, e que teve a primeira safra em 1905. O caso da Usina Ester foi tratado por RAMOS & PIACENTE (2005), aqui será feita uma breve síntese quanto ao uso desse equipamento. As indicações são de que a opção pelo difusor deveu-se a uma estratégia de venda da fornecedora do mesmo. Como consta de um trabalho da época:

“Havendo deliberado a construção de um engenho, os Srs. Nogueira & Comp. Aceitaram a proposta da Comp. Fives-Lille para fornecimento dos machinismos nas condições seguintes: Os constructores garantem um trabalho diario de 150 toneladas de canna em 22 horas, e, com cannas dando caldo de 10^o Beaumé, o rendimento em assucar dos 3 jactos (sendo o 1^o crystal branco) deve chegar a 10% sobre o peso da canna. Assim, com este rendimento o consumo de lenha não deve exceder de 12%; seja neste caso 18 toneladas, ou cerca de 45 metros cubicos por dia.

Caso não se verifiquem essas condições, a Comp. Fives-Lille fica obrigada a retirar os aparelhos de diffusão substituindo-os á sua propria custa por uma moenda triplice da mesma capacidade dos diffusores, e pagarão ainda aos Snrs. Noqueira & Comp. A quantia de fr. 50.000 em compensação dos prejuízos” (SAWYER, 1906, p. 18/9).

Em um dos seus relatórios técnicos de visita à Usina Ester no início do século passado SAWYER (1905, p.146) chama a atenção para o fato de que a instalação do difusor se beneficiaria da energia fornecida pela hidrelétrica montada na Cachoeira do Funil, pois, segundo ele, era um equipamento intensivo no consumo de lenha se comparado com os conjuntos de moendas da época. O autor também estranhou o fato dos proprietários da usina optarem pelo difusor, já que os grandes engenhos da época instalados em Cuba e no Havaí haviam substituído seus sistemas de difusão por conjuntos de moendas. Sobre isso o autor observa que:

“... a superioridade da difusão até o ponto de, para ter-se esta pequena quantidade de assucar a mais, não se querer mais supportar os gastos do combustível, o augmento da mão de obra e os caiporismos dos corta-cannas,

inseparáveis deste systema decahido, tornado hoje archaico” (SAWYER, 1905, p. 142).

Conforme descrição da época, na Usina Ester já existia uma moenda utilizada na produção de cachaça, nesse equipamento foi adaptado um difusor composto por uma bateria de 18 tanques. Inicialmente eram processadas 230 toneladas de cana por dia (durante uma jornada de 23 horas). A cana-de-açúcar era transportada do campo por trilhos através de locomotivas a vapor, na usina era cortada em um picador convencional, em seguida as fatias eram distribuídas por elevadores de caneca nos tanques do difusor por onde circulava água quente, lixiviando a sacarose da cana. O bagaço da cana era descarregado a partir do fundo dos tanques e transportado por esteiras até um terno de moenda com 5 cilindros de 22”x40” para desaguar, conduzido ao secador e posteriormente a queima na caldeira, já o caldo era tratado e cristalizado, transformando-se em açúcar (CARVALHO, 1910, p. 62-63).

O trabalho de Sawyer não apresenta dados de produção suficientes para analisar a eficiência técnica operacional do difusor instalado na Usina Ester, isso devido aos atrasos no início da operação da fábrica, uma vez que esse autor visitou a unidade antes da sua inauguração, assim não se pode analisar a eficiência técnica efetiva desse equipamento. A Revista Polytechnica, periódico de engenharia da Escola Politécnica da USP, na sua edição de 1910 trouxe uma reportagem que detalha aspectos técnicos muito interessantes dessa usina. Além de descrever toda a área de produção agrícola, ressaltar o potencial hidráulico disponível para geração de hidroeletricidade, aponta resultados técnicos industriais das cinco primeiras safras: i) a eficiência de extração de sacarose do difusor foi na média em torno de 88,1%; ii) a umidade do bagaço na saída das baterias do difusor foi de 88%, ao passar pela moenda desaguidora reduzia para 71,69%, com a secagem final era de 42,3%, ideal para a queima na caldeira da fábrica.

A partir da década de 1920, devido principalmente a crescente demanda por açúcar em São Paulo, a Usina Ester ampliou sua produção e para tanto adaptou na instalação dois novos termos de moenda, aumentando sua capacidade de processamento de cana-de-açúcar.

Essa nova conformação técnica de extração, tratava-se do que atualmente denomina-se de um difusor de bagaço e, como tal, possuía especificidades técnicas de instalação e operação que o diferencia dos difusores de cana-de-açúcar da época. Nesse arranjo, antes da passagem da cana picada pelo difusor, ela era esmagada por dois ternos de moendas, que retirava parte da sacarose contida nas canas. Em seguida, já na forma de bagaço, a cana era transportada até os tanques do difusor, que extraía o restante da sacarose, por fim desaguiava em um terno de moenda. Essa nova configuração, na prática diminuía a eficiência de extração de sacarose, mas aumentava à

capacidade de esmagamento, tornando a usina mais flexível às necessidades do mercado. O difusor continuou operando como equipamento intermediário entre conjuntos ou ternos de moendas até meados da década de 1960 quando foi totalmente substituído (QUADRO 3.5).

QUADRO 3.5: Produção e eficiência industrial das maiores usinas do Estado de São Paulo – safras 1934/5-35/6-36/7 (produção em sacas de 60 kgs; rend. industrial em kgs/t)

Nome da Usina	Município	Safr 1934/35		Safr 1935/36		Safr 1936/37	
		Prod.	R. Ind.	Prod.	R. Ind.	Prod.	R. Ind.
1. US. ESTER	Campinas/Cosmópolis	118.010	93,56	109.533	89,78	113.225	94,06
2. Piracicaba	Piracicaba	139.447	116,21	148.453	105,25	150.621	105,90
3. Monte Alegre	Piracicaba	134.298	105,32	173.574	100,74	182.261	100,68
4. Villa Raffard	Raffard	190.088	117,88	185.303	108,94	187.294	106,89
5. Porto Feliz	Porto Feliz	173.050	104,56	200.502	92,71	213.001	103,09
6. Sta. Bárbara	Sta. Bárbara d'Oeste	124.396	105,20	143.881	96,14	147.088	91,32
7. Amália	Sta. Rosa do Viterbo	151.102	106,88	160.870	101,63	179.520	112,10
8. Itaquê	Araraquara/N. Europa	64.625	87,08	67.085	95,78	85.574	107,14
9. Tamoio	Araraquara	181.420	96,67	204.871	91,10	187.964	94,20
10. Junqueira	Igarapava	194.700	92,23	204.578	84,80	270.873	86,16
ESTADO SP	(prod. açúcar de usina)	1.844.495	98,79	2032083	92,80	2248470	94,78
Participação % dessas usinas/estado		79,76%		78,67%		76,38%	

Fonte: RAMOS & PIACENTE (2005, p. 10).

3.3 A evolução do sistema de difusão ao longo do século XX, experiências no Brasil e no mundo

Os primeiros aparelhos de difusão utilizados para processamento da cana de açúcar não apresentaram os resultados esperados e o emprego desse sistema para extração de sacarose foi praticamente abandonado durante o início do século XX. Tratava-se de equipamentos de difusão descontínuos, compostos por uma bateria de tanques onde a cana picada era depositada e “lavada” através de jatos de água quente. A sacarose diluída nessa água era posteriormente retirada em outras etapas.

Segundo DELGADO & CEZAR (1981, p. 334), apesar do interesse inicial pelo sistema de difusão e dos tipos de difusores desenvolvidos, testados e instalados durante o fim do século XIX e início do XX, a indústria açucareira processadora de cana-de-açúcar abandonou essa tecnologia. Problemas não resolvidos em relação a secagem do bagaço, no equilíbrio térmico das fábricas, na fisiologia da cana e microbiológicos contribuíram para isso. Além disso, as inovações na área da engenharia mecânica, possibilitaram a construção de moendas mais modernas e eficientes, o que reforçou a opção por essa tecnologia em todo o mundo.

No campo da indústria de máquinas para processamento de beterrada, muitas pesquisas foram desenvolvidas com a finalidade de aperfeiçoar o sistema de difusão. Segundo DELGADO

& CEZAR (1981, p. 334), experiências realizadas na Alemanha acarretaram no desenvolvimento do processo contínuo de difusão para a beterraba, foram desenvolvidos novos tipos de difusores, tornando sua operação mais simples, eficiente e econômica. A partir do desenvolvimento do difusor contínuo para o processamento da beterraba, novos testes foram realizados com a cana-de-açúcar. Segundo EBERLING (1967, p. 33-35), Nicolaas Nobel foi o primeiro a projetar e testar em Java, por volta de 1927, um aparelho que seria o precursor dos modernos difusores contínuos para cana-de-açúcar, tratava-se de uma esteira perfurada onde se colocava a cana picada e extraía a sacarose através de jatos de água quente. Nesta mesma década, no Egito, foi desenvolvido o processo Naudet de difusão do bagaço da cana, tratava-se de um processo contínuo misto de moagem e difusão, muito eficiente e que passou a ser utilizado em importantes regiões açucareiras do mundo como na Louisiana, no Havaí e na África do Sul. Esse sistema, também chamado de “difusor de bagaço” foi melhorado, sua concepção original foi substituída entre as décadas de 1960 e 1970 pelos atuais difusores de cana.

O esforço da indústria do açúcar para melhorar a extração do açúcar da cana a partir da melhoria do processo convencional de extração por moendas ficou limitado a partir da década de 1970. Os conjuntos de *tandem* de moendas e os equipamentos cada vez maiores e mais pesados de preparo de cana não proporcionaram melhorias nos índices de extração de sacarose que viabilizasse os investimentos necessários.

Por outro lado, era possível obter uma extração mais eficiente e com menos investimentos em máquinas e menor consumo de energia, pelo processo de difusão. A BMA, tradicional fabricante austríaco de máquinas e equipamentos para fabricar açúcar de beterraba, desenvolveu sob licença da Sociedade des Sucreries et de Distillerie d'Egypte um difusor contínuo que havia sido testado com sucesso ao longo de vários anos²².

Segundo (BMA, 1965, p. 30) a nova concepção de difusor contínuo, desenvolvida no Egito, vem substituindo gradativamente as fábricas que utilizavam essa tecnologia de forma descontínua, em baterias, como acontecia anteriormente na indústria do açúcar de beterraba. Com base na vasta experiência adquirida ao longo de várias décadas, tornou-se possível, para desenvolver um processo contínuo. Destaca ainda que na safra de 1963 já havia pelo menos três destes equipamentos funcionando, com uma capacidade nominal de 3300 toneladas de cana por

²² A BMA possui uma linha completa de máquinas e equipamentos para processamento, fabricação e refino de açúcar de beterraba. Quanto ao processamento de cana-de-açúcar, desenvolveu e construiu conjuntos de moendas até meados da década de 1960, quando se especializou exclusivamente no sistema de extração por difusão. Atualmente desenvolve projetos e fabrica difusores de cana, centrífugas e outros equipamentos para fábricas de açúcar e refinarias em parceria com metalúrgicas no mundo todo.

dia, e outras quatro plantas e instalação, com capacidade projetada de 4000 toneladas de cana por dia cada.

O equipamento desenvolvido no Egito e considerado o primeiro difusor comercial que trabalha em sistema contínuo de produção, é o que comumente denominamos de difusor de bagaço. Este sistema utiliza inicialmente a pressão de um conjunto de moenda com 3 cilindros, em seguida o bagaço é conduzido até o difusor, lixiviado e novamente esmagado em um terno de deságüe.

Segundo descrição do fabricante, o difusor de bagaço apresentava características técnicas de construção simples, era constituído por uma caixa horizontal retangular, suspensa do solo, com a superfície inferior perfurada e um fundo falso que escorria o caldo lixiviado. O bagaço da cana-de-açúcar previamente moído e esmagado em um terno de moenda, era depositado dentro do difusor sob uma tela perfurada e se deslocava puxado através de correntes e taliscas. A medida que essa “cama” de cana se movimentava dentro do difusor, bicos aspergiam água aquecida misturado ao caldo que recirculava, através de bombeamentos. A velocidade de deslocamento do colchão de cana, e temperatura do caldo aspergido eram controlados e responsáveis por um coeficiente de extração de sacarose de até 97%, dependendo das condições de operação. Além disso, a qualidade do caldo superava o obtido por moagem, sem sólidos insolúveis e em alguns casos dispensava a etapa de filtragem (BMA, 1965, p. 30).

As vantagens comparativas significantes em relação ao clássico sistema de moagens, fez com que arranjos técnicos compostos por: uma etapa de preparo de cana, um terno esmagador, um difusores e dois ternos desaguador, fossem rapidamente disseminados por importantes regiões açucareiras da África do Sul, Austrália e dos EUA, durante as décadas de 1950 e 1960. O que proporcionou o desenvolvimento de tipos diferentes de difusores para cana-de-açúcar, todos com o mesmo princípio químico fundamental e as etapas básicas de preparo de cana, difusão e o terno desaguador. Segundo HUGOT (1969, p. 403-446) a diferença entre eles depende basicamente do material processado: difusor de cana ou de bagaço; da forma de construção: oblíquos, horizontais e circulares; e do seu principio de funcionamento: lixiviação ou maceração²³.

²³ Até meados da década de 1970, todos os difusores contínuos disponíveis no mercado operavam com bagaço de cana em uma conformação básica de: 1 picadores de navalha + 1 desfibrilador (*shredder*) + 1 moenda + 1 difusor pequeno + 2 ternos de moendas desaguadores. Posteriormente, com o processamento exclusivo de cana a conformação se altera para: 1 picadores de navalha + 1 desfibrilador (*shredder*) + 1 difusor grande + 2 ternos de moendas desaguadores.

As principais marcas de difusores patenteados nas diversas regiões do mundo foram as seguintes: a) difusor oblíquo: DDS; b) difusor horizontal: De Smet e BMA e; c) difusores circulares: Silver, Saturne e Suchem.

3.3.1 Difusores horizontais

Os projetos mais conhecidos de difusores horizontais foram os desenvolvidos e fabricados pela BMA e De Smet. São equipamentos desenhados no formato retangular e ambos os projetos têm aproximadamente a mesma dimensão e capacidade de processamento.

Esses equipamentos foram projetados para trabalhar inicialmente com o princípio da difusão de bagaço ou moagem-difusão (entre as décadas de 1940 e 1960), e posteriormente apenas como difusor de cana. Nos projetos de moagem-difusão a extração por esmagamento no terno de moenda extraía entre 60% e 65% da sacarose da cana, o restante era extraído pelo difusor. O QUADRO 3.6 apresenta características técnicas de construção e operação dos difusores de bagaço e de cana da De Smet. A FIGURA 3.3 apresenta resumidamente os diferentes arranjos de equipamentos para extrair sacarose da cana através de sistemas de difusão de bagaço e seus fabricantes nas diversas usinas da África do Sul na década de 1970.

QUADRO 3.6: Características dimensionais dos difusores De Smet

Tipo	Capacidade (Tc/dia)	Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)	Potencia (hp/Tch)	Consumo energético (kg/Tc)
Difusor de bagaço	2000	35,8	2,8	8,0	2,4	80-85
	3000	35,8	4,2	8,0	2,4	80-85
	5000	39,5	6,2	8,0	2,1	80-85
	7000	39,5	8,2	8,0	2,1	80-85
	9000	39,5	10,9	8,0	2,1	80-85
Difusor de cana	2000	48,3	2,8	8,0	2,6	100-105
	4000	48,3	5,2	8,0	2,6	100-105
	6000	52,0	7,2	8,0	2,4	100-105
	8000	52,0	9,2	8,0	2,4	100-105

Fonte: Adaptado de DELGADO & CEZAR (1985, p. 351).

O modelo desenvolvido pela BMA, firma alemã de máquinas e equipamentos para processamento de beterraba açucareira e fábricas de açúcar de cana, possui como característica principal um fundo fixo cosntruído de chapa de aço inox perfurado, o colchão de cana picada é puxado por correntes sobre esse fundo. Esse projeto foi de equipamento idealizado para trabalhar exclusivamente com cana-de-açúcar e não permite expansões físicas para ampliação da sua capacidade de processamento devido a rigides da sua estrutura.

Segundo EBERLING (1967, p. 38), no final da década de 1960 o difusor horizontal da BMA foi licenciado com exclusividade para o Grupo Dedini, porém não informa mais detalhes a respeito da fabricação ou não de algum equipamento para fábricas no país. Essa informação foi checada a exaustão, primeiramente em reportagens e artigos veiculados em publicações especializadas no setor informações e depois em entrevistas com consultores e especialistas do setor.

CAVALCANTI (2005) em uma entrevista veiculada na Revista Opiniões, apresentou as primeiras informações a respeito dessa, segundo esse entrevistado, tem muito folclore na informação de que a Dedini, firma que ele trabalhou durante 18 anos, teria licenciado da alemã BMA um equipamento de difusão apenas para fazer não funcionar. Afirma que aquele equipamento era um difusor de bagaço e foi montado, conforme recomendação do desenvolvedor, entre dois conjuntos de duas moedas. Como tal, não apresentou tecnicamente as vantagens comparativas esperadas e foi descartado.

Em relação as informações coletadas junto a ex-funcionários do grupo Dedini e consultores é de que a montagem e os testes desse difusor, foram conduzidos em uma usina pertencente ao grupo, a Usina S. Francisco do Quilombo em Charqueada. E que sua construção, a instalação e a operação foram, aparentemente, propositadamente feitos com o intuito de evidenciar uma suposta ineficiência ou dificuldades de funcionamento regular, com o que se tornaria evidente a inconveniência ou a não recomendação do uso desse equipamento, face ao sistema de moedas (RAMOS & PIACENTE (2005, p. 15).

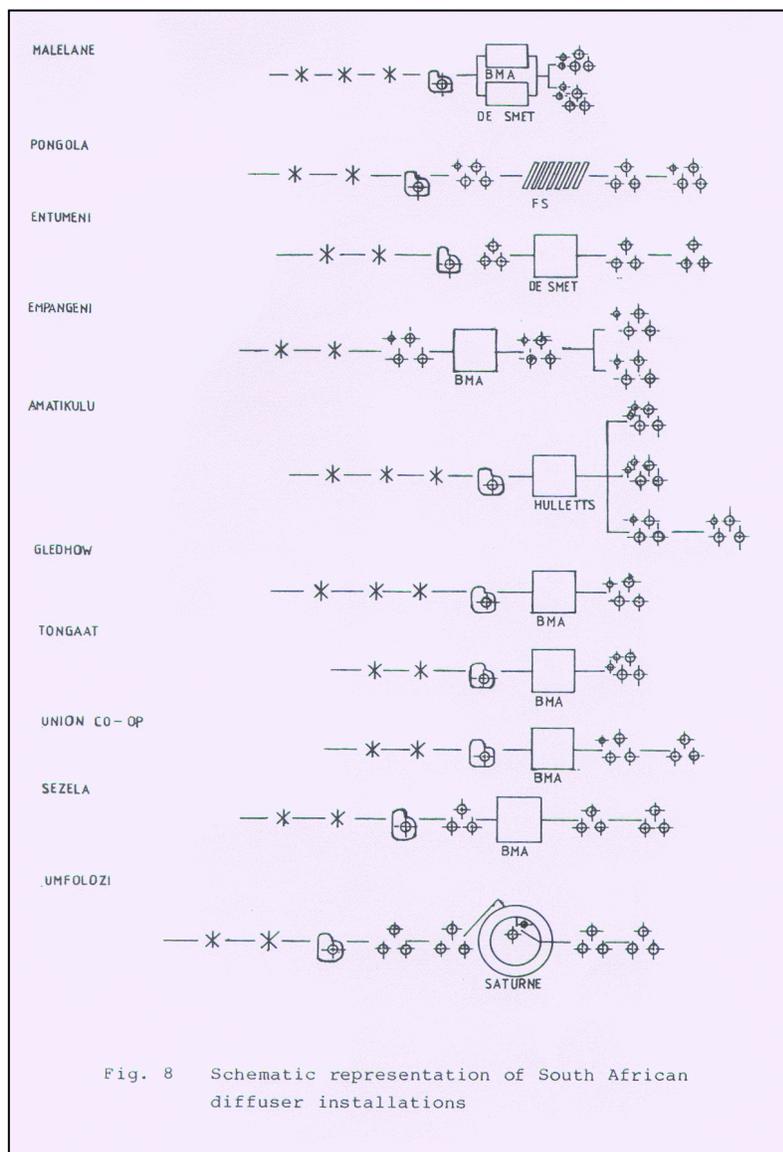


FIGURA 3.3: Diferentes arranjos técnicos que compõem a difusão de bagaço nas principais usinas da África do Sul na década de 1970.

Fonte: Adaptado de DELGADO & CEZAR (1981, p. 336).

O difusor da De Smet, tradicional fabricante Belga de máquinas e equipamentos para extração de óleos, é muito semelhante ao equipamento da BMA, a diferença principal entre os dois modelos está no processo de transporte do colchão de cana dentro do equipamento. No modelo De Smet, o colchão de cana no interior do equipamento é transportado lentamente por taliscas na forma de uma fina grade, apoiadas em roletes. Essa concepção originou-se dos equipamentos desenvolvidos por esse fabricante para extrair de óleos e processar beterraba. Segundo EBERLING (1967, 36-38), no final da década de 1960 a empresa Nordon de São Paulo possuía com exclusividade a licença para produzir e comercializar no Brasil os difusores De

Smet, com as informações coletadas nesse trabalho pode-se concluir que nenhum equipamento desse modelo ou desse fabricante foram produzidos no país até o momento.

3.3.2 Difusor oblíquo

Esse equipamento era dotado de um duplo cilindro conjugado instalados com uma leve inclinação de aproximadamente 4 graus, abrigada no seu interior dois grandes parafusos transportadores helicoidais, fixados simetricamente no centro desses cilindros. O bagaço da cana, esmagado em dois ternos de moendas era depositado na parte inferior do cilindro e a medida que essa massa se deslocava impulsionada pelos parafusos eram lixiviado com uma solução aquecida de caldo originado da moagem e água (OLIVEIRA & MELLO, 1966, p. 268).

Formava assim um fluxo ascendente de bagaço e um outro descendente de água, um meio osmótico propício para a extração da sacarose. Atingindo a extremidade superior dos cilindros, o bagaço era retirado e encaminhado para um ou dois ternos desaguadores.

QUADRO 3.7: Comparação entre sistema de moagem e moagem-difusão D.D.S. - 1966

Sistema de Trabalho		Cana (tc/dia)	Extração (%)	Açúcar (ton/dia)	Rend. ind. (kg aç./tc)
1	4 ternos de 26x48"	8.251	92,49	827	100,23
2	4 ternos mais difusor D.D.S.	8.497	96,87	914	107,57
Melhoria comparativa (2/1)		2,98%	4,74%	10,52%	7,32%

Fonte: Adaptado de DELGADO & CEZAR (1981, p. 346).

Nota: Difusor D.D.S. instalado na Usina Tanganyika, Tanzânia – África.

Apesar de apresentar vantagens em função da sua elevada capacidade de extração de sacarose, o projeto do difusor oblíquo da D.D.S. (Danske Sukkerfabrikker S/A), tradicional fabricante dinamarquês de máquinas e equipamentos para processamento de beterraba e fabricação de açúcar, para cana-de-açúcar foi abandonado. A necessidade de uma pré-extração com dois ternos de moenda inviabilizou economicamente esse equipamento a partir dos anos de 1970, um período marcado essencialmente pela adoção de modelos com tecnologia superior, e que não demandavam mais uma etapa inicial de moagem precedendo a difusão. Esse equipamento apresentava uma concepção estrutural pouco flexível e limitado do ponto de vista produtivo, uma vez que só poderia ser construído até um certo comprimento, comprometendo sua possibilidade de expansão.

Em 1968 o primeiro difusor contínuo de bagaço construído no Brasil passou a operar na Usina S. Francisco, no município de Ceará-Mirim, Rio Grande do Norte. Tratava-se de um difusor modelo oblíquo desenvolvido pela D.D.S, projetado para processar 1.000 toneladas diárias de cana de açúcar e instalado em conjunto com quatro moendas, duas antes e duas depois do difusor. A expectativa do fabricante para esse aparelho era superar a eficiência de extração dos quatro ternos de moendas que ficava em torno de 90%, passando para 97% (FIGURA 3.4 e 3.5).

Esse equipamento foi financiado totalmente pelo BNDE, dentro do acordo firmado entre o Brasil e a Dinamarca, com pagamento previsto para sete anos e carência de dois. Conforme (BRASIL Açucareiro, 1968, p. 13-16), o acordo firmado entre o IAA e o BNDE de 1967, caberia o IAA firmar gastos com moeda nacional relativo à montagem dos equipamentos importados, compra e instalação de equipamentos complementares nacionais, assistência técnica e outros serviços pagáveis e necessários à realização do Programa de Modernização da Indústria Açucareira, até o limite de 15% do valor financiado pelo banco. Quanto as condições da linha de financiamento: i) prazo de amortização de até 10 anos, com carência de 2 anos e 6 meses; ii) juros de 12% a.a.; iii) e morreção monetária de até 14% a.a.

A expectativa dos fabricantes era superar a eficiência de extração dos quatro ternos de moendas, que ficava em torno de 90%, devendo atingir 97%. PARAZZI & FERRARI (1981, p. 22-24) relatam que na primeira safra ocorreu um aumento entre 25 e 30% na capacidade processamento instalada e foram atingidos índices de eficiência de 97,3%. Contudo, a informação é que tal difusor operou por apenas duas safras. A D.D.S instalou durante a década de 1960 sete difusores: o primeiro em Tanganyika Planting, na Tanzânia (QUADRO 3.7); o segundo com capacidade nominal de 1.500 tc diárias em 1963 em Reunion; no mesmo ano o terceiro com capacidade de processar 2.000 tc/dia na Balapur Co. Ltda, na Índia; o quarto na S. Francisco; a quinta unidade na Phantan Sugra para 1.500 tc/dia, também na Índia; o sexto nas Filipinas para 3.600 TC/dia; e o sétimo, com capacidade de 2.000 tc/dia na Índia (LOPES, 1982, P. 42-45).

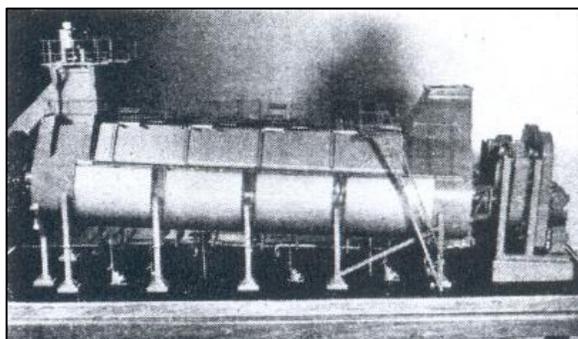


FIGURA 3.4: Difuso DDS (U. S. Francisco)
Fonte: LOPES (1982).

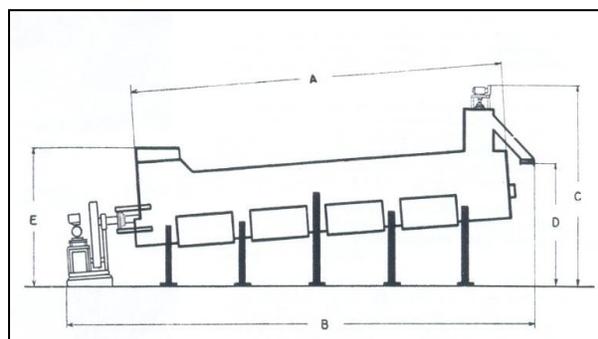


FIGURA 3.5: Esquema de um difusor DDS
Fonte: LOPES (1982).

Existem relatos de que no ano de 1971 um outro difusor da D.D.S. com capacidade para processar 2.600 tc/dia teria sido instalado no Brasil em uma fábrica em Pernambuco, com insucessos devido a dificuldade de ajustes do equipamento e falta de mão-de-obra qualificada para operá-lo (LOPES, 1982, p. 45). Porém, não pode ser verificadas evidências que confirme essa afirmação, muito menos dados referentes a operação desse equipamento.

3.3.3 Difusores Circulares

Durante a década de 1970, alguns aparelhos de difusão circular tipo Silver e Saturno foram instalados no Hawaí e em Maurício (FIGURA 3.6). Esses equipamentos, muito flexíveis operavam principalmente com cana e apresentaram rendimentos satisfatórios quando comparados com os tradicionais sistemas com ternos de moendas.

Segundo DELGADO & CEZAR (1985, p. 352) os difusores circulares trabalham sob os mesmos princípios do difusor de cana horizontal De Smet, porém construído na forma circular. Foi concebido para processar cana-de-açúcar, eliminando integralmente a etapa de pré-extração feita por ternos de moenda. Para tanto, foi desenvolvido em conjunto com esse equipamento uma nova concepção de preparo de cana, que depois, diferentemente do que ocorreu com o difusor, foi largamente utilizado em todo o mundo. Esse preparo de cana consistia por uma bateria inicial de dois jogos de faca rotativas, seguido por um desfibrilador do tipo Silver.

Esse modelo apresentava com principal vantagem a eliminação definitiva da moagem-difusão, ou seja, tratava-se de um difusor de cana concebido genuinamente para operar nesse princípio. A sua principal desvantagem estava no fato de sua estrutura circular, apresentava problemas operacionais e de manutenções durante a entre safra (QUADRO 3.8).

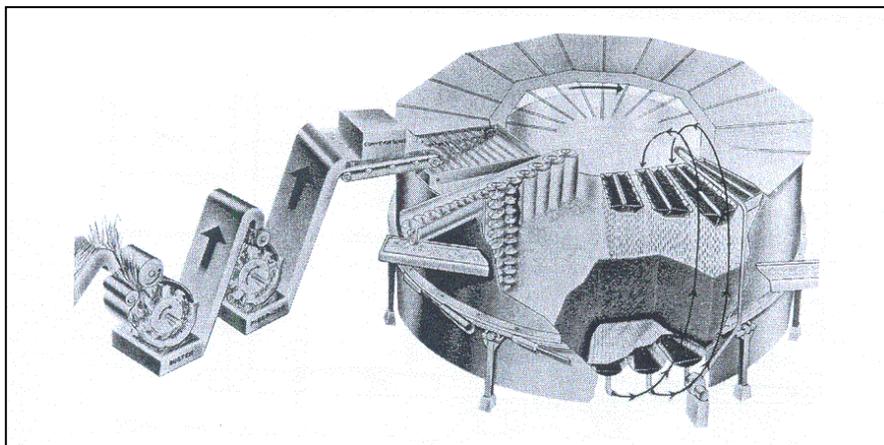


FIGURA 3.6: Difusor Silver para cana-de-açúcar.

Fonte: BAIKON (1981, p. 41).

QUADRO 3.8: Resultados obtidos com difusor de cana circular Saturno e Silver

	Usina Mauritius – Maurício ¹			Usina Pioneer – Hawai ²	
	<i>Difusor Saturno</i>			<i>Difusor de cana Silver</i>	
	Moagem	Moagem-Difusão	Difusão	Moagem	Média 7 safras
TCH	95,2	99,2	100	478	506
Extração (%)	95,6%	96,5%	96,6%	93,37%	97,59%
Perda sacarose no bagaço (%)	2,47%	1,99%	1,36%	2,92%	1,07%

Fontes: Adaptados de PARAZZI & FERRARI (1981, p. 23-24) e SACCHARUM (1981, p. 36-38).

Notas: ¹ Dados: moagem e moagem-difusão safra de 1973 e de difusão safra de 1976.

² Autor não publicou as safras referentes ao estudo.

Segundo informações levantadas junto a consultores do setor, e posteriormente confirmadas com uma publicação na Revista Saccharum de 1981, esse tipo de equipamento foi licenciado com exclusividade no final da década de 1970 pela Jaraguá S. A Indústrias Mecânicas, tradicional fabricante nacional de equipamentos para a indústria de base, para sua construção e instalação no país. Nesta publicação, o responsável pelo departamento de engenharia da Jaraguá destaca que a firma estava apta a instalar em qualquer usina, anexa ou autônoma, esse equipamento, com vantagens comparativas significativas frente aos convencionais sistemas de moendas. Apesar do empenho do fabricante, nenhum equipamento desse tipo foi construído e instalado no país.

3.3.4 Difusores de cana

Durante a década de 1960 os estudos no campo da fisiologia da cana-de-açúcar proporcionaram a concepção de equipamentos até então desconhecidos. Os estudos da biologia

celular, possibilitados a partir da microscopia fina, abriram inúmeras oportunidades de desenvolvimento de nos tecnologias e processos em vários campos da ciência. No setor açucareiro não foi diferente, o melhor entendimento dos feixes vasculares que constituem o que comumente chamamos de fibra da cana-de-açúcar, permitiu aos pesquisadores entender o mecanismo de movimentação e acúmulo da sacarose na cana. Além disso, pela primeira vez observaram as células de armazenamento do açúcar, como elas são constituídas e suas propriedades mecânicas. Essas descobertas abriram janelas de oportunidades tecnológicas para o setor que desenvolvia e fabricava máquinas e equipamentos para processamento de cana e fabricação de açúcar, principalmente para as firmas que projetavam e construíam difusores.

Segundo PROCKNOR (1979, p. 32) o conhecimento da fisiologia celular, deu um impulso na concepção de novos equipamentos de preparo de cana e de extração. O mecanismo de extração de açúcar por difusão, até então baseados no princípio de difusão de bagaço, foram totalmente substituídos por sistemas de difusão pura, bastando para isso modificações incrementais no preparo da cana, etapa prévia a difusão. Durante o preparo, existe a necessidade de que as células de armazenamento de sacarose sejam rompidas e separadas dos feixes de fibra, assim, equipamentos com essa finalidade passaram a ser construídos permitindo a plena substituição dos equipamentos de difusão de bagaço pelos de difusão pura.

A partir da década de 1970 os difusores horizontais de cana B.M.A. e De Smet foram instalados principalmente na África do Sul e América Central (QUADRO 3.9), em substituição aos antigos modelos de difusão do bagaço.

QUADRO 3.9: Comparação entre difusores de cana horizontal de diferentes fabricantes – safra 1980

	C. Açucareira Montelimar - Nicarágua		C. Açucareira Entumeni – África do Sul	
	<i>Moagem</i>	<i>Difusor BMA</i>	<i>Moagem</i>	<i>Difusor De Smet</i>
Safras	1963/65	1968/70	1965/66	1967/70
Tc/hora	31	52	28	56,5
Extração (%)	92,89	96,32	93,68	95,80
% sacarose no bagaço	3,05	1,44	2,71	1,7

Fonte: Adaptado de PARAZZI & FERRARI (1981, p. 27-28)

A evolução histórica do sistema de moendas para extração de sacarose apresentou, ao longo de sua trajetória tecnológica, melhorias originadas a partir dos conhecimentos técnicos acumulados com experiências adquiridas no tempo. No início, essas inovações eram incorporadas a partir de desenvolvimentos e pesquisas industrial realizados na Europa e EUA. No caso do Brasil as alterações e melhorias técnicas que ocorreram ao longo dos anos, fruto de um processo

de seleção e busca concentrado em um duopólio, confirmaram o predomínio de um mesmo paradigma e trajetória tecnológica.

Melhorias obtidas em outros campos de conhecimento foram fundamentais para a evolução tecnológica das moendas. Nota-se nesse acaso que, o uso de informações extraídas do conhecimento formal de outras ciências, como a mecânica, a principalmente a biologia celular a partir da década de 1960, foram importantes para ampliar a base de conhecimento sobre a qual a inovação é apoiada e difundida. As inovações no processo de extração por moenda tornam-se mais eficientes a medida que o conhecimento formal da fisiologia celular foi utilizado na concepção dos novos *tandens* de moenda e dos novos sistemas de preparo de cana (desfibriladores e picadores).

Para no caso da tecnologia de difusão, os conhecimentos acumulados através de experiências de novos equipamentos e processos adquiridos com a produção açucareira de beterraba na Europa foram fundamentais para a utilização desse princípio com a cana de açúcar. Tratou-se de um processo de refinamento de modelos e procedimentos que permitiu a indústria açucareira fora da Europa, substituir a matéria prima beterraba pela cana utilizando o mesmo princípio tecnológico de extração de sacarose.

Neste caso, a troca de insumos com características físicas, químicas e de adaptabilidade natural totalmente diferente, não ocasionou uma mudança na trajetória ou no paradigma tecnológico utilizado para seu beneficiamento. Nota-se que, apesar do conhecimento já adquirido e difundido da extração de sacarose de cana pela moenda, as pesquisas com a finalidade de adaptar um novo paradigma, o difusor, surtiram relativo sucesso.

Como será tratado no Capítulo 5, a Zanini Equipamentos Pesados S. A., instalou sob licença internacional da BMA, o primeiro difusor de cana-de-açúcar no Brasil em 1985 na Destilaria Galo Bravo, que foi montada em 1977 pela Família Balbo e que se tratou da primeira destilaria autônoma privada a operar com financiamento do Proálcool. O equipamento, modelo DCZ-19 com capacidade de processar 4.000 t de cana por dia, foi produzido pela Zanini em associação com a empresa Sermatec, criada em 1976 com controle acionário da Usina Santa Elisa. Portanto, tais empresas eram controladas na época pela Família de Maurílio Biagi. A fabricação deste equipamento ocorreu por iniciativa dos diretores e da equipe de engenheiros de projetos da Zanini e foi montado pela Sermatec. A elevada eficiência na extração de sacarose observado na usina, próxima a 98% e o investimento inicial menor em torno de 20%, foram os principais argumentos dos adeptos dessa nova tecnologia no Brasil.

Existem informações desconhecidas de outros três equipamentos de difusão de cana-de-açúcar que teriam sido instalados em 1985, e em Em 1986 um outro equipamento de difusão foi instalado na Usina Cruz Alta, município de Olímpia-SP, contudo, em uma publicação setorial encontrou-se a seguinte matéria:

*“A usina Cruz Alta, recém inaugurada em Olímpia, SP, é a primeira unidade brasileira produtora de açúcar a contar com um difusor. Não só o primeiro a operar no País, mas também é o segundo maior do mundo, estando o primeiro em funcionamento em complexo açucareiro da África do Sul. Custou US\$ 4 milhões e foi projetado e construído pela Zanini S/A Equipamentos Pesados, de Sertãozinho, SP. O difusor da Cruz Alta pode retirar até 98% de sacarose da cana enquanto é notório que pelo sistema tradicional, a média no Brasil é de 89%, sendo o índice de 95% atingido apenas pelas unidades bem administradas. Outras vantagens do difusor: consome cinco vezes menos energia sendo que a despesa de manutenção diminui em cerca de 60% a 65% se comparada com os métodos usuais. Na lubrificação, outra vantagem ponderável: cada tonelada de cana passada pela moenda exige o gasto de três gramas e apenas 0,7 grama, no difusor. Segundo José Rossi Filho, presidente da Zanini `somente a extração de 3% a 4% a mais de sacarose já é uma grande vantagem econômica pois serão 3% a 4% a mais de açúcar’. Além disso, segundo a mesma fonte, `os custos dos equipamentos – processo de moenda ou difusor é praticamente o mesmo. No Brasil já existem quatro difusores em operação, em usinas de álcool: no Paraná, em Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e São Paulo. A tecnologia inicial é belga, melhorias foram introduzidas na África do Sul enquanto o aperfeiçoamento é brasileiro’, afirmou Rossi Filho”.*²⁴

A destilaria paulista a que se refere a matéria deve ser a Galo Bravo (de Ribeirão Preto). Quanto à do Paraná, há informações não confirmadas e contraditórias: a Coamo/Cooperativa Agropecuária Mourãoense, de Campo Mourão, teria instalado em 1985 um difusor. A contradição está no seu fabricante: teria sido o Grupo Dedini, sob licença da BMA ou a Jaraguá Indústrias Mecânicas (Sorocaba/SP), também sob licença da BMA. Conforme nota na Revista do Álcool de set/out de 1985, esse dois equipamentos foram construídos sob licença da BMA pela Jaraguá Indústrias Mecânicas, com contrato turn key (AS VANTAGENS, 1985, p. 25-26). A respeito desse difusor, não foi encontrado nenhuma outra informações.

Quanto à do Mato Grosso do Sul, tratar-se-ia da Destilaria M. R. (município de Maracajú). Porém, a data de início da sua operação continua incerta, um artigo publicado em 1983 na Revista Saccharum apresentou dados referente ao desempenho do difusor originalmente instalado a Destilaria M. R. em 1983. Esse artigo não fornece informações a respeito da

²⁴ Retirada da revista Álcool & Açúcar, dezembro/janeiro 1987/88, ano 7, nº. 39, p. 32.

capacidade de processamento de cana do equipamento, especificações técnicas do difusor, nem do seu coeficiente extração, apenas informa que possuía uma capacidade de produção diária de 120.000 litros de álcool e que o caldo extraído apresentava boa (EBELING, 1983, p. 34-38).

Quanto à de Minas Gerais tratar-se-ia da Destilaria Cooprolcool (de Monte Alegre de Minas), que também não foi encontrado nenhuma outra informação a respeito desse equipamento. Os dados do IAA evidenciam que estas três últimas destilarias operaram e produziram álcool na safra de 1985/6, assim como a Galo Bravo.

CAPÍTULO 4 A trajetória do sistema de moendas no Brasil no período 1930-1990

4.1 O sistema de moendas no Brasil até a década de 1930

No início do século XX, as inovações desenvolvidas nos EUA e na Europa como os trens de moendas e os controles hidráulicos de pressão nos rolos e esmagadores, equipavam as principais usinas do mundo, proporcionaram um ganho de eficiência produtiva e um aumento na capacidade de processamento das fábricas²⁵.

O conjunto seqüencial de três e até quatro moendas, cada vez maiores, era utilizado em usinas cubanas e jamaicanas no final do século XIX e, segundo MATTOS (1882, p. 26-27), substituiu com eficiência as primeiras moendas fabricadas com cinco, seis e até oito rolos. A simplicidade de operação, a eficiência de extração e a possibilidade de flexibilização da produção fizeram dessa opção uma unanimidade em todo o mundo.

Isso foi evidente em várias regiões canavieiras do mundo: em Cuba pelo menos 2 grandes fábricas San Joaquim e Caracas voltaram a utilizar conjuntos de moenda com sistemas de preparo de cana (trituradores e esmagadores) substituindo as baterias de difusores. Em Demerara foram três fábricas, Nonpareil, Belari e Reliance; em Guadalupe uma a Point Simon; e Tucuman a Santa Ana; e no Hawai a Makaweli (ALMEIDA, 1938, p. 11). No Brasil, dos quatro engenhos que adotaram o sistema de difusão no final do século XIX, pelo menos três havia adaptado suas fábricas para moendas no início do século XX, somente a usina Ester em São Paulo que resistiu com um sistema misto de moagem-difusão.

O QUADRO 4.1 mostra a capacidade de extração de sacarose através da moagem das maiores usinas de Cuba, Brasil, EUA e Austrália no final na safra de 1937. De maneira geral, as usinas de açúcar do Brasil apresentavam capacidade de esmagamento inferior as a Austrália, EUA e Cuba, devido principalmente ao nível tecnológico que se encontravam as unidades destes outros países. As usinas brasileiras listadas no QUADRO 4.1 eram, com exceção de Quissaman que ficava no Rio de Janeiro, todas de Pernambuco.

²⁵ Vale a pena destacar que esses esmagadores foram ao longo do tempo sendo substituídos por desfibriladores e picadores, equipamentos mais eficientes e que proporcionam uma melhora na eficiência de extração (PAYNE, 1989, p. 46).

QUADRO 4.1: Comparação entre capacidade de processamento de cana pelas maiores fábricas do Brasil, EUA, Cuba e Austrália em 1973

Cuba		EUA		Brasil		Austrália	
Usina	tc/dia	Usina	tc/dia	Usina	tc/dia	Usina	tc/dia
Morón	8.370	Clewiston	4500	S. Therezinha	1800	Hambledon	2400
Vertientes	8.370	Raceland	2400	Catende	1768	Macknade	1900
Boston	6.064	Southdown	2200	Tiúna	1687	Mulgrave	1990
Preston	3.400	Reserve	2000	Barreiro	1460	Mourylian	1730
Santa Lucia	2.900	Oaklawn	1900	U. Indústria	1300	Babinda	1710
Jaronú	1.250	Cinelare	1800	Quissaman	1200	Cattle Creek	1680

Fonte: Adaptado de: SUGAR Reference Book and Directory (1937, p. 63-156).

O QUADRO 4.2 apresenta as diferentes composições de equipamentos próprios da etapa de extração de sacarose de cana através da moagem utilizada no Brasil durante o final da década de 1920. Nota-se que a introdução de um número cada vez maior de ternos de moendas com trituradores no conjunto de extração aumentava sensivelmente a capacidade de extração da usina e o coeficiente de extração de caldo. Outro ponto que merece destaque é grande possibilidade de flexibilização do sistema de moendas, introduzindo, por exemplo, em um sistema com um terno de moenda e um esmagador, um segundo terno, o coeficiente de extração vai de 80% para 85%, e a capacidade de esmagamento aumenta de 125 para 150 ton/dia.

Apesar das vantagens evidentes dos conjuntos de moendas, no Brasil só se tornaram comum a partir da primeira década do século XX, em Pernambuco e no Rio de Janeiro, onde a atividade canavieira apresentava-se mais desenvolvida tecnologicamente (QUADRO 4.3). O QUADRO 4.4 mostra dados que caracterizam tecnicamente as usinas paulistas na primeira década de 1910, nota-se, comparativamente, a sua inferioridade produtiva em relação às fábricas instaladas em Pernambuco e no Rio de Janeiro

QUADRO 4.2: Diferentes composições de conjuntos de moendas para processamento da cana-de-açúcar e suas respectivas características e eficiência – Brasil safra de 1927

Composição	Cilindros	Capacidade de extração %	Cap. Esmagamento (tc/dia)	Fibras (t)
1 terno moenda	3	75	100	12
1 terno moenda + 1 esmagador	5	80	125	15
2 terno moenda + 1 esmagador	8	85	150	18
3 terno moenda + 1 esmagador	11	90	200	24
4 terno moenda + 1 esmagador	14	95	225	27

Fonte: NEVES (1937, p. 19).

QUADRO 4.3: Principais usinas do Rio de Janeiro em 1922 e suas características – açúcar em sacas de 60 kg

Usinas	Cap. Esmagamento (tc/dia)	Conjunto	Cap. de produção por safra (mil sacas)
Quissaman	500	3 moendas com esmagadores	90
Mineiros	350	3 moendas	50
Barcellos	350	2 moendas	50
Limão	250	2 moendas com esmagadores	35
São João	240	2 moendas	30
São José	200	2 moendas	25
Das Dores	250	2 moendas	25

Fonte: Adaptado de SOBRINHO (1912, p. 25-43).

QUADRO 4.4: Principais usinas paulistas nas safras de 1910 e 1911 e suas características – açúcar em sacas de 60 kg

Usinas	Sistema	Cap. Esmagamento (tc/dia)	Safr 1910		Safr 1911	
			tc moída	Açúcar (sacas)	tc moída	Açúcar (sacas)
Ester¹	Difusor	230	-	-	-	30.000
Piracicaba	3 moendas com desfibrador	500	58.900	92.800	82.800	95.850
V. Rafard	3 moendas	350	47.600	69.810	36200	39.160
Lorena	4 moendas	270	18.700	25.540	14.900	20.000
Porto Feliz	2 moendas	250	13.800	21.430	9.900	12.500
Amália	3 moendas	300	36.000	49.800	17.000	24.000
Freitas	3 moendas	200	-	-	4.100	5.300
M. Alegre	2 moendas	250	30.000	37.000	20.000	27.000
Itahyquara	2 moendas com esmagador	200			4.137	5.000
Schmidt	1 moenda com repressão	200	19.071	23.600	14.000	17.000
Pimentel	3 moendas com esmagador	128	8.100	7.000	-	-
Cachoeira	1 moenda	38	3.052	3.307	-	-
Barra	1 moenda	20	1.200	1.000	800	600

Fonte: Adaptado de SOBRINHO (1912, p. 94-96).

Nota:¹ Ver mais sobre a difusão na Usina Ester em RAMOS & PIACENTE (2005).

Com a composição de equipamento proposta, testada e aprovada no início do século XX, a extração de sacarose passa a ser dividida em etapas distintas porém, todas fortemente mecanizadas, seqüenciais e automatizadas, reduzindo para um mínimo a interferência do trabalho humano. A partir da década de 1930, o arranjo tecnológico que compunha a extração de cana por esmagamento em uma usina era dividido em: i) preparação de cana, composta por um desfibrador e um picador; ii) seguida pela extração, composta de um conjunto de até seis ternos.

A etapa de preparação da cana-de-açúcar era composta inicialmente por um desfibrilador, responsável em dilacerar a cana e expor suas células com sacarose, e um picador que triturava a cana possibilitando uma distribuição mais regular na entrada da moenda, evitando desgaste e mantendo o equilíbrio mecânico do sistema. Em seguida a etapa de moagem, uma sequência de até 6 ternos de moendas com três cilindros ajustados com pressões de esmagamento diferentes.

Pesquisas no campo da fisiologia da cana-de-açúcar, a partir da segunda metade do século XX, possibilitaram os principais avanços na concepção dos novos equipamentos para extração de sacarose. A atenção especial foi para o preparo da cana, etapa que precede a moagem, picadores de facas e desfibriladores (*shredders*) foram desenvolvidos a partir desses novos conhecimentos, proporcionando maior eficiência dos equipamentos de extração.

QUADRO 4.5: Comparativo de rendimentos agrícolas, industriais e agroindústrias médios das unidades em cada país

	1934/35			1940/41			1944/45		
	t/ha ¹	kg/t ²	kg/ha ³	t/ha ¹	kg/t ²	kg/ha ³	t/ha ¹	kg/t ²	kg/ha ³
<i>Pernambuco</i>	27	90	2.430	35	93	3.255	35	97	3.395
<i>São Paulo</i>	32	96	3.072	34	92	3.128	38	94	3.572
<i>Brasil</i>	37	89	3.293	40	90	3.600	38	93	3.534
<i>Java</i>	122,2	116,1	14.221	136,9	126,5	17.253	-	-	-
<i>Cuba</i>	37,6	122,2	4.597	-	-	-	-	-	-
<i>Austrália</i>	42,8	138,8	5.950	51,7	144,9	7.497	-	-	-

Fonte: Adaptada de RAMOS (1999, p. 114).

Notas: ¹ t/ha rendimento agrícola; ² kg/t rendimento industrial (kg de açúcar/t de cana processada); ³ kg/há rendimento agroindustrial (kg de açúcar/há de cana plantado).

4.2 A evolução da agroindústria canavieira do Brasil e o ambiente institucional setorial entre 1930 e 1990

A década de 1930 foi marcada por uma profunda crise na economia açucareira mundial e por inúmeros acordos com a finalidade de se estabilizar a produção mundial de açúcar, mantendo-se o equilíbrio entre a oferta e o consumo²⁶. No Brasil, a grave crise internacional manifestou-se com menos intensidade uma vez que nossa produção era voltada, basicamente,

²⁶ O principal acordo internacional da década foi o de Chadbourne de maio de 1931, buscando regular a produção mundial de açúcar para equilibrá-la com o consumo. Nele os países produtores de açúcar de beterraba se comprometeram a eliminar a política de prêmios diretos e indiretos à produção e exportação, assim asseguravam-se condições favoráveis à competição do similar de cana produzido principalmente por Cuba e Java. A não-adesão de importantes produtores ocasionou a extinção do acordo em 1935, portanto antes do tempo previsto. Isso levou à busca de entendimentos multilaterais que acabaram no Acordo Internacional de Açúcar de 1937, visando: equilibrar a oferta e a demanda, promover e expandir o consumo a preços remuneradores aos produtores e compatíveis aos consumidores (RAMOS, 2007, p. 5-11).

para o mercado interno e não sofria a concorrência com o açúcar de beterraba. No contexto doméstico, o problema internacional desencadeou uma crise de superprodução causada pela luta de produtores nacionais pelo domínio do mercado interno. A disputa entre usineiros nordestinos e paulistas pelo mercado consumidor de São Paulo fez com que o estoque de açúcar aumentasse, derrubando o preço. Como agravante, uma parcela da produção nordestina que até então se destinava a exportação, não encontrou preço fora do país e foi colocada no mercado interno, agravando ainda mais a situação interna (SOARE, 2001, p. 84-85)²⁷.

Quando se iniciou a década de 1930, São Paulo ocupava ainda a sexta posição no ranking nacional da produção de açúcar (quando se considera a dos engenhos e a das usinas) e a quarta posição quando se toma apenas a das usinas, ou seja, excluindo-se a produção dos engenhos, turbinadores ou não. Dados de então mostram que: i) entre as dez maiores usinas brasileiras, apenas uma era paulista (a recém re-equipada Usina Junqueira, localizada no município de Igarapava, na divisa com Minas Gerais); ii) das dez, seis eram pernambucanas e três alagoanas; iii) a maior usina cubana era capaz de moer uma quantidade sete vezes maior de cana do que as maiores usinas brasileiras (RAMOS, 1999, p. 75).

Mas São Paulo tinha importantes vantagens comparativas que permitiriam a partir de então uma inigualável expansão de sua produção de açúcar de usina: i) latifúndios com terras férteis e bem localizadas (quanto à infraestrutura de bens e serviços públicos), que estavam reservadas para a expansão cafeeira e que passaram a ser utilizadas para o cultivo de cana (de algodão etc.); ii) um mercado interno em franca expansão, devido tanto à migração interna como externa (ao contrário de Pernambuco, Alagoas e mesmo Rio de Janeiro); iii) como outra face disto, um processo vigoroso de industrialização e urbanização, com destaque para formação e expansão de novas atividades manufatureiras. Havia ainda outras vantagens, entre as quais as novas variedades de cana, introduzidas em decorrência do mosaico, doença que havia causado grande retração na produção local de cana e derivados entre meados e final da década de 1920.

Assim, o complexo quadro da economia paulista sinalizava claramente para o virtual fim das importações de açúcar que São Paulo fazia, ou seja, punha em risco a realização da maior parte da produção nordestina (pernambucana, em especial), que já havia perdido o mercado

²⁷ Quanto à diminuição dos volumes de açúcar exportados pelo Brasil, SZMRECSÁNYI (1979, p. 164-166) aponta que em 1920 o país exportava 23% do total produzido, já em 1925 esse valor cai para 0,4%, esse açúcar antes exportado foi colocado no mercado interno ajudando a aumentar os estoques nacionais. Segundo esse mesmo autor, os principais fatores para o retrocesso da exportação de açúcar Brasileira foram o açúcar de beterraba na Europa e a concorrência de outros países produtores mais tecnificados como Cuba e Java.

externo para as produções concorrentes de açúcar de cana de Cuba, de Java e de outras áreas, bem como para a produção de açúcar de beterraba européia.

Como resposta, o Estado cria em 1931 a “Comissão de Defesa da Produção de Açúcar”, com o objetivo de garantir o preço do produto no mercado doméstico através de estoques reguladores e da exportação de excedentes.

A intervenção do Estado na agroindústria canavieira foi consolidada com a criação, a partir do Decreto nº22.789 de 1 de julho de 1933, do Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA), uma entidade autárquica, com atribuições de planejamento e de intervenções na economia do setor. Essa intervenção foi instaurada sob forte apelo dos próprios produtores, dentre eles usineiros paulistas e nordestinos. A ameaça de ruína dessa economia devido à super produção, a queda do preço interno e das exportações, levaram representantes dos usineiros, dos proprietários de engenhos e dos fornecedores de cana a procurarem o Estado em pró da intervenção (SZMRECSÁNYI, 1979, p. 169-170)²⁸.

Na época, uma comparação entre os rendimentos que caracterizam a eficiência da agroindústria canavieira, exemplificados pelos dados do QUADRO 4.5, apontavam claramente para o maior nível tecnológico da localizada na ilha de Java, que foi ocupada pelos holandeses depois de sua expansão do Brasil. Lá foram feitas pesquisas e investimentos que permitiram o desenvolvimento de variedades de cana mais produtivas e ricas em sacarose.

Consolidada a intervenção, as medidas adotadas pelo IAA acabaram por ter um efeito contrário àquele que tinha por objetivo, o que se deu fundamentalmente em decorrência do advento da Segunda Grande Guerra. Isto porque o açúcar que vinha do Nordeste para São Paulo era transportado por cabotagem e a guerra submarina acabou levando à interrupção deste deslocamento. Contudo, como o órgão tinha a intenção de reestabelecer o comércio em questão quando terminasse o conflito, decidiu permitir apenas a montagem dos denominados “engenhos turbinadores”, ou seja, diminutas fábricas dotadas de equipamentos para produzir aquele bem. Elas não deveriam ser posteriormente ampliadas e/ou modernizadas, e, ao que tudo indica, esperava-se que viessem a desaparecer em decorrência do tempo e do processo competitivo. Mas não foi o que ocorreu: os usineiros paulistas e outros proprietários interessados em dinamizar a

²⁸ O claro objetivo da criação do IAA era definido no Artigo 4º do seu regulamento, que tem como teor: “Art. 4- Incumbe ao Instituto de Açúcar e do Alcool: a) assegurar o equilíbrio interno entre as safras anuais de cana e o consumo de açúcar, mediante aplicação obrigatória de uma quantidade de matéria prima, a determinar, ao fabrico do álcool; b) fomentar a fabricação do álcool anidro, mediante a instalação de destilarias centrais...”. (VELLOSO, 1955, V. 1, p. 86-87).

produção local liquidaram aquela intenção no contexto da redemocratização do País, que significou a derrubada de Vargas do Poder.

QUADRO 4.6: Distribuição dos tipos e números de fábricas produtoras de açúcar e de outros derivados da cana – dados da safra de 1939/40

Estado	Nº de fábricas	Características técnico-produtivas				
		Usinas c/ turbina	Engenhos c/ turbina	Engenhos de açúcar bruto	Engenhos rapadura	Destilarias aguardente
Paraíba	1.384	9	-	64	1.138	173
Pernambuco	1.917	69	-	636	1.166	46
Alagoas	822	32		464	231	95
Sergipe	243	88	-	117	1	37
Bahia	3.284	19	2	610	2.028	625
M. Gerais	29.645	28	103	5.692	23.765	57
Rio Janeiro	2.389	30	4	857	1.053	445
S. Paulo	3.918	36	149	913	981	1.839
Brasil	63.200	345	316	18.315	35.710	8.514

Fonte: MATTOS (1942, p. 109).

Os dados do QUADRO 4.6, relativos ao momento de início da Segunda Guerra, mostram que, nos estados nordestinos, predominava a presença de usinas com turbina. Em São Paulo, destacava-se a presença de engenhos com turbina e a da das destilarias produtoras de um outro derivado da cana: a aguardente. Mas é em Minas Gerais que existiam mais de vinte mil pequenos engenhos de rapadura e quase seis mil engenhos produtores de açúcar bruto, ou seja, que não produziam açúcar branco.

O principal instrumento da política planejadora e controladora era a distribuição das quotas de produção, seja por estado, seja por fábrica (detalhes a concepção, particularidade e alterações disto encontram-se na obra de SZMRECSÁNYI, 1979). O sistema de quotas servia tanto para regular o crescimento da produção quanto para planejar e equilibrar as relações entre as diversas regiões. A intenção do IAA era destinar para a economia nordestina a maioria das cotas. No entanto, os dados do QUADRO 4.7 mostram como era importante a distribuição das quotas entre Pernambuco e São Paulo e como, depois do final da década de 1950, este segundo estado passou a ser mais contemplado. Outros dados mostram que São Paulo ultrapassou Pernambuco como produtor de açúcar de usina pela primeira vez na safra de 1951/2. É importante lembrar que, principalmente a partir de então alguns usineiros paulistas passaram a adquirir terras e a montar fábricas em estados vizinhos.

Para este trabalho, o ponto central da intervenção estatal no setor está no fato de que, independente dos mecanismos utilizados sejam políticas de quota, preços, ou outras, as usinas ou engenhos de açúcar da época se beneficiaram de uma estabilização institucional da competição

entre produtores por mercados. Isso gerou um ambiente favorável a alocação de recursos financeiros por parte dos produtores, explicando em parte a expansão que essa atividade teve em São Paulo a partir de então.

QUADRO 4.7: Evolução das cotas de produção de açúcar – valores em porcentagem

Estados/Região	Safras				
	1935/36 ¹	1946/47 ²	1951/52 ²	1957/58 ¹	1963/64 ¹
Paraíba	1,9	1,9	2,7	1,9	1,4
Pernambuco	37,6	37,7	29,5	26,6	22,7
Alagoas	11,0	12,3	10,7	8,7	8,4
Sergipe	6,7	6,0	4,9	4,2	2,8
Bahia	5,8	1,3	5,1	3,9	2,8
outros	0,4	0,8	1,0	1,0	0,9
<i>Norte - Nordeste</i>	<i>63,4</i>	<i>60,0</i>	<i>53,9</i>	<i>42,1</i>	<i>36,8</i>
Minas Gerais	2,9	3,7	5,8	5,2	4,4
Rio de Janeiro	16,9	16,8	16,6	13,1	11,9
São Paulo	17,4	17,6	21,5	31,6	40,8
outros	-	1,9	2,2	8,0	6,1
<i>Centro-Sul</i>	<i>37,2</i>	<i>40,0</i>	<i>46,1</i>	<i>57,9</i>	<i>63,2</i>
<i>Total</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>

Fontes: ¹ Adaptado de: SZMRECSÁNYI, T. (1979, p 194; 248; 266).

² VELLOSO (1955, V.1, p. 144; 366).

A partir da década de 1940, observou-se um relativo equilíbrio entre a produção e o consumo de açúcar, que em grande parte foi resultado das políticas intervencionistas do Estado que: restringiram a produção por quotas e direcionaram os excedentes de açúcar para a exportação subsidiada e para a produção de álcool-combustível. Esse equilíbrio foi interrompido com a entrada do Brasil na II Guerra, que intensificou as atividades industriais internas, principalmente em São Paulo, ocasionando um aumento da população urbana e no crescimento na demanda por açúcar neste estado.

QUADRO 4.8: Evolução da participação das quotas de produção e açúcar de São Paulo, Pernambuco no total nacional – valores em sacas de 50 kg

Região	Safras									
	1935/36 ¹		1946/47 ²		1951/52 ²		1957/58 ¹		1963/64 ¹	
	sacas	% Br								
SP	2.067.863	17,5	5.000.000	22,3	7.710.667	23,8	15.084.701	31,6	30.010.807	40,7
PE	4.450.193	37,6	6.400.529	28,5	9.360.287	28,9	12.717.932	26,6	16.641.622	22,6
Brasil	11.846.695		22.471.207		32.381.595		47.749.372		73.650.527	

Fontes: ¹ Adaptado de: SZMRECSÁNYI, T. (1979, p 194; 248; 266).

² VELLOSO (1955, V.1, p. 144; 366).

Um outro agravante foi a dificuldade do comércio de cabotagem entre o Nordeste, principal produtor de açúcar, e o Sudeste consumidor o que provocou um desabastecimento desse mercado. Por conta disso, o Estado autorizou um aumento da quota das usinas paulistas e a liberação de instalação de novas unidades²⁹.

O QUADRO 4.8 apresenta dados entre as safras de 1935/36 a de 1946/47, verifica-se um aumento de 17,5% para 22,3% na quota de participação de São Paulo no total nacional, em valores absolutos essa variação foi de 2.067.863 sacas em 1935/36, para 5.000.000 de sacas em 1946/47, um crescimento de mais de 141% na fabricação de açúcar. A participação percentual de Pernambuco no total da produção nacional variou de 37,6% em 1935/36 para 28,5% em 1946/47, em termos absolutos cresceu 43,8%, ou seja, de 4.450.193 para 6.400.529 sacas de 50kg. Neste mesmo período, a produção nacional de açúcar estipulado na política de quotas cresceu em torno de 89,7%, variando de 11.846.695 para 22.471.207, em termos percentuais mais que a pernambucana e menos que a paulista.

O QUADRO 4.6 apresenta um perfil técnico resumido das unidades produtoras de açúcar na safra de 1939/40 em vários estados do Brasil. Verifica-se um número maior de engenhos de açúcar bruto e de rapadura, em relação as unidades com maquinaria para processar a cana-de-açúcar. Particularmente em São Paulo, do total de unidades de produção apenas 185 possuíam algum tipo de maquinaria a vapor para acionar seus equipamentos mecânicos de extração, isso representa menos de 5% do total.

Sem entrar em detalhes estatísticos, pode-se concluir também que grande parte do açúcar do estado foi produzido nessa poucas unidades mais tecnificadas, principalmente nas 36 usinas. Porém, o fato em questão aqui é que, no caso de São Paulo, muitos desses engenhos com baixo emprego técnico tornaram-se usinas, por conta do leque de oportunidades que se abriu para o setor canavieiro em São Paulo, a partir da década de 1930. Isso representou a partir das décadas de 1940, uma demanda potencial crescente de máquinas e equipamentos para modernização dessas unidades processadoras de cana-de-açúcar que, como será tratado no item a seguir, foi muito bem recebida pelo setor de bens de produção desse estado, que se desenvolveu efetivamente a partir dessa modernizações.

²⁹ A Resolução nº125 de dezembro de 1946, no seu Artigo 2º determinou: “Art. 1º - Fica elevada para 23.000.000 (vinte e três milhões) de sacos de 60 quilos a quota geral de produção de usina do país. Art. 2º Na concessão dos aumentos de quotas a serem atribuídas aos Estados [...] serão reajustados em 120 dias efetivos de trabalho as quotas das usinas dos Estados da Paraíba, Rio de Janeiro, Minas Gerais e São Paulo. Art 3º - Procedidos os reajustes de que cogitam o artigo anterior, o saldo resultante será distribuídos entre os demais Estados produtores...”. (VELLOSO, 1955, V. 2, p. 143-144).

A Resolução nº 501 de fevereiro de 1951 instituiu um novo arranjo nas quotas de participação na produção de açúcar do país, aumentou a participação do Estado de São Paulo no total geral, autorizou a instalação de novas usinas e criou um quota especial destinada à produção de álcool direto, correspondente a 10% da quota geral de produção de açúcar (VELLOSO, 1955, p. 359-363). Essa resolução incrementou a produção geral nacional do regime de cotas em aproximadamente 10.000.000 sacos de 60 kg entre os estados produtores, ocasionando um reflexo imediato na agroindústria canavieira paulista, tanto na ampliação no número de usinas, quanto da fabricação de álcool.

No período compreendido entre as safras de 1946/47 e 1951/52, conforme o QUADRO 4.8, nota-se um incremento menor na participação da quota de São Paulo no rateio da produção nacional de açúcar, de 22,3% para 22,8%, porém maior que de Pernambuco que praticamente ficou estável, variou de 28,5% para 28,9%. Em termos absolutos, a quota de produção paulista subiu 54,2 %, aproximadamente 2.701.667 sacas, enquanto que a de Pernambuco variou 46,2%, subindo em 2.959.758 sacas; e a nacional em 44,1%, com um acréscimo de 9.910.388 sacas de 50 kg.

A década de 1950 foi marcada pela consolidação do estado de São Paulo como o maior produtor nacional de açúcar. O IAA através de sucessivas resoluções passou a rever periodicamente as quotas paulistas da produção de açúcar, de modo a atender as necessidades do mercado consumidor do Centro-Sul. Desta forma, os usineiros de São Paulo aumentaram consideravelmente suas produções e, ao mesmo tempo, expandiram suas unidades agroindustriais em todo o estado incorporando, até mesmo, áreas fronteiriças próximas ao Paraná, Minas Gerais e Mato Grosso.

A década de 1960 iniciou-se com um aumento nas exportações do açúcar nordestino, isso só foi possível devido a exclusão de Cuba do Mercado Preferencial (MP) americano e a abertura ao Brasil do Mercado Livre Mundial. Diversas medidas foram tomadas pelo IAA para estimular a produção e a exportação de açúcar. Dentre as principais, foi criada a Divisão de Exportação do IAA e implantado o Plano de Expansão da Indústria Açucareira Nacional, focando a ampliação da produção através da implantação de novas usinas e do aumento do rendimento agrícola³⁰.

³⁰ Conforme SZMRECSÁNYI, (1979, p 453-455), o Plano de Expansão de 1964 tinha por objetivo promover o aumento a capacidade produtiva do sub setor, bem como melhorar seus índices de rentabilidade agrícolas e industriais. Tais objetivos seriam alcançados com a modernização das lavouras, o aumento da escala de produção das usinas, e a instalação de novas unidades. Esse autor conclui que os objetivos não foram alcançados, muito pelo contrário, apresenta dados que confirmam uma evolução negativa nos índices de rendimentos agrícolas e industriais durante o período de 1965/66 e 1970/71. Por fim, confirma que o único objetivo alcançado foi o aumento da escala

É verdade que a década de 1970 foi iniciada com exportações e seus preços em níveis bem maiores, o que estimulou novas medidas expansionistas para o setor. Contudo, estes movimentos altistas logo se reverteram, pois faziam parte da grande especulação mundial com *commodities* que ocorreu na época. O importante é lembrar que entre as principais medidas estavam as que estimulavam a concentração fundiária e industrial que se fez presente no primeiro quinquênio daquela década. Novamente, além do crescimento extensivo, o IAA preocupou-se com um crescimento intensivo, ou seja, com a elevação dos rendimentos da agroindústria canavieira nacional, bem como com outros aspectos. Essas medidas objetivaram tornar a produção de açúcar brasileiro mais competitiva e recuperar essa atividade econômica da crise durante a década passada. Dentre essas medidas destaca-se o Decreto Lei nº1186 que favorecia a fusão, relocação e incorporação de unidades industriais açucareiras. Em relação aos objetivos do Decreto Lei nº1186:

“Tais objetivos deveriam ser alcançados através da economia de escala decorrentes da concentração empresarial, via absorção de quotas de outras usinas e de fornecedores, e realocização dos estabelecimentos agroindustriais em áreas de ecologia e de infraestrutura mais favorável” SZMRECSÁNYI (1979, p. 298).

Para proporcionar um aumento na produção agrícola canavieira, o governo federal instituiu na década de 1970 o Programa Nacional de Melhoramento da Cana de Açúcar, o Planalsucar e o Programa de Racionalização da Agroindústria Canavieira. Como efeito desses programas, na safra de 1971/72 o Brasil passou a ser o primeiro produtor mundial de açúcar centrifugado de cana, o segundo exportador mundial e o único país a possuir uma capacidade instalada de produzir o equivalente a 2 milhões de toneladas métricas de açúcar em uma única safra (MORAES, 2000, p. 58-59).

Em 1975 foi criado o Programa Nacional do Álcool (Proálcool), com o objetivo de expandir a produção do álcool anidro para ser consumido em mistura com a gasolina (algo que já ocorria desde 1931); posteriormente, ampliou-se a produção de álcool hidratado para ser consumido isoladamente como combustível. Desta forma o país poderia substituir parte da gasolina importada, utilizando para tanto a capacidade produtiva das usinas que tinha ociosidade em decorrência dos investimentos estimulados anteriormente. Muitas delas não tinham destilarias anexas. Contudo, boa parte da produção, principalmente de álcool hidratado, passou a advir das

média de produção das usinas em 67%. Porém, reitera que esse aumento não foi devido somente ao Plano, mas também a crise econômica de 1964, “...a qual acelerou o fechamento de muitas usinas deficitárias”.

destilarias autônomas que foram montadas principalmente depois do segundo choque dos preços do petróleo, em 1979.

No pacote de incentivos do Proálcool destacaram-se subsídios creditícios para: a instalação de destilarias autônomas e anexas em usinas; expansão da área plantada com cana-de-açúcar; ampliação e modernização técnica das destilarias e usinas em operação; e a construção e ampliação de sistemas de armazenagem (tancagem). A maioria dos créditos oferecidos no período foram utilizados por usinas e destilarias em São Paulo, principal mercado consumidor de álcool do país, o que beneficiou diretamente a expansão e modernização do parque produtivo do estado.

O Proálcool entrou em crise aberta depois de 1985, em decorrência da reversão do movimento dos preços do petróleo (que havia sido iniciada em 1982/3), das crises das finanças públicas (federal e estaduais) e dos desmandos e desvios que se fizeram presentes. Pode-se dizer que em 1989/90 ele recebeu o golpe de misericórdia: faltou álcool hidratado nos postos de abastecimento e o mote propagandístico “Carro a álcool: Você ainda vai ter um” transformou-se em uma aparente ameaça.

Tais acontecimentos, aliados a muitos outros, de natureza econômica, ideológica e política, inclusive as decorrentes de estereótipos da sociedade brasileira, levaram à extinção do IAA em março de 1990, embora ele já estivesse sendo esvaziado de suas atribuições desde o Proálcool e sua sustentação financeira já vinha debilitada desde meados da década de 1980, por razões que não necessitam ser aqui mencionadas.

A preocupação do IAA em elevar os rendimentos da agroindústria canavieira nacional fazia todo sentido, pois, como mostram os dados do QUADRO 4.9, eles, em meados da década de 1970, ainda eram bem menores do que os que eram obtidos em outros países que possuíam agroindústrias congêneres, como a Austrália e a África do Sul. Mesmo a lavoura e o processamento da cana (atividade que inclui a extração do caldo) em São Paulo, estado considerado o mais avançado tecnologicamente, não apresentavam rendimentos competitivos em relação aos alcançados naqueles países ou nos EUA.

Por fim, depois de analisadas as vantagens posteriores advindas de políticas adotadas no período de intervenção, fica claro entender por que São Paulo foi o principal beneficiado em termos de expansão da produção canavieira a partir da criação do IAA. Resta agora analisar quais foram os reflexos dessa expansão no surgimento de firmas produtoras de máquinas e equipamentos para esse setor, mais especificamente o caso da Dedini, e como essa firma consolidou uma trajetória tecnológica baseada no sistema de moendas para a extração de

sacarose, em detrimento a outra tecnologia até então disponível e utilizada em outros centros canavieiros do mundo.

QUADRO 4.9: Rendimentos agrícola, industrial e agroindustrial de alguns países, do Brasil e de São Paulo - safra 1974/75

País	Rendimento Agr. (tc/ha)	Rend. Ind. (kg aç./t)	Rend. Agroind. (kg açúcar/ha)
Austrália	87,14	135,2	11.781
África do Sul	91,00	121,2	11.029
EUA	83,43	109,3	9.119
Maurício	74	113	8.362
Egito	63	128	8.064
R. Dominicana	88	85	7.480
México	65,8	100	6.585
Filipinas	56	96,4	5.398
Índia	51,1	105,6	5.393
Argentina	52	84	4.368
Cuba	53,97	77,2	4.166
Brasil	41	90,2	3.698
São Paulo	55	91,4	5.027

Fonte: RAMOS (1999, p. 165).

4.3 O surgimento e expansão da indústria produtora de máquinas e equipamentos para o processamento da cana no Brasil

Este item o objetivo de discutir, dados os condicionantes levantados no tópico anterior, o que levou o surgimento das primeiras firmas nacionais especializadas em construir máquinas e equipamentos para a agroindústria canavieira em São Paulo e por que o sistema de moendas foi dominante nesse setor até meados da década de 1990.

A literatura disponível sobre a agroindústria canavieira do Brasil registra o fato de que, em Pernambuco, em 1829, surgiu a “Fundição Aurora” que “*não somente fabricava as peças necessárias para os engenhos a vapor e realizava consertos na maquinaria, como também chegou a fabricar e montar, em 1836, um maquinismo completo, movido a vapor, no Engenho Caruna (Jaboatão)*”. Logo em seguida o autor observa que tal fábrica (assim como outras) desapareceu ainda naquela época em decorrência do seguinte:

“Inspirado num liberalismo prejudicial aos nossos interesses e diverso do que faziam os norte-americanos pela época (então, fortemente protecionistas), o governo de D. PEDRO II concedia todas as facilidades às importações, ao mesmo tempo em que asfixiava com exigências fiscais e tributárias a exportação das peças fabricadas no Nordeste, forçando as

indústrias nacionais a fechar as portas, batidas pela concorrência britânica” (BRANDÃO, 1985, p. 150).

As importações de equipamentos para a fabricação de açúcar no Brasil continuaram existindo e crescendo até o final da década de 1920, como mostram os dados do QUADRO 4.10. Os valores referentes a tais importações sofreram uma grande queda em decorrência da crise de 1929, e, até 1937/8, eles não mais alcançaram os níveis que haviam atingido durante aquela década. Os fornecedores externos de máquinas e equipamentos eram franceses (como a Fives-Lille); britânicos (como a John McNeil & Cia. Ltd.) e americanos (como a Farrel Corp.), dentre outros com larga experiência industrial e detentores das tecnologias de fabricação e, principalmente, das patentes.

Conforme SUZIGAN (2000, p. 226), até meados de 1910 os baixos preços internacionais do açúcar teriam desencorajado os investidores interessados na instalação e ampliação de fábricas no Brasil, o que justificou (em parte) o pouco crescimento no volume de importação de máquinas e equipamentos. A partir de 1912 e especialmente durante e imediatamente após a I Guerra Mundial, os preços do açúcar elevaram-se, as exportações nacionais aumentaram em decorrência da diminuição da produção de açúcar de beterraba na Europa. Contudo, o mercado interno de açúcar estava crescendo significativamente em decorrência principalmente da imigração. Mas isto não impediu o impacto da grande crise de 1929, que se fez sentir tanto no mercado externo de café, cuja produção nacional concentrava-se em São Paulo, como no do açúcar, cujo maior produtor era Pernambuco.

A crise de 1929 afetou mais diretamente a agroindústria canavieira nordestina, preponderantemente exportadora, que a paulista, que a partir de 1933 pode gradativamente incrementar sua produção em termos relativos e absolutos, diminuindo sua dependência do açúcar importado do Nordeste. Com a regulamentação do IAA, o incremento de produção paulista demandou um acelerado processo de modernização dos pequenos e rudimentares engenhos de cana-de-açúcar instalados no estado, e da construção de novas usinas³¹.

Como o cenário macroeconômico nacional inviabilizava a importação de máquinas e equipamentos para esse setor, iniciou-se um processo de substituição de importação que abriu a

³¹ As fábricas de açúcar em operação em São Paulo durante o início do século XX tratavam-se, na sua maioria, de engenhos montados com máquinas e equipamentos já depreciados, antigos e incapazes de conferir uma rentabilidade adequada. Durante o período de crise cafeeira, observou no Estado de São Paulo a ampliação de pequenos engenhos. Essas unidades agroindustriais eram montadas por fazendeiros de café ou por grupos ligados ao comércio de açúcar, que se beneficiaram das melhorias de infra-estrutura advinda da atividade cafeeira como: ferrovias, portos e estradas; e da momentânea estabilidade da expansão dos cafezais, o que disponibilizou terras para o plantio da cana-de-açúcar RAMOS (1991, p. 80).

possibilidade de colocação de produtos nacionais. Logo, algumas pequenas oficinas mecânicas, metalúrgicas e fundições, passaram por um processo de expansão, vindo a constituir um o início de um setor de bens de produção em São Paulo.

A crise de 1929 foi fundamental para o surgimento de uma indústria nacional de máquinas e equipamentos para a agroindústria canavieira. As dificuldades com o Balanço de Pagamentos causaram uma forte depreciação cambial, elevou o custo das importações e acarretou o declínio nos investimentos em todos os setores da indústria manufatura nacional (SUZIGAN, 2000, p. 93). O Decreto Lei nº 19.739, de março de 1931, com a justificativa de: i) conter a crise no país; ii) equilibrar a produção e o consumo interno de bens manufaturados; iii) incentivar a industrialização nacional, dispôs que:

“Artigo 2º - É proibida, pelo prazo de três anos, a partir da data da publicação do presente decreto, a importação de máquinas, aparelhos, ou instrumentos fabris, destinados à indústria manufatora já existente no país, e cuja produção, a juízo do Governo, for considerada excessiva” (VELLOSO, 1955, V.1, p. 15).³²

Foi em Piracicaba, principal município açucareiro paulista da época, que surgiu a primeira fabricante daqueles bens. Sua origem foi uma pequena oficina de fabricação e reparo de implementos agrícolas, que havia sido adquirida em 1920 pelos irmãos Armando e Mário Dedini. Este último era técnico de açúcar de beterraba na Itália e, tendo imigrado para o Brasil em 1914, passou a trabalhar na Usina Santa Bárbara (município de Santa Bárbara D’Oeste), uma grande fábrica que havia sido montada em 1913. Tendo ocupado nela os cargos de gerente e chefe geral, Mário Dedini foi estimulado posteriormente pelos proprietários, dadas as dificuldades com a importação, a dedicar-se integralmente às atividades de fabricação e reforma de peças e equipamentos para as usinas e engenhos da região.

Em 1932 as “Oficinas Dedini” deu seu grande salto de aprendizagem, em decorrência do fato de que Pedro Ometto (da família que já era proprietária de alguns sítios na região) adquiriu os equipamentos (de fabricação estrangeira) de uma usina do Rio de Janeiro que havia fechado devido às dificuldades decorrentes da queda dos preços do açúcar. Tais equipamentos foram transportados para a oficina, reformados e instalados em uma pequena fábrica e gerou a primeira safra de açúcar da família Ometto. É importante destacar que a cota autorizada (já existente em São Paulo) pelo IAA era de 16.000 sacas, mas *“tiveram muita sorte, pois foi*

³² Em 1933 o Decreto Lei nº 23.486 ratificava a restrição à importação de máquinas e equipamentos para a indústria nacional. Uma Circular do IAA, publicada em 10 de dezembro de 1938, criou as normas referentes à isenção de direitos de importação para materiais destinados às usinas de açúcar e destilarias de álcool no país, principalmente equipamentos e instrumentos de laboratório. (VELLOSO, 1955, p. 187; 336-337).

alterada a legislação e os Ometto puderam registrar como cota as 25.000 sacas que tinham efetivamente produzido” (GORDINHO, 1986, p. 72/3).³³ Durante a década de 1940, uma das filhas de Mário Dedini casou-se com um filho de Pedro Ometto.

Não é necessário estender os comentários e citações para deixar devidamente claro que, assim, constituiu-se uma simbiose de interesses (pessoais e setoriais), que permitiram o aproveitamento de oportunidades, originadas por uma evolução econômica que se tornou, simultaneamente, favorável às duas produções e que levaram São Paulo à liderança da produção nacional de cana, açúcar e de álcool. Com o tempo, consolidou-se uma estrutura e uma institucionalidade (tratava na parte anterior) que passaram a ser consideradas também de interesse nacional. Segundo NEGRI (1977, p. 185), foi durante o período de 1929 e 1945 a Dedini passou por um processo de transformação, ganhando mercado, ampliando sua linha de produtos e sua escala de produção³⁴.

A política adotada pelo IAA em liberar paulatinamente cotas de produção de cana-de-açúcar, açúcar e álcool para os estados, com a finalidade aparente de regular os desequilíbrios constatados nesse mercado, fez com que os engenhos e usinas paulista necessitassem de incrementos constantes no processamento da cana e na produção de açúcar.

A partir de então, decretos lei, resoluções, normas e outros tipos de manifestações legais por parte do Estado foram os instrumentos utilizados para a intervenção no setor, regulando diretamente os níveis de produção das usinas, e indiretamente o processo de expansão da produção com a substituição de máquinas e equipamentos. Isso representou para a recém criada indústria paulista de máquinas e equipamentos para o processamento da cana-de-açúcar duas vantagens fundamentais para sua consolidação três décadas mais adiante³⁵.

Primeiramente um mercado cativo em franco crescimento, ou seja, uma expansão fortemente caracterizada na substituição de máquinas e equipamentos com uma tecnologia já obsoleta e de domínio público, por outra similar, com diferença apenas na escala do equipamento.

³³ A formação dos grupos familiares da agroindústria canavieira paulista encontra-se relatada em RAMOS, 1999, Capítulos 1 e 2.

³⁴ Esse período, conforme NEGRI (1977), foi de “aprendizado” da técnica de produzir equipamentos para atender a demanda das usinas paulistas que estavam em expansão. A produção de moendas e de outros equipamentos a partir dos anos de 1930 pela Dedini implicou apenas em uma adaptação da tecnologia disponível e de domínio público, portanto não representando u grande avanço para o desenvolvimento tecnológico desse setor.

³⁵ Em 1933 o Decreto Lei nº 23.486 ratificava a restrição à importação de máquinas e equipamentos para a indústria nacional. Uma Circular do IAA publicada em 10 de dezembro de 1938, burocratizou os processos referentes a isenção de direitos de importação para materiais destinados às usinas de açúcar e destilarias de álcool no país (VELLOSO, 1955, p. 187; 336-337).

A preocupação das usinas contempladas com ampliação da sua quota de participação no mercado em ampliar sua capacidade de esmagamento, o que necessariamente não representava melhoria na sua eficiência de extração (relação açúcar fabricado por tonelada de cana processada).

Em segundo lugar, a política de regulação adotada, criou um mercado cativo, minimizando os riscos que os empresários produtores e reformadores de máquinas e equipamentos enfrentaria, o que incentivou a adoção de políticas comerciais agressivas, como foi o caso das utilizadas pela Dedini.

QUADRO 4.10: Valores das importações de máquinas e equipamentos para produção e refino de açúcar por firmas nacionais – valores em libras inglesas (preços de 1913)

Períodos	Valores (libras)	Períodos	Valores (libras)
1890-91	5.794	1917-18	66.125
1892-94	6.426	1919-20	157.433
1895-97	14.833	1921-22	226.907
1898-00	1.069	1923-24	217.481
1906-09	10.207	1925-26	220.461
1906-07	10.866	1927-28	222.100
1908-09	30.322	1929-30	457.145
1910-11	36.030	1931-32	47.047
1912-13	86.089	1933-34	124.921
1910-14	31.160	1935-36	81.775
1915-16	29.803	1937-38	116.190

Fonte: SUZIGAN (2000, Apêndice 1).

A indústria açucareira paulista apresentava uma escala de produção e um perfil técnico das suas unidades, na média, muito inferior às fábricas instaladas no Rio de Janeiro e no Nordeste, principalmente as de Pernambuco e de Alagoas. Aliado a esse fato, São Paulo possuía pequenas e pouco tecnificadas fábricas com grande potencial de expansão, o que demandou máquinas e equipamentos, que para os padrões dos grandes centros internacionais, já se encontravam obsoletas, com sua tecnologia em domínio público. Tratavam-se de máquinas e equipamentos que puderam ser reformados ou fabricados pelas pequenas oficinas que já atendiam o setor açucareiro paulista, principalmente na região de Piracicaba, como é o caso da Dedini, sem que os usineiros dependessem de fornecedores externos.

QUADRO 4.11: Relação dos tamanhos de moendas fabricadas pela Metalúrgica Dedini entre 1926 e 1990 e respectivas capacidades de esmagamento

Dimensão	Início da fabricação	Origem da tecnologia	Cap. de esmagamento (TC/dia)
8"x12" até 16"x24"	1926/28	Dom. Público	-
18" x 30"	1929	Dom. Público	450
20" x 30"	1935/36	Dom. Público	800
20" x 36"	1936	Dom. Público	1.000
24"x48" até 26"x48"	1941/42	Dom. Público	2.500
30" x 54"	1848/49	Dom. Público	3.500
37" x 72"	1952	Dom. Público	7.000
37" x 78"	1953/54	Dom. Público	8.000
34" x 66"	1960/61	Dom. Público	5.500
42" x 84"	1975	Própria	11.000
46" x 84"	Década de 1980	Própria	18.000

Fonte: RAMOS (1983, p. 25) e Dedini Indústrias de Base S.A.

A Dedini foi a fabricante nacional de equipamentos para o setor sucroalcooleiro beneficiada pela expansão da atividade em São Paulo a partir da década de 1930. Na dissertação de mestrado, NEGRI (1977) faz um relato da história dessa firma, desde a sua fundação no final da década de 1920 até a década de 1975, quando se consolidava como Grupo Dedini, um conjunto de várias firmas que fabricavam máquinas e equipamentos para todas as etapas da fabricação de álcool e açúcar, entre outras.

Não cabe neste trabalho entrar em detalhes sobre o crescimento e a consolidação da Dedini como fabricante para o setor sucroalcooleiro. Preocupo-me apenas em apontar resumidamente, como a expansão e a forma de atuação desse grupo foi importante para a evolução do parque sucroalcooleiro paulista, e qual a sua influência na opção tecnológica dos sistemas de moenda em detrimento a difusão.

O primeiro ponto a considerar diz respeito à política de quotas do IAA, adotada durante todo o período de intervenção. Os dados apresentados no QUADRO 4.12 indicam um processo de concentração técnica na produção paulista, ou seja, um aumento no tamanho médio das usinas e destilarias paulistas. A Dedini acompanhou a necessidade das usinas e engenhos em se modernizarem, o QUADRO 4.11 mostra a especificação técnica das moendas construídas pela Dedini desde a década de 1920, nota-se que a capacidade de processamento desses equipamentos aumenta à medida que se exige uma maior produção das usinas paulistas. O sistema de extração por moendas permite essa flexibilidade produtiva, ou seja, pequenos ajustes de ordem técnica, ou

apenas no tamanho do equipamento (escala), fazem com que os níveis de processamento de cana-de-açúcar aumentem significativamente.

QUADRO 4.12: Evolução no número de destilarias autônomas e usinas instadas em São Paulo

Safras	Produção de açúcar			Produção de álcool		
	nº usinas	sacas (60 kg)	média	nº dest.	mil litros	média
1930/31	23	1.108.510	48.196	13	5.024,0	386,5
1935/36	33	2.032.083	61.578	29	14.943,7	515,3
1940/41	34	2.464.064	72.472	33	30.099,8	912,1
1945/46	42	2.916.630	69.444	45	37.501,6	833,4
1950/51	79	6.729.784	85.187	68	55.755,4	819,9
1955/56	92	11.766.040	127.892	78	132.078,7	1.693,3
1960/61	94	23.073.077	245.458	79	263.510,6	3.335,6
1965/66	97	42.089.184	433.909	80	401.134,6	5.014,2
1970/71	92	40.751.583	442.952	81	437.176,5	5.397,2
1975/76	79	47.822.209	605.344	69	362.285,9	5.250,5
1980/81	73	64.039.125	877.248	85	2.607.895,0	30.681,1
1982/83	74	71.672.330	968.545	112	3.814.611,0	34.059,0

Fonte: Adaptado de RAMOS (1983, p. 52-53).

QUADRO 4.13: Demonstrativo de equivalência entre capacidade de moendas e de caldeiras utilizadas por usinas brasileiras – referência de 1939/40

Processamento de cana		Moendas		Caldo (hect/h)	Caldeira (HP)
tc./dia	tc./h	nº rolos	dimensão		
50	2,1	3	16"x24"	14,58	80
75	3,1	3	18"x26"	21,10	120
100	4,2	3	18"x36"	29,16	160
200	8,3	3	24"x42"	43,75	320
300	12,5	6	24"x42"	72,90	480
500	20,8	11	26"x48"	116,64	800
800	33,3	11	30"x54"	233,29	1.280
1.000	41,7	14	30"x60"	291,60	1.600
1.200	50,0	14	30"x72"	349,94	1.920
1.400	58,3	14	32"x72"	408,26	2.240
1.600	66,7	14	34"x76"	466,59	2.560
1.800	75,0	14	36"x72"	524,91	2.880
2.000	83,3	14	36"x84"	580,24	3.200

Fonte: Adaptado de MATTOS (1942, p. 113-114).

Essa é a principal vantagem comparativa do sistema de moendas frente ao difusor durante todo o período de regulação do IAA. Apesar de apresentar coeficientes de extração de sacarose inferior ao difusor, o sistema de extração com moendas é flexível, permite a partir de ajustes comparativamente rápidos, ou através da disposição adicional de um ou mais ternos de moendas, respostas significativas no aumento da capacidade de esmagamento. Logo, tornou-se um sistema

muito eficaz frente à desordenada política de ajustes de quotas no país. Essa flexibilidade de produção do sistema de moendas pode ser verificada no QUADRO 4.13.

Um segundo ponto diz respeito à política comercial adotada pela Dedini, que não somente objetivava ampliar seu mercado, mas também atuava no ritmo da necessidade de modernização e de concentração da agroindústria canavieira paulista. A construção e instalação por parte da Dedini de moendas de maior capacidade, como aponta o QUADRO 4.11, não necessariamente eliminava um equipamento mais obsoleto. Na sua estratégia de venda, os equipamentos substituídos, mesmo que obsoleto e danificado, era devidamente reformado e oferecido à venda para equipar usinas menores ou mesmo engenhos. Essa técnica utilizada em sua oficina, um claro emprego do sistema *learning-by-doing*, era baseada na reprodução de equipamentos com origem americana e européia já obsoletos e de domínio tecnológico público, e na sua experiência de construção mecânica adquirida quando trabalhou na Usina Santa Bárbara (NEGRI, 1977, p. 12-13).

Este é um aspecto fundamental a destacar quanto à simbiose há pouco referida estava relacionada ao que foi observado no final da parte anterior quanto ao tamanho das fábricas que foram sendo montadas em São Paulo durante e após a Segunda Grande Guerra. As usinas paulistas tinham um tamanho médio menor do que o das fábricas de Pernambuco. Isto foi algo bastante apropriado para o Grupo Dedini que, partindo da construção de pequenas moendas quando comparadas com as produzidas e oferecidas pelas concorrentes estrangeiras, pode ir introduzindo gradualmente a fabricação de outras maiores.

Já nos anos de 1940, as Oficinas Dedini haviam se transformado em um importante grupo econômico que reformava e fabricava moendas, caldeiras, destilarias e outros equipamentos de pequeno porte para o setor sucroalcooleiro³⁶. Essa empresa utilizava-se, por meio de um aprendizado interado com as necessidades dos clientes, uma metodologia que lhe permitiu conhecer as tecnologias empregadas no setor e através de uma engenharia reversa, dominar e replicá-la conforme sua necessidade comercial.

³⁶ Destacam-se aqui: Oficinas Irmãos Dedini fundada em 1920; MAUSA - fábrica de acessórios e equipamentos para fabricação de açúcar de 1943; CODISTIL – fabricante de destilarias para produção de álcool de cana-de-açúcar fundada em 1943; M. Dedini S. A. Metalúrgica (antiga Oficinas Irmãos Dedini) – usinagem e fabricação de componentes mecânicos de 1950; Siderúrgica Dedini – fabricação de laminados e perfis para construção civil de 1955; Cerâmica Dedini – materiais refratários fundada em 1952; Dedini Capellari – fabricante de transformadores e outros equipamentos elétricos, fundada em 1952; Caldeiraria Morlet – fabricante de equipamentos para usinas e destilarias de 1958; Motocana – máquinas e implementos para lavoura canavieira, fundada em 1959; e Administração e Participações Dedini – responsável pelo serviço administrativo, de 1958 (NEGRI, 1977, p. 105).

Uma outra prática comercial desse grupo empresarial era, por meio da formação de sociedades anônimas, das quais fazia parte do dono da empresa o senhor Mário Dedini ou um familiar próximo, tornar-se sócio de usinas dando como capital integralizador parte dos equipamentos necessários para seu funcionamento. O QUADRO 4.14 apresenta as usinas nas quais o Grupo Dedini teve participação acionária entre 1933 e 1960 (RAMOS, 1999, p. 133).

A principal vantagem dessa estratégia estava no fato de que, tornando-se sócio de algumas usinas, a Dedini garantiria um mercado cativo para seus serviços de manutenção de moendas e etc, e de reposição de peças e componentes durante a entre safra. E com a política de quotas do IAA, as unidades eram projetadas e construídas de maneira a permitir sua posterior ampliação na capacidade produtiva, o que evidentemente asseguraria um mercado para os produtos da Dedini.

Trata-se de um processo de aprendizado tecnológico caracterizado pelo *learning-by-using*, as usinas em que a Dedini possuía participação societária serviram também de laboratório de testes de novos equipamentos antes que os mesmos entrassem em linha de produção. Isso permitiu um completo amadurecimento em todas as etapas de fabricação de seus equipamentos, desde o projeto, instalação, testes e ajustes técnicos posteriores. Assim, a regulação do mercado, aliada a esse mecanismo de aprendizado possibilitou a Dedini, além de se destacar praticamente como monopolista no setor até meados da década de 1950, um incremento técnico em seus equipamentos, produzindo moendas com capacidade de processamento cada vez maior, o que ampliou seu mercado³⁷.

Outros equipamentos para a fabricação de açúcar e álcool, aos pouco entraram na carteira da Dedini: equipamentos para tratamentos de caldo, geradores a vapor, destiladores, filtros e evaporadores, na sua maioria desenvolvidos a partir de licenças ou de engenharia reversa, testados e adaptados em suas próprias unidades processadoras.

Durante a II Guerra Mundial a dificuldade em importar equipamentos mecânicos e a expansão do mercado consumidor de açúcar em São Paulo estimulou ainda mais a produção canavieira nessa região, incentivando a ampliação e a construção de novas usinas. O incremento na produção motivada por esses fatores fez com que o IAA ampliasse a quota das usinas paulistas, exigindo dessas uma flexibilização da sua capacidade de esmagamento de cana, uma característica peculiar do sistema de moendas. No período pós-guerra dotou-se no país uma

³⁷ Durante a década de 1950 foi fundada em Sertãozinho/SP por uma família de usineiros da região a Zanini, oficina especializada em caldeiraria e manutenção de máquinas e equipamentos para processamento de cana-de-açúcar. Apesar disso, a Zanini só começa a construir suas primeiras moendas na década de 1970, logo após esse período a Dedini atua como única fabricante nacional desse tipo de equipamento.

política de liberação de importação para máquinas e equipamentos, com o intuito de reequipar e modernizar a indústria nacional. A medida foi estendida ao setor sucroalcooleiro, tendo em vista a política do IAA de incentivar o aumento da produção para atender a demanda doméstica.

QUADRO 4.14: Usinas montadas entre 1933 e 1960 que tiveram o Grupo Dedini como acionista (ano da fundação ou ano em que o Grupo Dedini aparece como sócio)

Minoritário		Majoritário	
Usina/Município	Fundação	Usina/Município	Fundação
Nossa S. Aparecida/Itapira	1933	S. Francisco do Quilombo/Charqueada	1942
Costa Pinto/Piracicaba	1936	Bandeirantes/Bandeirantes/PARANÁ	1942
Da Barra/Barra Bonita	1946	Modelo/Piracicaba	1946
Santa Helena/Rio das Pedras	1951	Santana/Rio Claro	1954
São Jorge/Rio das Pedras	1952	Catanduva/Catanduva	1954
		São Luiz/Pirassununga	1960

Fonte: Adaptado de RAMOS (1983, p. 27).

Para NEGRI (1977, p. 41), no início da década de 1950 os produtores nacionais de açúcar e álcool não encontraram maiores dificuldades para trazer do exterior máquinas e equipamentos para ampliar a sua produção. Logo, aqui cabem duas perguntas. A primeira: Com a liberalização das importações para o setor sucroalcooleiro, e uma corrida de alguns produtores para modernizar suas fábricas, por que nenhum difusor foi trazido para o país durante esse período? E a segunda: Como se comportaram os fabricantes nacionais de máquinas e equipamentos para esse setor, especificamente a Dedini?

Respondendo inicialmente a primeira pergunta, como visto no Capítulo 3, esse equipamento era utilizado em outros centros canavieiros e apresentava vantagens comparativas significativas, ou seja, características que validariam sua implantação no Brasil, já na década de 1950. Porém, a intervenção do setor forçava um processo de gradual de ampliação da capacidade de processamento das usinas, regulado através da política de quotas. O difusor era, e ainda é, um equipamento com capacidade de processamento rígida, dada a sua configuração inicial, não permitindo que ajustes técnicos periódicos incrementem significativamente sua especificação nominal, resumidamente: inflexível comparado ao sistema de moenda.

Isso gerava uma certa insegurança por parte dos usineiros quanto a manutenção, peças de reposição, pessoal especializado, entre outras. Por fim, a Dedini, que praticamente monopolizava o fornecimento de máquinas e equipamentos para o setor, em momento alguns estimulou, adaptou, ou testou esse equipamento como alternativa ao processo de extração vigente. Muito pelo contrário, consolidou ainda mais os sistemas de moendas, fornecendo conjuntos cada vez maiores, com capacidade de esmagamento ampliada e manutenções cada vez mais especializadas.

Quanto à segunda pergunta, as restrições impostas pela II Guerra prejudicaram o transporte de cabotagem entre o Nordeste e São Paulo, desabastecendo esse que era o principal mercado consumidor de açúcar do país. Quanto ao comércio externo, a dificuldade de importação de combustível refinado diminuiu os níveis de estoque interno, elevando os preços desses produtos. Como resposta, o IAA ampliou a quota de produção para as usinas paulistas de álcool para substituir parte da gasolina importada, e de açúcar para suprir o consumo doméstico. Isso forçou uma ampliação no parque produtivo em São Paulo, demandando máquinas e equipamentos ainda durante a guerra, demanda esta que foi suprida a partir de oferta interna, principalmente do Grupo da Dedini. Assim, pode-se dizer que o Grupo Dedini foi beneficiado durante esse período por uma demanda cativa, intensificou seu ritmo de produção, diversificou seu portfólio de produtos, ajustando-se perfeitamente as condições de mercado imposta pelas circunstâncias RAMOS (1999, p. 130-133).

No final da década de 1950, a política de liberalização econômica havia impactado negativamente sobre as reservas internacionais, e o governo reintroduziu controles rígidos as importações menos essenciais. Na década de 1960, com a saída de Cuba do comércio internacional, a participação das exportações brasileiras desse produto foram ampliadas, exigindo uma nova flexibilização produtiva. Isso demandou novos investimentos e incrementos produtivos nas usinas brasileiras, beneficiando a participação da Dedini como fornecedora de tais equipamentos.

Além da construção, a Dedini instalava e prestava os serviços referentes à manutenção periódica na entre safra e assistência técnica durante a safra, tanto para seus equipamentos, quanto para as moendas de concorrentes. Na década de 1960 se consolidou como principal fornecedor de equipamentos industriais para usinas, aproveitando as oportunidades proporcionadas por uma estrutura de mercado concentrada, essa empresa de bens de capital vem historicamente, controlando a adoção tecnológica para extração de sacarose em um único paradigma baseado no sistema de moendas.

Porém, durante a década de 1950 surgiu uma empresa que, em pouco tempo, transformar-se-ia, virtualmente, na única concorrente da Dedini. Ela se originou também de uma oficina, localizada em Sertãozinho de propriedade de Ettore Zanini, também filho de imigrante italiano, a qual foi estimulada “... durante a Segunda Guerra Mundial, quando as usinas da região de Ribeirão Preto, impossibilitadas, devido ao conflito, de importarem materiais, recorriam à inventividade de Ettore para solucionar a premência de reposição de peças com substitutivos que ele mesmo confeccionava.” (RAMOS, 1999, p. 134). Em 1950 associou-se a ele Maurílio

Biagi, filho de Pedro Biagi, que já era proprietário de duas usinas (Da Pedra e Santa Elisa), as quais se situavam entre as maiores de São Paulo na época.

Quanto a participação dessas duas empresas no fornecimento de máquinas e equipamentos para o setor, um estudo feito CARNEIRO (1966, p. 41) destacava que M. Dedini Metalúrgica S.A. e Zanini S.A., respectivamente, eram responsáveis pela maior parcela do suprimento nacional desse setor. Em estimativas conservadoras, baseadas em dados disponíveis de faturamento, esse autor chegou a uma mensuração empírica da participação desses dois grupos no mercado nacional de equipamentos para o setor (QUADRO 4.15). Além disso, o autor estimou o impacto dos programas oficiais em curso entre 1965 e 1971, sobre o mercado nacional de máquinas e equipamentos para o setor. Projetou inversões públicas e privadas para esse período no valor aproximado de Cr\$ 209 bilhões e distribuiu esse montante como faturamento para as firmas que operavam na época, o resultado pode ser observado no QUADRO 4.15.

QUADRO 4.15: Distribuição do mercado tradicional de máquinas e equipamentos pelos principais participantes – faturamento efetivo em 1965 e estimado para período de 1966-71

	1965		Estimativa (1966-71)	
	Valores (Cr\$ - bils./ano)	Participação	Valores (Cr\$ - bils./ano)	Participação
M. Dedini S.A. Metalúrgica	8,0	40%	83,6	40%
Oficina Zanini S.A.	4,0	20%	41,8	20%
Outros	2,0	10%	20,9	10%
Demanda insatisfeita estimada	5,7	30%	62,7	30%
Total	19,7	100%	209,0	100%

Fonte: CARNEIRO (1966, p. 41-42).

Durante a década de 1960 foi instaurado pelo IAA o Plano de Expansão da Indústria Açucareira Nacional de 1963/6, que teve a finalidade de reequipar as fábricas de açúcar, buscando melhorara produtividade do setor. Segundo SZMRECSANYI (1979, p. 399) esse reaparelhamento do parque produtivo estava baseado na eliminação dos pontos de estrangulamento do processamento da cana-de-açúcar, mais especificamente: i) na melhoria da eficiência de extração na moagem; ii) no controle dos processos de fabricação; iii) eficiência térmica das unidades; iv) condições de abastecimento de matéria prima; e v) aproveitamento dos subprodutos.

De acordo com os valores a que chegou o Plano de Expansão, suas inversões globais chagaram a US\$ 233,2 milhões. Foram desembolsados no prazo de sete anos, de 1965 a 1971, obedecendo à seguinte distribuição: para novas usinas US\$ 124,47 milhões; para reequipamento US\$ 108,73 milhões. Desse total, 40% foram investidos com recursos do próprio setor, e os

demais com recursos do IBC, IAA, Banco do Brasil e empréstimos via BID (SZMRECSANYI,1979, p. 405).

Nesse período de renovação do Parque sucroalcooleiro do Brasil, o Grupo Dedini encontrava-se totalmente consolidado, capaz de projetar e construir plantas completas industriais para processamento de cana-de-açúcar. Porém, já existia um agravamento da concorrência dentro do setor, dentre as principais destacam-se a Zanini S.A. Equipamentos Pesados, e a multinacional francesa Fives-Lille, tradicional fabricante de equipamentos, que se instalou no Nordeste, além de outras menores.

Se o plano de modernização e racionalização de 1971/3 não significou ampliação do mercado de bens de capital, devido às suas medidas concentracionistas, o Proálcool, instalado em 1975, implicou, a montagem de novas fábricas, embora apenas de álcool, com as usinas podendo anexar destilarias às suas capacidades de moagem de cana e/ou ampliar as que já possuíam. Para tanto, o IAA, através da Comissão Nacional do Álcool – CNA, editou a Resolução CNA1 nº 09/79, que tinha o objetivo de acelerar a produção de álcool e aumentar a oferta de equipamentos para construção de destilarias autônomas. Essa resolução destacava que esses objetivos deveriam ser cumpridos sem que para isso uma outra resolução, a CNA1 nº 05/76 fosse desconsiderada, essa por sua vez tratava da proibição da importação de máquinas e equipamentos para usinas e destilarias, com similares de produção nacional. Regrava a aquisição por empresas titulares de destilarias autônomas, de moendas usadas e outros equipamentos complementares, indicando a Secretaria Executiva da Comissão Nacional do Álcool como responsável por emitir as autorizações prévias de negociação, compra e transferências de tais equipamentos (CNA, 1979, p. 18).

Os investimentos realizados durante o programa foram na sua maioria públicos, para tanto, o IAA restringiu normativamente a importação de máquinas e equipamentos para as usinas e destilarias como forma de incentivar a indústria nacional. Isso fortaleceu a concentração produtiva industrial, porém o controle desse setor, que havia sido praticamente absoluto do Grupo Dedini até meados na década de 1960, passou a ser dividido, mais especificamente em São Paulo, com a Zanini Equipamentos Pesados S. A..

Assim o Proálcool ampliou sobremaneira a capacidade de produção desse dois grupos empresariais que praticamente dominavam o fornecimento de equipamentos para o processamento da cana no Brasil. Porém, sempre existiu e ainda existem empresas menores, independentes, que reparam equipamentos, fornecem peças e mesmo chegam a fabricar componentes diversos para as usinas e destilarias brasileiras.

O importante aqui é destacar que isto não implicou espaço para o difusor. A razão básica para isto foi que, entre as partes integrantes dos projetos que não podiam ser objeto de financiamento, destacam-se as “*máquinas, aparelhos ou equipamentos importados*” (conf. CENAL, 1980, p. 12). Assim, o Proálcool virtualmente inviabilizou a alternativa de uso de equipamentos de fornecedores externos. Mesmo que uma empresa estrangeira tenha cogitado instalar-se aqui para produzir difusor ou moendas, ficou evidentes as dificuldades que teria em conseguir uma parcela do mercado em questão devido: i) ao fato de que o Proálcool concedia vultosos subsídios creditícios e financiava projetos completos, com o devido planejamento de todas as fases envolvidas na obtenção de álcool; ii) à concorrência que teria que fazer à Dedini e Zanini, com seus esquemas de assistência técnica e vínculos com os proprietários locais.

O Proálcool ampliou sobremaneira a capacidade de produção dos grupos Dedini e Zanini, um duopólio real ou, se se quiser, virtual, pois que, além deles, existiam e ainda existem muitas outras pequenas e mesmo médias empresas que prestam serviços de reformas, fornecem peças e mesmo chegam a fabricar componentes diversos para engenhos, usinas e destilarias instaladas no território brasileiro.

A Zanini, contudo, não fabricava, até o advento do Proálcool, aparelhos para a destilação de álcool, ou seja, não fornecia fábricas completas *turn key*, como a Dedini. Por conta disto “*associou-se com uma produtora de destilarias sediada em Piracicaba (CONGER) para poder enquadrar-se nos requisitos*” daquele programa (MALUF, 1984, p. 166)³⁸.

Cabe aqui um questionamento final para este item: Com o acirramento da concorrência entre fornecedores de máquinas e equipamentos, inclusive a entrada de uma empresa de capital estrangeiro, e a abundância de recursos disponíveis, por que nenhum difusor foi instalado no país durante o Proalcohol?

Diversos artigos e outros tipos de publicações sobre o desempenho recente de difusores instalados na África do Sul e EUA foram evidenciados durante o Proalcohol. A Revista Brasil Açucareiro, principal veículo informativo do IAA, publicou em várias edições experimentos internacionais com essa tecnologia a fim de auxiliar os interessados em tomar suas decisões. Muitos desses artigos fazem parte da revisão bibliográfica desse trabalho, apresentado no

³⁸ Outra informação obtida no mesmo trabalho é que, com as vendas estimuladas pelo Proálcool, a Dedini praticamente não se interessava pela produção de moendas de menor capacidade. Quando os investimentos decorrentes do programa recuaram, ela passou a fabricar novamente tais equipamentos. (Idem, p. 167/9).

Capítulo 3, inclusive único caso de um difusor de bagaço do fabricante dinamarquês D.D.S., instalado no Rio Grande do Norte e que operou apenas duas safras³⁹.

O fato é que, exceto o Grupo Dedini, que fabricava plantas completas para o processamento de cana, fabricação de açúcar e destilarias, e que não havia demonstrado interesse pela tecnologia. O outro grande fabricante nacional, a Zanini, não fabricava plantas completas, apenas equipamentos para preparo de cana, redutores e destilarias, estas no final da década de 1970.

Como agravante, o programa não permitiu que seus recursos fossem utilizados na importação de máquinas e equipamentos com similares nacionais. Em uma publicação da Comissão Executiva Nacional do Alcool/Cenal, encontra-se que “*máquinas, aparelhos ou equipamentos importados*” é o último dos itens especificados como o que não poderia ser “*objeto de financiamento do PROÁLCOOL*” (CENAL 1980, p. 12).

Além disso, no IV Encontro Nacional dos Produtores de Açúcar, promovido pelo IAA no Rio de Janeiro de 1979, o jornalista Gerson T. Gomes do Jornal do Brasil, dirigiu ao Sr. Luiz Biagi, então representante do produtores paulistas no evento, perguntando por que o Brasil não utilizava o processo de difusão para extrair calda da cana-de-açúcar. Segundo esse empresário:

“... não há uma limitação de área que justifique a aplicação em aumento de produtividade. O que interessa é o volume de produção. O difusor, aumentando a extração, seria, talvez, aplicável em algumas poucas usinas do Brasil que têm suas áreas plenamente utilizadas. Estamos sempre procurando aumentar as moendas e não visamos muito a extração. É o que na prática, reconheço como sendo o fator que determina a não-utilização de difusores” (VI ENCONTRO, 1979, p. 153).

Outras intervenções quanto ao tema difusor *versus* moenda foram apresentadas nesse eventos, todas na mesma direção da primeira, ou seja, a necessidade de expansão periódica das unidades de processamento tornaram a flexibilidade do sistema de moendas imbatível. Por fim, um último participante do evento destacou que se fosse montar uma usina ou destilaria nova, optaria por um difusor, já prevendo a possibilidade de, no futuro, aumentar sua capacidade de esmagamento com outra unidade, ou seja, um novo difusor. Porém, destacou que um empresário que já possui sua fábrica montada com sistema de moendas, a substituição de um terno permite um incremento de produção significativo, apesar das taxas de eficiência de extração serem

³⁹ Brasil Açucareiro: i) março de 1979, nº 3, V. 93; ii) setembro de 1981, nº 3, V. 98; iii) maio de 1978, nº 5, V. 91; iv) julho de 1978, nº 6, V. 91.

menores, e muitas vezes suficiente para sua nova quota de produção (VI ENCONTRO, 1979, p. 155).

CAPÍTULO 5 O emprego dos sistemas de difusão e de moendas no período recente: Apresentação e análise da pesquisa de campo

5.1 Procedimentos metodológicos

Inicialmente foram examinadas diversas possibilidades para a utilização dos métodos de pesquisa a fim de responder ao problema proposto neste trabalho. Como alternativa metodológica encontrada, optou-se primeiramente pela realização de uma pesquisa descritiva, através de um levantamento bibliográfico; seguido de uma pesquisa exploratória, com estudos de casos.

Assim, a pesquisa desenvolvida neste trabalho utilizou os procedimentos metodológicos que são apresentados esquematicamente a seguir no QUADRO 5.1

QUADRO 5.1: Questões, objetivo geral e específicos do estudo de casos

Questões levantadas	Procedimentos adotados
1- Quais os sistemas de extração de sacarose disponíveis no mundo e quais as suas características técnico-econômicas?	Pesquisa descritiva: levantamento informações secundárias.
2- Por que foi quase absoluto o emprego do sistema de moendas no Brasil entre 1930 e 1995?	Pesquisa descritiva: levantamento informações secundárias.
3- Quais os determinantes, desde então, para a escolha de um deles pelos empresários que montaram ou vem montando usinas e destilarias e quais as vantagens comparativas apontadas pela indústria ofertante?	Pesquisa descritiva: levantamento de informações secundárias; Pesquisa Exploratória: pesquisa de campo com visitas e entrevistas.
4- Qual a situação atual dos dois sistemas e quais os resultados e impactos produtivos de suas utilizações?	Pesquisa descritiva: levantamento de informações secundárias; Pesquisa Exploratória: pesquisa de campo com visitas e entrevistas.

A pesquisa exploratória se concentrou primeiramente em informações realizada a partir da aplicação de um questionário durante uma visita técnica as unidades processadoras de açúcar e álcool que utilizam sistema de difusão para extrair sacarose. Algumas unidades visitadas, que optaram pela difusão, também possuíam sistemas de moendas operando em paralelo com o difusor. Também foram visitadas algumas unidades que optaram exclusivamente pelo sistema de moendas. Posteriormente, foram entrevistados alguns especialistas, técnicos açucareiros, e consultores da área de extração de sacarose de cana-de-açúcar. Por fim, foram ouvidos representantes dos três principais fabricantes de máquinas e equipamentos para processamento de cana-de-açúcar instalados no Brasil, ambos projetam, constroem e prestam serviços de manutenção em difusores e outros tipos de equipamentos para o setor sucroalcooleiro.

A pesquisa descritiva, também chamada “*survey*”, é uma técnica metodológica que tem como objetivo a descrição sistemática de determinadas situações e eventos pertinentes ao trabalho. Nessa primeira etapa da pesquisa, (Capítulo 2 e 3), incumbiu-se de um levantamento de dados secundários articulado com a revisão bibliográfica, que teve o objetivo de ilustrar, através de dados e informações desagregadas, o desempenho dos dois sistemas de extração de sacarose da cana-de-açúcar, primeiro no mundo e depois no Brasil. Evidenciando aos seus aspectos evolutivos e sua trajetória tecnológica, até atingir o estágio que se encontra atualmente.

Tendo em vista que o objetivo geral proposto no início desse trabalho de tese era de discutir e identificar quais foram os fatores que levaram os fabricantes nacionais de máquinas e equipamentos para o setor sucroalcooleiro em optar por disseminar, quase que exclusivamente, o sistema de extração por moendas em detrimento do processo de difusão até 1990. E por que a partir de então, algumas unidades processadoras optaram por essa tecnologia alternativa. Fez-se necessário identificar e acompanhar: i) a atuação de algumas unidades processadoras de cana-de-açúcar quanto ao emprego do seu sistema de extração de sacarose. ii) as firmas produtoras de máquinas e equipamentos para o setor sucroalcooleiro que oferecem em sua carteira de produtos o sistema de difusão.

Partindo-se de uma revisão literária identificaram-se pontos importantes a serem verificados como pertinentes à problemática proposta, foi identificado a população e o instrumento de pesquisa apropriado para solucionar o problema. A população desta pesquisa foi dividida em dois grupos, conforme apresentado no QUADRO 5.4.

Como técnica de pesquisa optou-se pela entrevista, partiu-se do pressuposto de que as informações seriam obtidas diretamente do responsável pelo processo de extração de sacarose em cada usina/destilaria visitada, no caso os gerentes industriais. Assim, privilegiou-se uma entrevista aberta, que possibilitasse respostas livres com espaços para explicações e comentários, uma vez que cada unidade tem características particulares quanto aos seus processos. Sendo assim, foi traçada uma ordem preestabelecida de assuntos a serem perguntados, a fim de compreender as perspectivas que os próprios investigados têm a respeito do tema, suas experiências ou situações (QUADRO 5.2). A razão fundamental da escolha desse método foi a complexidade do problema em estudo. Não se trata de medir objetos, mas sim de descobrir a experiências das pessoas com respeito às determinadas tecnologias empregadas, suas características, vantagens e desvantagens.

As observações diretas normalmente foram realizadas após a entrevista. O pesquisador era direcionado a visitar as instalações industriais da unidade, conhecer o sistema de extração de

sacarose utilizado, conversar com os operadores dos equipamentos, coletar dados de operação e de funcionamento.

Inicialmente foi realizado um contato telefônico com os gerentes industriais de todas as unidades que utilizavam o sistema de difusão para extração de sacarose da cana no país. Durante esse contato foi abordada a temática da pesquisa a ser realizada e cogitava-se a possibilidade destes a participarem de uma entrevista, e me acompanhar em uma visita pela unidade de sua responsabilidade. Além disso, foi enviado as unidades contatada uma carta de apresentação da pesquisa, reforçando a importância do estudo e esclarecendo a finalidade e os objetivos gerais da entrevista. Informou-se que se tratava de uma pesquisa confidencial, de cunho acadêmico e que os dados pertinentes ao questionário seriam tratados na tese apenas de maneira agregada, sem a identificação isolada das empresas participantes.

A maioria dos responsáveis contatados prontificaram-se imediatamente em agendar a entrevista e se disponibilizaram pessoalmente a acompanhar as suas unidades. No entanto, dois representantes, apesar dos intensos contatos telefônicos e eletrônicos durante pelo menos 2 meses, não colaboraram. Logo, os dados apresentados nesse capítulo, pertinentes a pesquisa de campo contém apenas dados e informações técnicas de 19 unidades, uma vez que os responsáveis pela divisão industrial da Açúcar Guarani, especificamente a unidade Cruz Alta em Olímpia/SP e a da Cargill, proprietária da Usina Cevasa em Patrocínio Paulista/SP não foram solícitos a esse trabalho.

Quanto aos contatos realizados com os representantes das firmas fabricantes de máquinas e equipamentos para o setor e que possuem em suas carteiras de produtos difusores para extração de sacarose de cana-de-açúcar, foram feitos ao longo dos dois últimos anos, em feiras e eventos ligados ao setor, além de visitas em seus escritórios de representação comercial.

Os itens a seguir apresentam os dados e informações pertinentes a pesquisa de campo realizada conforme descrito na metodologia. Esses resultados serão apresentados da seguinte maneira, primeiro um breve levantamento geral comparativo entre as informações obtidas de cada uma das unidades processadoras visitadas, em relação às questões levantadas no QUADRO 5.4. Em seguida serão destacados os comentários individualizados dos itens em questão, e outras informações e observações pertinentes, obtidas em cada uma das unidades visitadas.

QUADRO 5.2: Composição estrutural da entrevista realizada nas unidades processadoras de cana-de-açúcar e empresas fornecedoras de equipamentos

Questões centrais	Objetivos do questionamento
1. Identificação da unidade* :	- trata-se de uma unidade produtiva isolada; - pertence a algum grupo econômico; - composição da participação acionária da unidade;
2. Caracterização produtiva* :	- capacidade de processamento da unidade; - mix de produção açúcar e álcool; - vende o excedente de energia cogerado;
3. Caracterização do processo de extração de sacarose* :	a) Emprega somente difusor: - fabricante do equipamento (projeto); - ano de instalação; - histórico do coeficiente de extração de sacarose. b) Emprega somente moendas: - fabricante do equipamento (projeto); - ano de instalação; - histórico do coeficiente de extração de sacarose. c) Emprega difusor e moenda (para ambos): - fabricante do equipamento (projeto); - ano de instalação; - histórico do coeficiente de extração de sacarose.
4. Aspectos operacionais do(s) sistemas utilizados* ** :	- vantagens operacionais observadas; - desvantagens operacionais observadas; - outras observações pertinentes.
5. Aspectos pertinentes a produção de açúcar e/ou álcool* ** :	- adaptabilidade do sistema para produção de açúcar e álcool (caso de usinas); - adaptabilidade dos sistemas para produção de álcool (caso de destilarias); - observações complementares.
6. Quanto à adoção dos diferentes sistemas* ** :	- vantagens em adotar cada um dos sistemas; - desvantagens em adotar cada um dos sistemas;
7. Aspectos pertinentes aos investimentos e custos periódicos de manutenção* :	- investimento inicial para a instalação de um sistema de extração com difusor; - investimento inicial para a instalação de um sistema de extração com moendas; - custo periódico estimado de manutenção dos sistemas;
8. Unidades que instalaram difusor recentemente (a partir de 2000)* ** :	- principais problemas observados inicialmente; - responsável pela solução: unidade ou fornecedor do equipamento; - por quê a opção pela tecnologia;
9. Número de difusores instalados recentemente* ** :	- data por fabricante; - no país; - fora do país

Notas: * Questionamento realizado junto a representantes das unidades processadoras.

** Questionamento realizado junto a representantes das indústrias fabricantes de máquinas e equipamentos para o setor.

Por fim, serão apresentadas as considerações e informações coletadas durante as entrevistas e visitas às firmas fabricantes de difusores para o setor canavieiro. Quanto às

informações obtidas junto aos consultores e outros especialistas do setor ouvidos durante o trabalho de campos, elas se encontram dispersas nos comentários e conclusões desse capítulo, e tem a finalidade de esclarecer tecnicamente pontos em que pairaram dúvidas durante as entrevistas e visitas realizadas.

5.2 Caracterização do Complexo Agroindustrial Canavieiro

5.2.1 Complexo agroindustrial canavieiro

Esse item tem o objetivo de esclarecer acerca do complexo agroindustrial canavieiro, mais precisamente sobre as especificidades técnico/produativas de suas duas atividades produtivas: a agrícola e a industrial.

A sacarose, matéria prima básica para a produção de açúcar, pode ser extraída a partir do processamento industrial de vários gêneros agrícolas, os principais são a cana-de-açúcar e a beterraba. Esse trabalho limitará sua abordagem aos aspectos da evolução tecnológica do processamento industrial da cana-de-açúcar para produção de açúcar.

A cana de açúcar pertence à família das gramíneas, sua cultura é perene com um ciclo média de produção entre 5 a 7 anos. Dependendo da variedade e dos fatores ecológicos, a cana colhida possui de 8% a 15% de fibras celulósicas; 7% a 20% de sacarose; e 55% a 70% de água. A produção de cana-de-açúcar é distribuída entre os países localizados em regiões de faixa climática tropical ou subtropical, especialmente na América Latina e Oriente, entre os paralelos 35° Norte e 35° Sul. Os principais produtores mundiais são: Brasil, Índia, Austrália, México, África do Sul, Indonésia, Colômbia, entre outros. Em todos esses países, essa cultura destina-se principalmente a produção de açúcar, no Brasil, é também empregada na produção de álcool.

No Brasil as unidades processadoras de cana-de-açúcar são ser divididas em dois grupos. As usinas, que são fábricas de açúcar e que normalmente possuem uma destilaria anexa, que reprocessa o melaço para a fabricação de álcool. E as destilarias, que processam cana-de-açúcar exclusivamente para a fabricação de álcool. Outra especificidade desse setor no país é a intensa integração entre a produção agrícola da cana-de-açúcar e o seu processamento industrial sob o controle do usineiro.

Os diversos produtos e subprodutos gerados no processamento da cana dependem da qualidade em que esse insumo chega até as unidades processadoras. Essa qualidade deve-se a uma série de fatores dentre eles: a variedade da cana; condições de clima e solo; sistema de cultivo; ausência ou emprego da irrigação; o estágio de maturação da cana; o teor de impurezas

minerais ou de matéria estranha; sanidade da cana em relação ao ataque de doenças; o tempo de estocagem da cana queimada, entre outros.

QUADRO 5.3 : Etapas e operações envolvidas na produção agrícola e no processamento industrial da cana de açúcar

Etapas	Operações agrícolas/industriais	Principais melhorias técnicas
Preparo de Solo	Aração; Gradagem; Subsolagem; Calagem.	Agricultura de precisão; mapas de aplicação de agroquímicos e; sistematização georeferenciadas de áreas para cultivo.
Plantio	Escolha da muda; Sulcação; Adubação do sulco; Plantio.	Mudas geneticamente melhoradas; e plantio mecanizado.
Tratos Culturais: <i>Cana planta</i>	Controle de ervas daninhas e insetos invasores; Adubação; Manutenção de curva de nível, estradas e canais.	Equipamentos e tratores com baixa compactação; tratos culturais conservacionistas; técnicas para retenção de água no solo.
Tratos Culturais: <i>Cana soca</i>	Enleiramento da palha; Controle de ervas e insetos invasores; Descompactação (subsolação + gradagem); Manutenção de curva de nível, estradas e canais.	Equipamentos e tratores com baixa compactação; tratos culturais conservacionistas; técnicas para retenção de água no solo.
Colheita	Queima; Corte; Carregamento; Transporte.	Colheita mecânica; sistemas de gerenciamento e otimização de colheitas e frotas.
Recepção e limpeza da cana	Abertura dos feixes Remoção de impurezas minerais Lavagem Remoção de impurezas fibrosas	Reuso da água de lavagem; lavagem a seco com sopradores; mesas com fundo perfurados e ventilados; inclinação para 30 a 35 graus.
Preparo da cana	Picador Desfibrador	Acionadores elétricos; aumento das nervuras da placa desfibradora; materiais de revestimento.
Extração do caldo	Moagem	Conjuntos com 6 ternos de moendas; controle automatizado e independente de extração; ternos com mais de 100"; acionamento com motores elétricos.
	Difusão	Difusores de cana; equipamento completamente automatizado; modelos modulares.

Fonte: Desenvolvida pelo autor.

Como este trabalho aborda especificamente a etapa de extração de sacarose da cana-de-açúcar através dos dois sistemas atualmente utilizados, as especificidades técnicas descritas se limitaram a essa etapa, ou outras diretamente relacionadas. O QUADRO 5.3 apresenta resumidamente cada uma das etapas e operações envolvidas na produção agrícola da cana-de-açúcar, e seu processamento industrial, a última etapa do referenciada no QUADRO 5.3, extração do caldo, será tratada com maior detalhe.

A mesa alimentadora recebe as cargas de cana-de-açúcar que são descarregadas através de hilos diretamente dos caminhões, transferindo-as a uma esteira metálica que conduz a cana até a extração do caldo, passando pelo sistema de preparo (FIGURA 5.2). Durante esse processo de recepção da matéria-prima, a cana é normalmente lavada com jatos de água para retirada das impurezas minerais (FIGURA 5.1). A limpeza a seco é atualmente a melhor alternativa tecnológica ao sistema de lavagem de cana com água na mesa alimentadora. Esse sistema utiliza, mesas de alimentação com ventiladores para a remoção de palha e de parte da areia, apresenta as seguintes vantagens: diminuição da perda de sacarose da cana; eliminação da água da lavagem; e a simplificação das instalações de equipamentos como tanques de decantação, estações de bombeamento, tubulações, recuperadores de palha, entre outros (ANSELMINI, 2003, p.26-28).



FIGURA 5.1: Operação de lavagem da cana-de-açúcar.
Fonte: Acervo do autor.



FIGURA 5.2: Mesa alimentadora.
Fonte: Acervo do autor.

Depois de limpa a cana-de-açúcar entra em uma esteira em que é picada e desfibrada, o preparo destrói a casca e os nós da cana, expondo os vasos celulares onde se localiza a sacarose, melhorando a eficiência de extração do caldo na etapa seguinte. Esse sistema é normalmente

constituído por um ou dois jogos de facas e um desfibrador. As facas rotativas picam a cana em pedaços menores, e o desfibrador, que é um rotor constituído por um conjunto de martelos oscilantes que gira em sentido contrário à esteira, força a passagem da cana por uma abertura ao longo de uma placa que separa as fibras da cana (FIGURA 5.3). Em 1970 foram instalados os primeiros conjuntos de desfibradores no Brasil na década de 1970, esse equipamento já era amplamente utilizado em outros centros canavieiros como a África do Sul, EUA e Cuba, e melhorou significativamente o processo de extração de caldo por moendas.

Segundo ANSELMINI (2005, p. 54) os pioneiros no país foram construídos pela Dedini com martelos fixos e os desenvolvidos pela Copersucar, com martelos oscilantes e alimentados por tambor. Atualmente, predominam os de martelos oscilantes, classificados em modelos alimentados por tambor (ou horizontal) e o vertical. O mais utilizado é o modelo horizontal montado diretamente sobre a esteira de cana, é alimentado por tambor o que facilita sua manutenção e diminui a exigência de potência. Os jogos de facas são classificados de acordo com o posicionamento em relação às taliscas da esteira, podendo ter a função de niveladores, picadores e alimentadores. Recentemente, as melhorias técnicas nessa etapa do processo concentram-se no aprimoramento dos materiais de revestimento dos martelos e facas.



FIGURA 5.3: Conjunto de martelos do desfibrador.
Fonte: Acervo do autor.



FIGURA 5.4: Ternos de moenda em operação.
Fonte: Acervo do autor.

A instalação de motores elétricos substituindo as tradicionais turbinas a vapor proporciona duas vantagens para o preparo de cana: i) o ganho de energia devido a melhor eficiência desses motores; ii) e a uniformidade na alimentação do processo de extração, a resposta do sistema

elétrico é mais precisa que o da turbina, isso evita o descontrole no volume da cana enviado para esteira. Segundo ANSEMI (2009, p. 45), a Fives Lille, tradicional fabricante francesa de máquinas e equipamentos para o setor sucroalcooleiro, lançou recentemente um conjunto de preparo de cana que possui apenas o desfibrador, no lugar dos picadores, existem os chamados rolos adensadores. Segundo esse autor, trata-se de um sistema bem compacto, muito interessante do ponto de vista de consumo de energia e custos de manutenção, porém requer alguns ajustes técnicos a fim de melhorar sua eficiência.

a) Moagem

A extração do caldo da cana de açúcar é atualmente realizada através de duas tecnologias distintas: a moagem e a difusão. A moagem, é um processo de separação física em que a sacarose é separada das fibras vegetais através de um esmagamento mecânico das células da cana, o que ocorre quando a cana desfibrada passa por conjuntos de moedas denominados ternos, que a espremem entre três rolos ou cilindros⁴⁰. Em cada uma dessas etapas de extração o bagaço processado sofre uma embebição com água a fim facilitar a diluição do caldo remanescente e possibilitar uma melhor separação. A FIGURA 5.4 mostra um conjunto de ternos de moenda em funcionamento, e a FIGURA 5.6 indica o fluxograma da operação de extração a partir de moendas.

b) Difusão

A difusão é uma tecnologia baseado em um princípio químico, que originalmente foi empregado para extrair sacarose de beterrabas, e posteriormente adaptado com sucesso as necessidades da agroindústria canavieira. Nesse processo, a sacarose contida nas células da cana-de-açúcar é retirada por lixiviação, uma espécie de lavagem.

⁴⁰ Convencionou-se chamar de terno de moenda (chamado também de *tanden*) o conjunto de rolos de moenda montados em uma estrutura denominada "castelo". Geralmente são utilizados de quatro a seis ternos em um processo normal de moagem, cada deles é composto por três rolos principais: rolo de entrada, rolo superior e rolo de saída; e, em alguns casos, um quarto rolo chamado de rolo de pressão, que melhora a eficiência de alimentação do terno. Essa possibilidade de disposição de mais de um terno permite a agroindústria uma flexibilidade na sua capacidade de processamento, ampliada com relativa facilidade a partir da instalação de novos ternos de moenda, ou pela substituição de rolos mais robustos. A mesma flexibilidade não ocorre em usinas que utilizam a difusão como processo de extração.

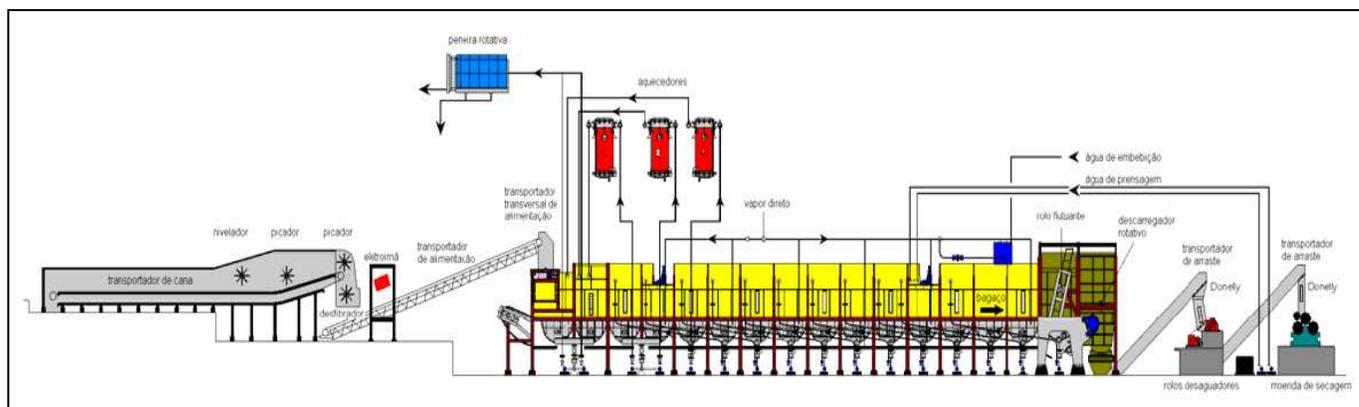


FIGURA 5.5: Esquema de funcionamento de um difusor de cana-de-açúcar Uni-Systems.

Fonte: Catálogo técnico do difusor Uni-Systems do Brasil (2007).

A FIGURA 5.5 apresenta um esquema simplificado do funcionamento dos atuais difusores, independente do fabricante⁴¹. A água de embebição é alimentada na parte final do difusor, próximo da saída do bagaço, a uma temperatura entre 75°C e 90°C; em seguida é enviada a uma canaleta transversal que cobre toda a largura do difusor e uniformemente distribuída sobre o colchão de bagaço.

A água percola através das fibras, passa pela chapas perfuradas e é recolhida no captador de caldo, o caldo recircula em contra-corrente com o colchão de bagaço, assim a concentração do caldo aumenta gradualmente até atingir seu máximo no captador situado junto à entrada da cana no difusor, de onde é bombeado para processamento seguinte. Analogamente, o bagaço que segue em direção à parte final do difusor tem sua concentração de sacarose diminuída gradualmente, e no final passa por dois ternos: o primeiro chamado desaguador, constituído de dois rolos perfurados; e o segundo denominado secador, um terno tradicional de moagem com três rolos, que tem a finalidade de rebaixar a unidade do bagaço para próximo a 50% (FIGURA 5.7).

⁴¹ Atualmente no Brasil existem três fabricantes desse tipo de equipamento: A Sermatec, controlada pela Zanini Equipamentos Pesados S. A, fundada pela família Biagi na década de 1970. A Dedini, que agregou esse tipo de equipamento ao seu portfólio de produtos em 2007, lançando o Difusor Modular Dedini, fabricado no país sob licença da Bosch da África do Sul. E a Uni-Systems do Brasil.

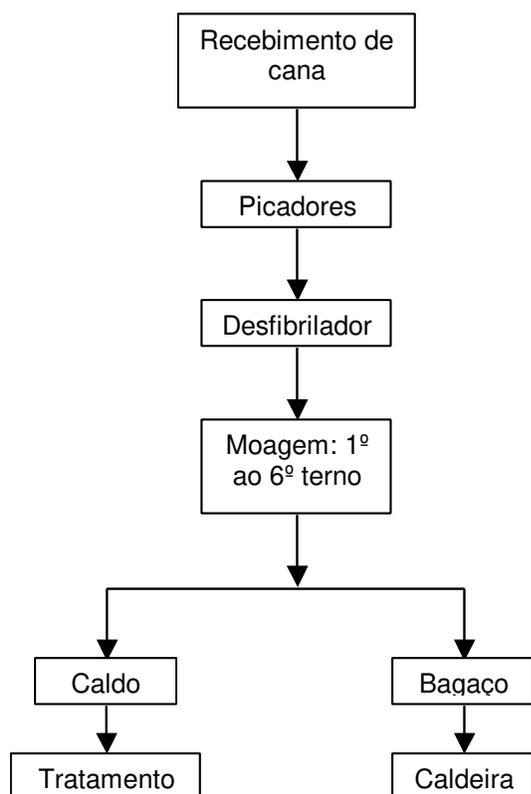


FIGURA 5.6: Fluxograma resumido das operações posteriores e anteriores ao sistema de extração por moendas.

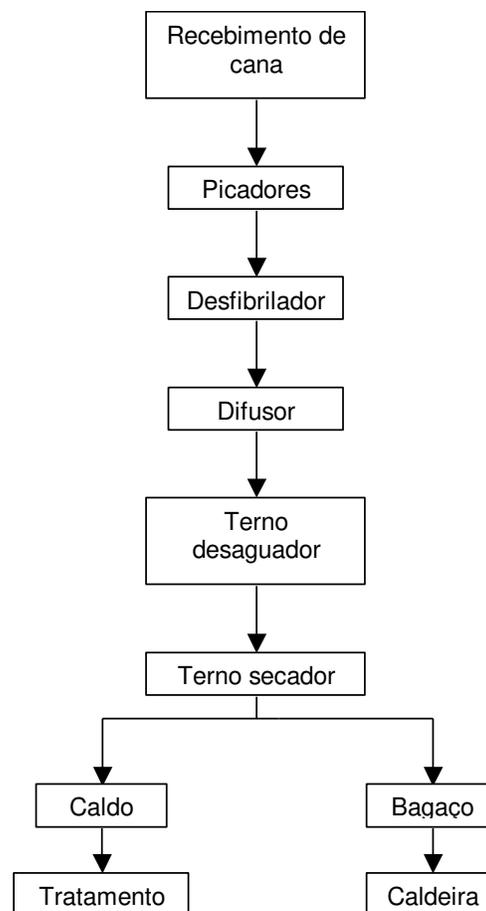


FIGURA 5.7: Fluxograma resumido das operações posteriores e anteriores ao sistema de extração por difusão.

Os capítulos seguintes deste trabalho tratarão das trajetórias tecnológicas desses dois sistemas de extração de sacarose, suas melhorias ao longo do tempo, utilização nos principais centros canavieiros do mundo e estudos comparativos de rendimento produtivo e de custos de instalação. Como não é o foco principal deste estudo, as etapas seguintes a extração de sacarose, incluindo as de fabricação de açúcar e álcool, serão tratadas brevemente e de maneira ilustrativa nos item seguinte.

5.2.2 *Fabricação de açúcar.*

No Brasil são produzidos basicamente dois tipos de açúcar, o açúcar bruto ou demerara e o cristal branco⁴². O açúcar bruto possui menor grau de pureza e é exportado como matéria prima para refinarias, já o cristal passa por um processo de clarificação mais minucioso proporcionando-lhe melhor qualidade. De maneira geral a produção do açúcar, seja bruto ou cristal, dividi-se nas operações de: purificação do caldo, concentração, cristalização complementar e centrifugação (FIGURA 5.8).

O caldo extraído da cana-de-açúcar é uma solução de sacarose diluída de impurezas, a operação de purificação elimina essas impurezas com o peneiramento e a clarificação química do caldo. Na clarificação, ocorre à precipitação de impurezas menores através da introdução de anidrido sulfuroso, em seguida o caldo passa por decantadores e por uma correção de acidez, em seguida é filtrado e as impurezas que precipitaram, chamadas de torta de filtro, retiradas.

A concentração do caldo eleva a temperatura evaporando a água contida na mistura, transforma-se o caldo em xarope que é cozido e cristalizado, o produto final dessa etapa é uma mistura de cristais e mel. A cristalização complementar faz com que os cristais ganhem novas camadas e aumentem de tamanho. Por fim, a massa cozida com cristais e mel é submetida a uma centrifugação, os cristais de açúcar separados, secados e armazenados. O mel proveniente da massa de menor pureza denominado de melaço ou mel final é enviado para a destilaria para a produção de álcool, ou comercializado como subproduto *in natura*.

5.2.3 *Fabricação do álcool.*

O termo álcool é normalmente empregado para a substância conhecida como etanol, metilcarbinol, álcool de cana ou de grãos. Trata-se de um líquido incolor, transparente, volátil, de cheiro estéril e miscível em água, é empregado na forma hidratada (de 95 a 96%) para atender a demanda da indústria química e de bebida ou anidro (maior que 99% de volume) como combustível (ARIAS, 1999, p. 229-230).

No Brasil, sua fabricação é exclusivamente por via fermentativa baseado no aproveitamento do mel final ou melaço das usinas, ou na utilização direta da cana de açúcar. A etapa de fabricação do álcool de cana é dividida nas operações de extração do caldo, preparo do

⁴² O açúcar bruto também é conhecido como VHP – *Very High Polarization*, e durante muitos anos foi o mais produzido e exportado pelo Brasil. O açúcar cristal é dividido conforme seu grau de pureza e qualidade em *Standard*, superior e especial, sendo esse último destinado a exportação.

mosto, preparo do fermento, fermentação, destilação, retificação e desidratação (FIGURA 5.9 e 5.10).

O mosto, que pode ser de caldo misto ou de melação, é um líquido que contém açúcar dissolvido e apto quimicamente para à fermentação, acrescenta-se a levedura ao mosto dando início a primeira etapa do processo contínuo de fermentação, em seguida o produto é recalçado para um decantador onde se elimina parte das bactérias remanescentes.

Na destilaria o vinho é depurado duas vezes em uma coluna de destilação, na primeira eliminam-se os ésteres e aldeídos, e na segunda é fracionado em vinhoto e em flegma. O vinhoto é descartado, e o flegma é novamente destilado em uma etapa de purificação denominada retificação, resultando no álcool bruto ou de segunda. Para a obtenção do produto final, acrescenta-se ao álcool bruto benzol, fraciona-se essa mistura em uma coluna de destilação (debenzolagem), resultando com produto final o álcool anidro e como resíduo o álcool bruto que é reprocessado (STUPIELLO, 1987, p. 798-800).

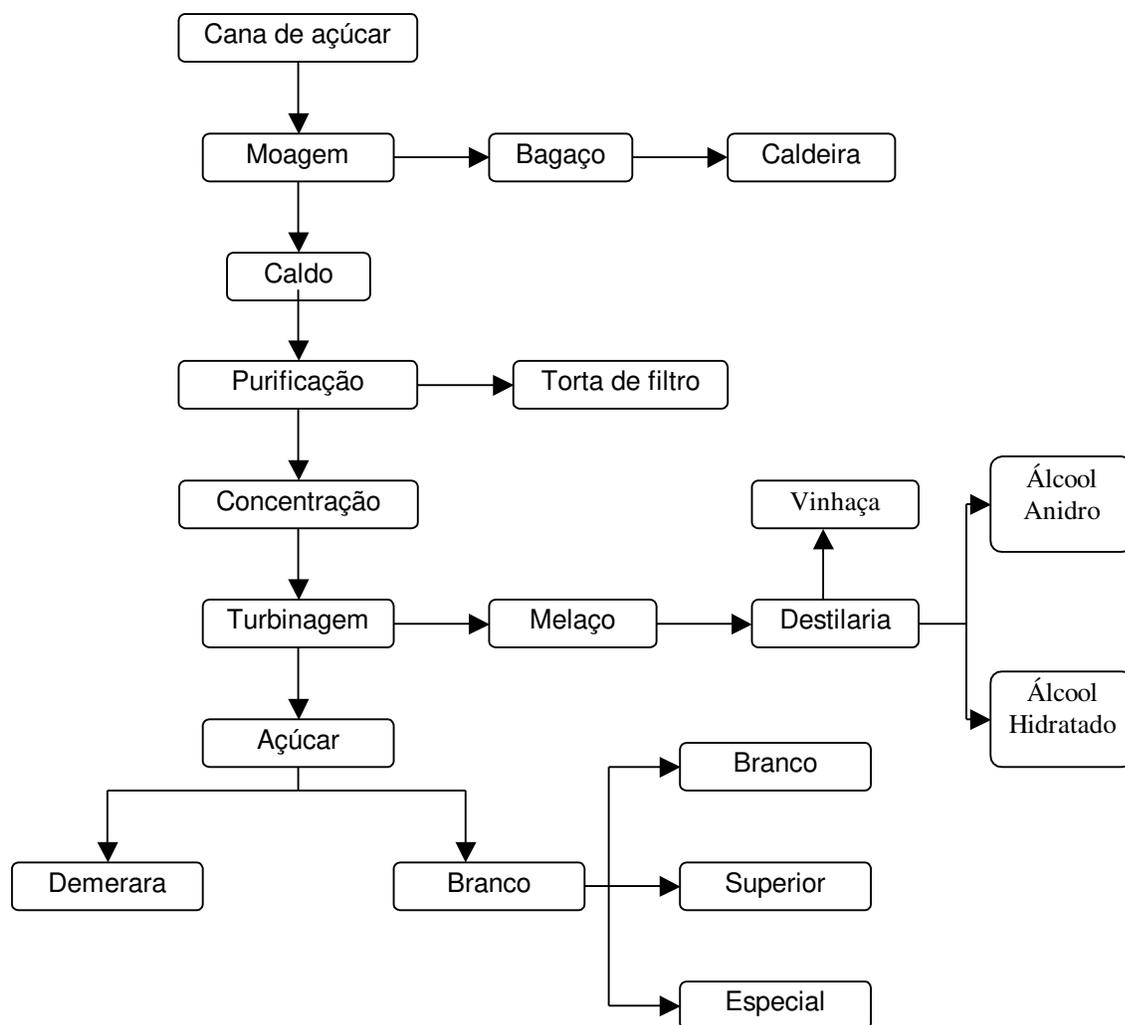


Figura 5.8: Fluxograma resumido de uma usina com destilaria anexa.
Fonte: PIACENTE (2005, p. 14).

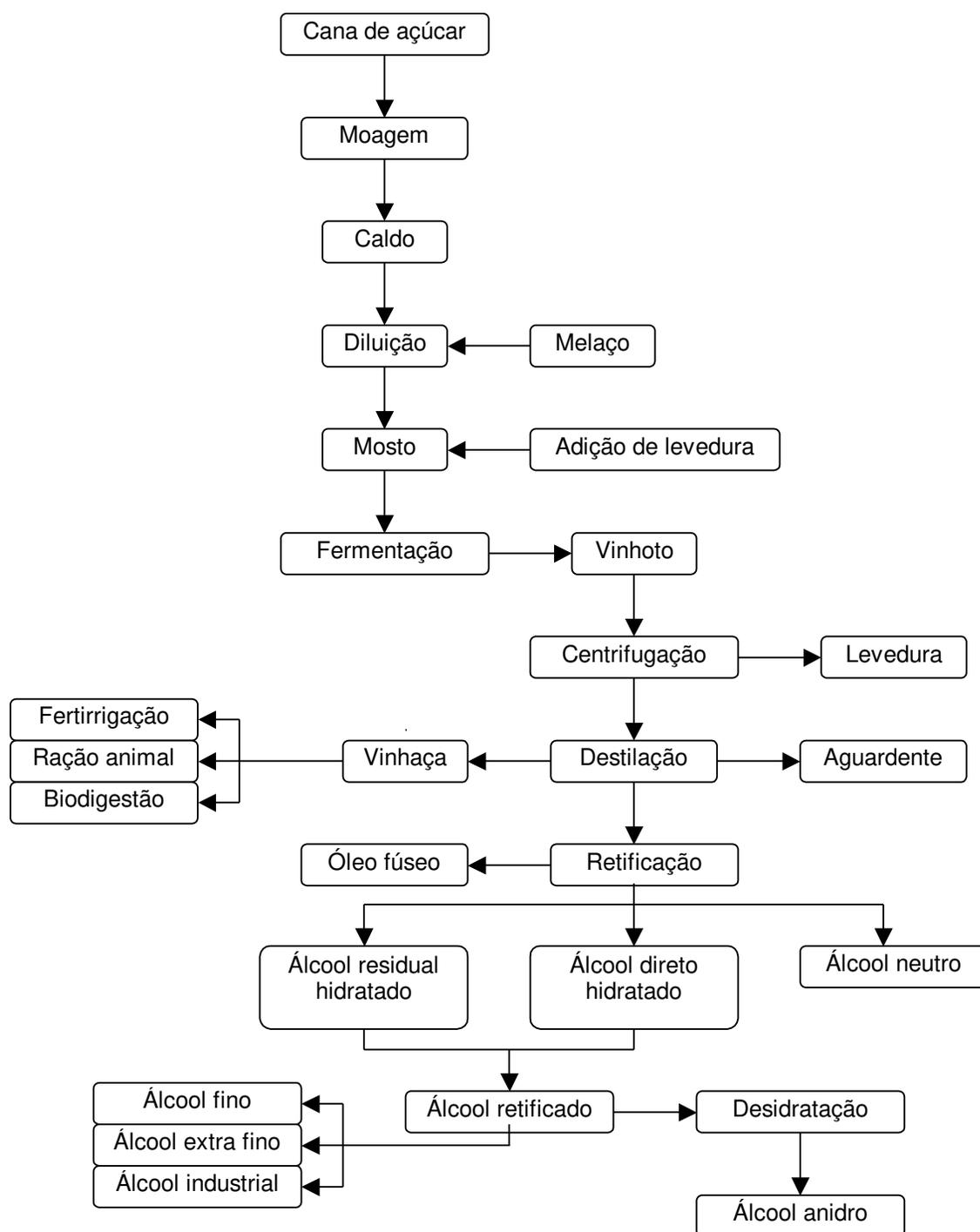


Figura 5.9: Fluxograma resumido de uma destilaria autônoma.
 Fonte: PIACENTE (2005, p.16).

5.3 Apresentação e resultados da Pesquisa de Campo

5.3.1 Quanto à caracterização produtiva das unidades processadoras visitadas

O QUADRO 5.4 traz informações detalhadas a respeito das unidades que até setembro de 2009 possuíam sistema de difusão para extração de sacarose de cana-de-açúcar. Aponta também as unidades cuja construção foi iniciada com base nesse sistema de extração mas que ainda não entraram em operação. As unidades em destaque (itálico) são as que foram contatadas para fazerem parte da pesquisa desse trabalho de tese.

Fica evidentemente indicado que o emprego do sistema de difusão é recente, e essa escolha tem sido observada desde a década de 1980, com a instalação do primeiro difusor na Usina Galo Bravo em Ribeirão Preto. Especificamente essa usina já processava cana-de-açúcar para produzir açúcar e álcool através de um sistema por moendas. Logo, a opção pelo difusor veio acompanhada pela necessidade de expansão da capacidade de processamento.

Na década de 1990, outros três difusores foram instalados em usinas paulistas: na Cruz Alta em Olímpia, CEVASA em Patrocínio Paulista e na Vale do Rosário em Morro Agudo. Nessa última, o difusor foi construído como expansão da capacidade de processamento, uma vez que essa unidade já funcionava com duas frentes ou linhas de moendas⁴³.

Destaque cabe para a Açúcar Guarani, unidade controlada pela Tereos, capital francês, que é uma cooperativa agro-industrial com experiência na produção de açúcar e álcool a partir da beterraba, da cana-de-açúcar e de cereais, na França e no mundo. No Brasil possuem 6 usinas: Severínia, São José, Andrade, Tanabi e a Cruz Alta que começou a funcionar na safra de 1987/88 com um difusor da Sermatec. Foi a primeira usina no país a iniciar a safra fabricando açúcar e álcool exclusivamente através do sistema de difusão de cana, a partir de então, ampliou sua capacidade de processamento com sistema de moendas.

⁴³ Conforme já informado, a Unidade Cruz Alta de Açúcar Guarani e a Unidade CEVASA da Cargill, apesar de intensos contatos, não foram solícitos em receber a pesquisa. Logo, as informações destacadas nesse trabalho de tese que apontam informações sobre essas duas unidades, foram: i) obtidas de fontes bibliográficas secundárias, principalmente publicações especializadas no setor, devidamente referenciadas no trabalho; ii) obtidas de terceiros, mais especificamente através conversas e entrevistas com consultores e outros especialistas no setor.

QUADRO 5.4: Unidades com sistema de difusão operando ou em instalação até setembro de 2009

	Unidade	Difusor			Município
		Início da operação	Fabricante	Especificação (Ttc/dia)	
1	Usina Galo Bravo	1985/86	Sermatec e Zanini	4.000	Ribeirão Preto/SP
2	Unidade Cruz Alta	1986/87	Sermatec e Uni-Systems	10.000	Olímpia/SP
3	Vale do Rosário	1996/97	Sermatec e Uni-Systems	12.000	Morro Agudo/SP
4	Cevasa	1998/99	Sermatec e Uni-Systems	6.000	Patrocínio Paulista/SP
5	Vale do Paranaíba	2000/01	Sermatec e Uni-Systems	8.000	Capinópolis/MG
6	Vertente	2004/05	Sermatec e Uni-Systems	10.000	Guaraci/SP
7	Dracena	2006/07	Sermatec e Uni-Systems	6.000	Dracena/SP
8	USJ - S. Francisco	2007/08	Sermatec e Uni-Systems	12.000	Quirinópolis - GO
9	Guariroba	2007/08	Sermatec e Uni-Systems	8.000	Pontes Gestal/SP
10	Frutal	2008/09	Uni-Systems	10.000	Frutal/SP
11	Cosan - Gasa	2007/08	Sermatec e Uni-Systems	15.000	Andradina/SP
12	Ouroeste	2008/09	Sermatec e Uni-Systems	12.000	Ouroeste/SP
13	Vale do Paraná	2008/09	Sermatec e Uni-Systems	12.000	Santa Fé do Sul/SP
14	Tropical	2009/10	Uni-Systems	12.000	Edéia/GO
15	Noroeste Paulista	2008/09	Dedini - Bosch	12.000	Sebastianópolis do Sul/SP
16	Usina Aroeira	construção	Uni-Systems	6.000	Tupaciguara/MG
17	CNAA - Ituiutaba	construção	Sermatec	12.000	Ituiutaba/MG
18	CNAA - Itumbiara	construção	Sermatec	12.000	Itumbiara/GO
19	CNAA-Campina Verde	construção	Uni-Systems	12.000	Campina Verde/GO
20	USJ-Cachoeira Dourada	construção	Sermatec	12.000	Cachoeira Dourada/GO
21	Cosan - Jataí	construção	Dedini-Bosch	17.000	Jataí/GO
22	Bunge - Monte Verde	construção	Dedini - Bosch	6.000	Ponta Porã/MS
23	Brenco - Alto Taquari	construção	Dedini - Bosch	18.000	Alto Taquari/MT
24	Brenco-Morro Vermelho	construção	Dedini - Bosch	18000	Mineiros/GO
25	Brenco - Água Emendada	construção	Dedini - Bosch	18000	Mineiros/GO
26	Brenco - Perolândia	construção	Dedini - Bosch	18000	Perolândia/GO
27	Cabrera	construção	Dedini - Bosch	12000	Limeira do Oeste/MG
28	Meridiano	construção	Dedini - Bosch	17000	Meridiano

Fonte: Pesquisa de campo.

Nota: Quando especificado como fabricante Sermatec e Uni-Systems, significa que o projeto do equipamento é da Uni-Systems e a construção da Sermatec .

A Central Energética Vale do Sapucaí – CEVASA, inaugurada em 1994 no município de Patrocínio Paulista, foi a primeira destilaria instalada no Brasil a processar cana-de-açúcar exclusivamente pelo sistema de difusão de cana. Atualmente essa unidade pertence à Cargill e encontra-se em expansão. A previsão é de que na safra 2011/12 inicie a operação de mais um equipamento de difusão com capacidade de processar 10.000 tc/dia e passe também a produzir açúcar.

QUADRO 5.5: Dados sobre a produção nas unidades pesquisadas – safra 2008/09

Unidades	Ano instalação ¹	Produção (ton.)		Álcool (mil litros)		
		Cana	Açúcar	Anidro	Hidratado	Total
Difusor						
Tropical	2008/09	2.325.000	-	-	-	143.500
Frutal	2008/09	2.100.000	-	-	-	-
Vertente	2004/05	1.623.561	114.205	28.623	44.911	73.534
Guariroba	2007/08	1.585.376	82.599	0	85.035	85.035
Ouroeste	2008/09	1.353.937	56.655	51.942	27.232	79.174
Dracena	2006/07	970.755	0	85.631	0	85.631
Vale do Paranaíba	2000/01	1.746.000	75.000	0	76.000	76.000
Vale do Paraná	2008/09	728.399	0	0	63.307	63.307
Cevasa	1998/99	1.382.953	0	85.257	27.307	112.564
Aroeira	2010/11 ²	-	-	-	-	-
Difusor+Moenda						
Vale do Rosário	1996/07	5.922.940	359.728	122.050	123.207	245.257
Cruz Alta	1986/87	4.436.982	459.022	3.359	75.233	78.592
Gasa	2007/08	1.879.159	50.642	36.779	94.905	131.684
Noroeste Paulista	2008/09	1.725.858	49.062	19.510	95.545	115.055
CERP (Galo Bravo)	1985/86	1.231.565	29.834	17.316	64.742	82.058
Moenda						
Usina da Pedra	-	4.006.495	198.300	94.929	125.412	220.341
Rafard	-	2.560.605	189.226	41.108	56.857	97.965
Jardest	-	1.168.221	85.870	36.875	10.738	47.613
Santa Rita	-	2.283.199	80.114	0	139.390	139.390
Ferrari	-	1.865.947	115.562	30.187	53.277	83.464
Triálcool	-	1.880.000	90.000	0	83.000	83.000

Fonte: Pesquisa de campo.

Nota: ¹ Safra do início da operação do difusor.

² Prevista para o início das operações com um difusor de 6.000 tc/dia na safra de 2011/12.

Os dados revelam que foi principalmente após meados da atual década que a opção pelo sistema de difusão fez-se mais presente e que parte das novas unidades instaladas optaram por essa tecnologia. Das sete fábricas listadas no QUADRO 5.4 que optaram por utilizar essa tecnologia, seis entraram em operação recentemente, ou seja, possuem um histórico menor que 6 safras.

QUADRO 5.6: Composição acionária e/ou participação das unidades contatadas para a pesquisa de campo – posição em outubro de 2009

Identificação de empresa	Composição acionária	Município
Difusor		
Frutal	Moemapar ¹ 56% (Brasil); Minoritários 43% (Brasil).	Frutal/SP
Vertente	Moemapar 50% (Brasil); CLEEL Empreendimentos ² 50% (Brasil).	Guaraci/SP
Guariroba	Moemapar 40% (Brasil); Grupo CFM 30% (Britânico) ³ ; CLEEL Empreendimentos 30% (Brasil);	Pontes Gestal/SP
Ouroeste	Grupo Arakaki ⁴ 50% (Brasil); Moemapar 50% (Brasil)	Ouroeste/SP
Dracena	Exxel Brasileiro de Petróleo (Brasil).	Dracena/SP
Vale do Paranaíba	Grupo João Lyra (Brasil)	Capinópolis/MG
Tropical	Grupo Santelisa Vale 25% (Brasil); BP 50% (Britânica); Grupo Maeda 25% (Brasil).	Edéia/GO
Vale do Paraná	Grupo Uniálcool (Brasil); Grupo Manuelita (Colômbia); Grupo Pantaleón (Guatemala).	Suzanápolis/SP
Usina Aroeira	Grupo Maubisa ⁵ (Brasil); Grupo Perplan ⁶ (Brasil); Agropecuária Saci (Brasil)	Tupaciguara/MG
Cevasa	Cargill 63% (EUA); Maubisa 27% (Brasil).	Patrocínio Paulista/SP
Difusor+Moenda		
Unidade Vale do Rosário	Grupo Santelisa Vale ⁷ (Francês)	Morro Agudo/SP
Unidade Cruz Alta	Açúcar Guarani (Francês)	Olímpia/SP
Cosan-Unidade Gasa	Grupo Cosan (Brasil)	Andradina/SP
Usina Noroeste Paulista	Grupo Noble (Britânico)	Sebastianópolis do Sul/SP
Usina Galo Bravo (CERP)	Ricardo Mansur (Brasil)	Ribeirão Preto/SP
Moenda		
Usina da Pedra	Grupo Pedra Agroindustrial ⁸ (Brasil)	Serrana/SP
Usina Rafard	Grupo Cosan (Brasil)	Rafard/SP
Usina Jardest	Grupo Santelisa Vale (Francês)	Jardinópolis/SP
Santa Rita	Família Cury (Brasil)	Sta. Rita do Passa Quatro/SP
Usina Ferrari	Ferrari Agroindustrial (Brasil)	Porto Ferreira/SP
Usina Triálcool	Grupo João Lyra (Brasil)	Canápolis/MG

Fonte: Pesquisa de campo.

Notas: ¹ Moemapar é a *holding* cujo controle é dividido entre os empresários Maurílio Biagi Filho, Eduardo Diniz Junqueira e ainda filhos de Armando Junqueira.

² Uma empresa do Grupo Húmus Agrotterra, holding das famílias Marchesi e Lunardi, com tradição no fornecimento de cana na região de Ribeirão Preto.

³ Agro-Pecuária CFM tem sede em São José do Rio Preto (SP), o grupo de capital britânico opera no Brasil desde 1908, detém 12 fazendas, distribuídas pelos estados de São Paulo, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, somando um rebanho de corte de mais de 94,8 mil cabeças, das quais 44 mil são matrizes.

⁴ Grupo Arakaki de Fernandópolis/SP possuem seis empresas que atuam em diversos segmentos, como agroindústrias (Alcoeste) e comércio (concessionárias de tratores e motos).

⁵ O Grupo Maubisa é uma *holding* baseada no patrimônio familiar da família Amorim Biagi. Tendo Maurilio Biagi Filho como fundador e líder, a empresa possui foco em gerenciar investimentos e participação societária em Usinas de álcool, açúcar e energia.

⁶ Empresa que pertence a Uni-Systems do Brasil, fabricante de equipamentos para o setor sucroalcooleiro.

⁷ Em 27 de outubro de 2007 a Santelisa Vale passou a ser controlada pela Louis Dreyfus Commodities (LDC) com 60% das ações, antigos acionistas liderados pelas famílias Biagi, Junqueira Franco e pelo banco Goldman Sachs ficaram com 17%; o BNDESPar tem 1%; e os bancos credores (Bradesco, Itaú, Santander e Votorantim) ficarão com 15%.

⁸ Controlado pela família Biagi.

Outras duas usinas, que expandiram suas operações durante a década de 2000, também optaram pelo sistema de difusão. São elas: a Gasa, pertencente ao Grupo Cosan, que completou sua segunda safra com um difusor, e a Noroeste Paulista que foi adquirida recentemente pelo Grupo Noble do Grupo Petribu de Pernambuco⁴⁴. A Noroeste Paulista, que anteriormente era denominada de Petribu Paulista, está localizada no município de Sebastianópolis do Sul em São Paulo, inicialmente foi instalado um sistema de moenda com 6 ternos modelos ZF de 66”, projeto da Farrel e fabricados pela Zanini Equipamentos Pesados S.A.. Em seguida a unidade foi ampliada com a construção de um difusor com capacidade de processar 12.000 tc/dia, foi o primeiro equipamento de difusão fornecido pela Dedini em parceria com a Bosch da África do Sul.

O QUADRO 5.6 traz informações sobre a composição do capital das unidades que foram contatadas na pesquisa de campo. As informações foram obtidas durante a visita junto aos representantes das empresas. Mostra que dentre as vinte e uma unidades selecionadas e contatadas para participarem da entrevista, oito possuem no seu quadro societário empresas ou grupos econômicos de capital internacional.

Dentre as que foram constituídas mais recentemente, durante o último período de grande expansão da atividade no Brasil – aproximadamente entre 2004 e 2007 – a Ouroeste, Guariroba, Vale do Paraná, Tropical e Noroeste Paulista são as que se destacam com participações internacionais. Merecem destaques os casos da Usina Noroeste Paulista em que, o Grupo Noble controla 100% das operações dessa fábrica; e da destilaria Bioenergética Tropical na qual a *British Petroleum* (BP), inicialmente um acionista minoritário, tornou o controlador principal com metade das ações.

⁴⁴ Segundo informações obtidas durante as entrevistas, Noble Group é uma empresa inglesa com sede em Hong Kong especializada em produzir e negociar matérias-primas (*commodities*), em todo o mundo, a Noble fatura mais de US\$ 11 bilhões por ano. A empresa começou no Brasil como *trading* agrícola, exportando grãos. Hoje tem investimentos em logística, usinas de álcool e açúcar e mineração. Iniciou em 2009 a construção de um terminal no porto de Santos (SP), o primeiro da empresa no Brasil.

Das unidades oito unidades que possuem exclusivamente sistema de difusão para extrair sacarose e que processaram cana-de-açúcar na safra 2008/09 e listadas como contatadas para essa pesquisa, três possuem na sua participação capital internacional. Destaca-se a Usina Guariroba, que tem como sócio a britânica CFM, que além de participar com 30% no capital industrial instalado, configura-se como a principal fornecedora de cana-de-açúcar para processamento da indústria. Esse grupo agropecuário é um grande proprietário de terras no Brasil, e a Usina Guariroba foi construída entre duas de suas fazendas, uma no município de Cardoso e outra em Pontes Gestal, município onde se localiza a usina, isso facilita sua atuação como fornecedora.

A destilaria Vale do Paraná é controlada pelo Grupo Uniálcool da – família Zacaner – possui atualmente três unidades em funcionamento e uma em construção: a Unialco S. A. em Guararapis/SP; a Alcoolvale em Aparecida do Tabuado/MS; Dourados Álcool e Açúcar em Dourados/MS (em construção); e a Vale do Paraná S. A. Álcool e Açúcar. Segundo informações obtidas durante a visita, essa última possui participações de dois grupos açucareiros internacionais. O Grupo Manuelita da Colômbiam que processa cerca de 3 milhões de toneladas de cana por safra e tem fábricas na Colômbia e no Peru, atua também no processamento de óleo de palma. O Grupo Pantaleón, que possui na Guatemala três usinas de açúcar e álcool, que processam juntas, cerca de 4,8 milhões de toneladas, e uma outra fábrica na Nicarágua, com processamento de 2,5 milhões de toneladas por safra, atua ainda no setor imobiliário.

Apenas a Usina São Francisco, pertencente ao Grupo Usina São João, instalada em Quirinópolis/GO e em funcionamento desde a safra 2007/08 e Bioenergética Tropical, instalada em Edéia /GO que operava desde 2008/09 não foram contatas para participarem da pesquisa de campo. O principal motivo foi que essas unidades estão instaladas em regiões distantes de São Paulo, o que demandaria recursos financeiros não disponíveis no momento para visitá-las. Porém, a Bioenergética Tropical destaca-se nos QUADROS 5.4 e 5.5 como objeto do estudo de campo. Isso se deve ao fato de que quando foi feita a visita a Usina Vale do Rosário em Morro Agudo/SP, o gerente industrial que respondeu a entrevista e acompanhou a visita técnica, informou que o Grupo SantaElisa Vale, controladora da Vale do Rosário, e da Tropical havia vendido parte de sua participação nessa segunda unidade para a britânica BP. Como esse gestor conhecia a unidade Tropical, perguntei a seu respeito, o que me foi prontamente respondido. Além das razões já destacadas, a visita à unidade Tropical também foi impossibilitada pelo fato de que o seu gerente industrial se encontrava na sede da BP em Londres em treinamento corporativo.

De maneira geral, pode-se observar que as novas unidades processadoras de cana-de-açúcar (também chamadas de projetos de “*greenfield*”) são as que mais optaram pelo sistema de difusão nos últimos anos. Conforme um consultor especialista na área de integração de sistemas de fabricação de açúcar/álcool e geração de energia entrevistado durante esse trabalho, nos projetos *greenfield*, principalmente de grupos estrangeiros, o foco está voltado para a produção de etanol e a cogeração de energia. Assim, algumas dessas novas unidades apenas reservam espaço para a instalação, em outro momento, de planta industrial destinada à fabricação de açúcar. Durante a pesquisa realizada, foi constatado dentre as unidades visitadas que a Usina Tropical, Vale do Paraná e Dracena enquadram-se nessa classificação de projeto.

O QUADRO 5.7, foi adaptado de uma apresentação do vice-presidente de tecnologia e desenvolvimento do Grupo Dedini no Simtec (Simpósio Internacional e Mostra de Tecnologia da Agroindústria Sucroalcooleira) realizado em junho de 2007 no município de Piracicaba. Esse executivo fez, naquela época, um levantamento indicando a evolução da opção de instalação por parte das unidades processadoras das duas tecnológicas disponíveis para extração da sacarose, qual foi a mais utilizada pelas unidades que expandiram sua produção e/ou iniciaram suas operações a partir do zero (*greenfield*).

QUADRO 5.7: Participação das duas tecnologias de extração de sacarose nas decisões de investimentos recentes do setor sucroalcooleiro

Período	Total Brasil	Tecnologia utilizada	
		moendas	difusor
até 2004	347	339	08
até julho 2007	393	371	22 ¹
entre 2004 - 06/2007	63 novas fábricas (<i>greenfield</i> +ampliação)	44	14
entre 2004 – 06/2007	43 novas fábricas (<i>greenfield</i>)	32	11

Fonte: Adaptado de Dedini Indústria de Base – Apresentação no Simtec 2007.

Notas: ¹ Equipamentos instalados, em construção e contratado.

O QUADRO 5.7 apresenta algumas dúvidas quanto ao número de unidades que operavam com difusores até meados de 2007, e quanto aos novos projetos que entraria em operação a partir deste mesmo ano⁴⁵. Em termos absolutos, essas dúvidas minimizam a importância da informação, porém o que se pretende aqui é destacar que, e termos relativos, das 63 decisões de investimento

⁴⁵ Essas dúvidas podem ser levantadas quanto comparamos o referido quadro com o QUADRO 5.4, e contabilizamos as unidades que optaram pela difusão, verifica-se uma diferença significativa no número de unidades. Parte dessa diferença pode ser explicada na origem dos dados comparados. No QUADRO 5.4 o executivo da Dedini, apresenta números de decisões de investimentos que necessariamente não se efetivaram devido, principalmente, a crise financeira internacional de 2008. E no QUADRO 5.4, são apresentados dados coletados de fontes primárias (pesquisa de campo) e secundária (publicação especializada) e são contabilizadas apenas unidades em operação e as que já iniciaram sua instalação.

para instalação de novas unidades de extração de sacarose de cana-de-açúcar entre 2004 e meados de 2007 no Brasil, apresentadas por esse executivo do setor, 14 optaram pelo sistema de difusão, ou seja, em torno de 22%. Dentre essas 63 decisões, pelo menos 43 eram de fábricas novas (*greenfield*), das quais 11 optaram pelo sistema de difusão, aproximadamente 26% das escolhas.

A apresentação desse executivo evidencia que as decisões de empresários do setor pelo sistema de difusão vêm crescendo nos últimos anos. Esse crescimento é maior no grupo de firmas que optaram pelo *greenfield*, e um pouco menor nas decisões de expansão. Essa diferença é de certa forma compreensível, ou seja, uma unidade que já operara com um determinado sistema de extração de sacarose possui uma experiência, baseada no seu aprendizado, muito relevante no momento de decidir sobre sua expansão: replicar o sistema tecnológico já adotado e relativamente dominado, ou optar por um novo modelo.

Assim, a pergunta a ser respondida é a seguinte: o que fez com que alguns empresários optassem pelo sistema de difusão? A resposta não baseará em vantagens técnicas dessa opção tecnológica, uma vez que esse ponto será devidamente abordado no item seguinte desse capítulo. Segundo informações coletadas durante as entrevistas, uma planta completa de processamento de cana-de-açúcar, independente da tecnologia de extração, leva entre 18 e 24 meses para ficar pronta para iniciar sua operação. Assim, a decisão em optar entre uma e outra tecnologia de extração de sacarose, para uma unidade que começou a operar em meados 2007, foi feita entre 2005 e 2006.

Parte da opção pelo sistema de difusão entre 2004 e 2006 deve-se ao fato de que as firmas fabricantes de moendas demorariam mais de dois anos para entregar suas encomendas, devido à grande procura pelos seus equipamentos, isso “abriu espaço” para os fabricantes de difusores. A Uni-Systems e a Sermatec, apresentaram o sistema de difusão como uma opção com viabilidade produtiva, custo comparado reduzido e com potencialidade de instalação de uma planta completa em no máximo 18 meses.

É importante apontar que a opção pelo sistema de difusão, independentemente do seu motivo aparente até então destacado, ocorreu em unidades controladas por tradicionais empresários e/ou grupos econômicos do setor que possuíam unidades com sistemas de moendas, como é o caso da Vale do Paranaíba, Vale do Rosário, Galo Bravo, Ouroeste, Frutal e outras. E em novas unidades, com participação acionária de capital internacional, como foi o caso da Guariroba, Vale do Paraná, Cevasa, Noroeste Paulista, Tropical, entre outras. Ou seja, esse

trabalho não pode identificar, uma correlação de preferência para a adoção recente da tecnologia da difusão em função da participação acionária de capital tradicional, nem da sua origem.

Então foi, perguntado aos entrevistados e consultores a possibilidade de investidores importarem equipamentos para extração de sacarose, frente à incapacidade das firmas nacionais de ofertarem tais equipamentos. Segundo um consultor, praticamente todo o capital disponibilizado para os projetos *greenfield* executados a partir de 2004 foi tomado, por financiamento via BNDES, esse banco não financia a importação de máquinas e equipamentos novos dos quais existe similar nacional.

A crise financeira internacional, que teve seu auge em 2008, fez com que inúmeras firmas que pretendiam ampliar suas plantas de álcool e açúcar ou que iniciariam suas operações a partir de então, suspendessem seus investimentos. Segundo informações de um consultor entrevistado, em 2007 o setor previa a entrada de pelo menos 35 novas usinas na safra 2008/09, mas apenas 20 iniciaram as atividades. Esse especialista destacou ainda que muitos investimentos previstos para 2009 e 2010 fora revistos, e que a tendência a ser observada no setor sucroalcooleiro durante as próximas safras é a fusão de empresas e grupos econômicos.

5.3.2 *Quanto à adoção do sistema de difusão no Brasil*

Este item tem a finalidade de caracterizar os quatro atuais fabricantes de difusores do país e identificar as principais diferenças técnicas entre os seus equipamentos.

Atualmente a tecnologia dos difusores de cana-de-açúcar construídos no mundo todo, é predominantemente a desenvolvida no final da década de 1970 pela De Smet e pela BMA.. Essa tecnologia foi a primeira a apresentar elevada capacidade de extração de sacarose, entre 97% e 98%, sem a necessidade de um terno de moenda antes da entrada da cana-de-açúcar no difusor, técnica até então utilizada nos difusores de bagaço. Atualmente os principais fabricantes desse tipo de equipamento no Brasil são: a Sermatec, a Uni-Systems, Dedini e a Brumazi⁴⁶.

A De Smet iniciou suas operações em 1946 quando um engenheiro belga, o senhor J.A. De Smet desenvolveu com sucesso o primeiro processo de extração contínua por solvente de sementes oleaginosas, inicialmente com a semente de "linhaça" e logo em seguida com o girassol. Então diretor superintendente de uma indústria de óleos em Antuérpia. De Smet

⁴⁶ Desde março de 2.000 as empresas FIVES CAIL (França) e FLETCHER SMITH (Inglaterra) fazem parte do mesmo grupo, a COMPAGNIE DE FIVES LILLE, da França. Com a aquisição do controle acionário da FLETCHER SMITH, a empresa brasileira FIVES LILLE DO BRASIL passa a ofertar toda a tecnologia da FLETCHER SMITH, e em particular o difusor para extração de caldo de cana. A tecnologia da FLETCHER SMITH é a mesma do Grupo Tongaat Hulett da África do Sul, país referência no projeto e operação de sistemas de extração por difusor.

registrou imediatamente a patente, fundando em seguida, uma sociedade com a finalidade de comercializar mundialmente sua invenção. Assim nasceu a "*Extraction De Smet*". A partir dessa invenção, a firma aperfeiçoou rapidamente seu processo para oferecer engenharia e fazer o fornecimento de todos os equipamentos que constituem uma planta completa de óleos, desde as técnicas de recebimento de grãos até acondicionamento dos óleos. Incentivado por seu sucesso, o extrator De Smet, como lavador sólido-líquido, seduziu inúmeros industriais para processar outros tipos de matéria prima. Assim nasceu o processo moderno de difusão de açúcar, de lavagem de lã e industrialização e valorização dos subprodutos animais.

No Brasil, os primeiros difusores de cana instalados a partir da década de 1980 foram construídos pela Sermatec, essa empresa foi fundada em 1976 com controle acionário da Usina Santa Elisa, e deste então foi administrada por membros da família Biagi. A Sermatec foi estruturada como uma empresa de montagens de equipamentos para usinas e destilarias, e atuava juntamente com a Zanini (posteriormente denominada de Renk-Zanini), também controlada pela família Biagi. A partir de 2007, a Sermatec passou a desenvolver um projeto próprio de difusor, denominado de Difusor NFZ/2007, esse equipamento será construído pela Zanini Equipamentos Pesados S. A., empresa do mesmo grupo.

A Uni-Systems foi fundada em 1985 como uma empresa de projetos de engenharia dedicada a proporcionar soluções para as indústrias de açúcar, álcool e energia, com modernas tecnologias de processo, soluções otimizadas, e uma série de equipamentos em sua carteira de produtos. Segundo o representante da empresa ouvido durante a pesquisa, a firma possui experiência e tradição no projeto de equipamentos para recepção, preparo de cana e extração do caldo, onde mantém a vanguarda do projeto de difusor com mais unidades em operação no Brasil, Argentina e nos EUA.

A Dedini Industria de Base S.A. é a mais tradicional fabricante de máquinas e equipamentos para o setor sucroalcooleiro nacional, começou suas atividades na década de 1920 em Piracicaba, a partir de então se tornou especializada no projeto e construção de sistemas de moendas. Em 2007 lançou seu sistema de difusão em parceria com a Bosch Projects, uma tradicional empresa de projetos para o setor açucareiro da África do Sul.

A Uni-Systems não é um fabricante de equipamentos de difusão, apenas detém a tecnologia de projeto desse sistema, assim, seus difusores foram construídos em parcerias com empresas de montagem e construção industrial, como a Sermatec. Atualmente os equipamentos vendidos pela Uni-Systems estão sendo fabricados pela Brumazi, segundo informações de representantes dessa empresa, já foram vendido com essa parceria Uni-Systems – Brumazi um

difusor com capacidade de 4.000 tc/dia para uma destilaria no Peru, Usina Caña Brava, que entrou em operação em setembro de 2009; e o difusor para Cargill na Cevasa, em fase final de construção; e mais dois em início de fabricação.

A Brumazi - Soluções Industriais foi fundada em 1989 em Sertãozinho, interior de São Paulo, inicialmente funcionava como uma firma de montagens para o setor sucroalcooleiro, com o tempo especializou na construção de máquinas e equipamento. Atualmente trabalha em parceria com empresas de projetos desenvolvendo e construindo plantas completas para o processamento de cana-de-açúcar⁴⁷.

As indicações de fabricantes *Sermatec e Uni-Systems* no QUADRO 5.4 apontam que neste caso o projeto do difusor é da Uni-Systems e a construção e instalação da Sermatec. Atualmente existem três projetos diferentes de difusores sendo oferecido comercialmente: o da Uni-Systems; o da Sermatec em parceria com a Zanini; e o da Dedini em parceria com a Bosch. Eles apresentam as mesmas características técnica quanto à necessidade de preparo da cana; quanto à alimentação do difuso; à lixiviação da cana picada no interior do aparelho; e aos ternos desaguadores e secador.

Quanto ao projeto da Uni-Systems e da Sermatec, são praticamente idênticos, fato nada curioso uma vez que essa duas empresas trabalharam em parceria projetando, construindo e instalando difusores durante quase duas décadas, logo, para efeito de descrição nesse trabalho, esse projeto de equipamento será denominado de Uni-Systems. A Dedini, com seu Difusor Modular Dedini-Bosch, entrou no mercado com a proposta inicial de solucionar dois problemas de ordem técnica corriqueiramente levantado nos equipamentos da Uni-Systems, que são: i) a manutenção das suas partes rodastes; ii) e a inflexibilidade para expansão desses aparelhos, dada uma especificação nominal de operação. As FIGURAS 5.10; 5.11; 5.12 e 5.13 ilustram equipamentos e aspectos técnicos dos atuais equipamentos de difusão de cana instalados no país.

⁴⁷ Esse tipo de empresa é denominada atualmente de Epcista, ou seja, uma empreiteira especialmente contratada para construir as instalações de projetos EPC, que na sigla em inglês significa Engineering, Procurement and Construction Contracts.



FIGURA 5.10: Compartimento para caldo.
Fonte: Acervo do autor.



FIGURA 5.11: Sistema de recirculação do caldo.
Fonte: Acervo do autor.



FIGURA 5.12: Terno desaguador (perfurado).
Fonte: Acervo do autor.



FIGURA 5.13: Cana lixiviando no interior do difusor.
Fonte: Acervo do autor.

O difusor projetado pela Uni-Systems apresenta um sistema de taliscas e correntes que faz com que a cama de cana picada depositada sobre o assoalho perfurado, à medida em que é lavada, avance dentro do aparelho. Tais taliscas são posicionadas entre duas correntes, as quais são acionadas por eixo localizado em uma das extremidades do equipamento (FIGURAS 5.14; 5.15; e 5.16). O eixo principal é movimentado através de um redutor instalado em um motor elétrico, o controle da velocidade de rotação desse eixo determina o tempo de retenção do colchão de cana dentro do equipamento.

QUADRO 5.8: Especificações técnicas do difusor Uni-Systems

Capacidade processamento	até 80 toneladas de fibra por hora (TFH)
Distância entre centros dos eixos	61,5 metros
Largura	compatível com sua capacidade
Tempo de retenção	aproximadamente 50 minutos
Altura do colchão de bagaço	0,8 a 1,6 metros
Velocidade linear das correntes	1 metro/min
Consumo total de energia (sem ternos)	16,6 HP/TFH
Embebição	250 a 300% fibra
Temperatura em operação	75° a 90° C
Consumo de vapor de baixa pressão	60 a 100 kg de vapor por ton cana/hora (tc/h)
Extração de sacarose	até 98,5%
Umidade final do bagaço	49 a 51%
Índice de células abertas	89% mínimo

Fonte: Aspectos da extração de sacarose de cana-de-açúcar por difusão - Uni-Systems do Brasil (Catálogo Técnico de Equipamento).

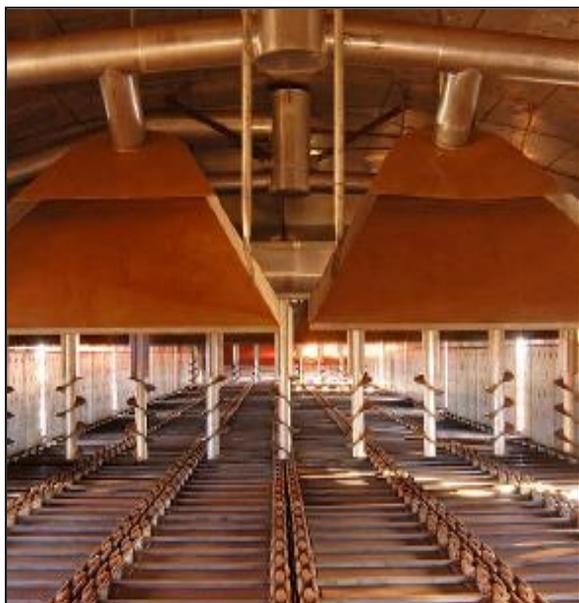


FIGURA 5.14: Sistema de correntes e taliscas.
Fonte: Acervo do autor.

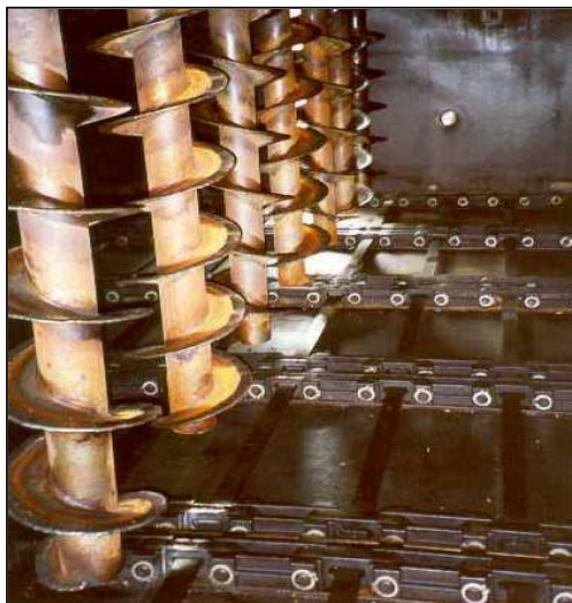


FIGURA 5.15: Interior de um difusor Uni-Systems.
Fonte: Acervo do autor.

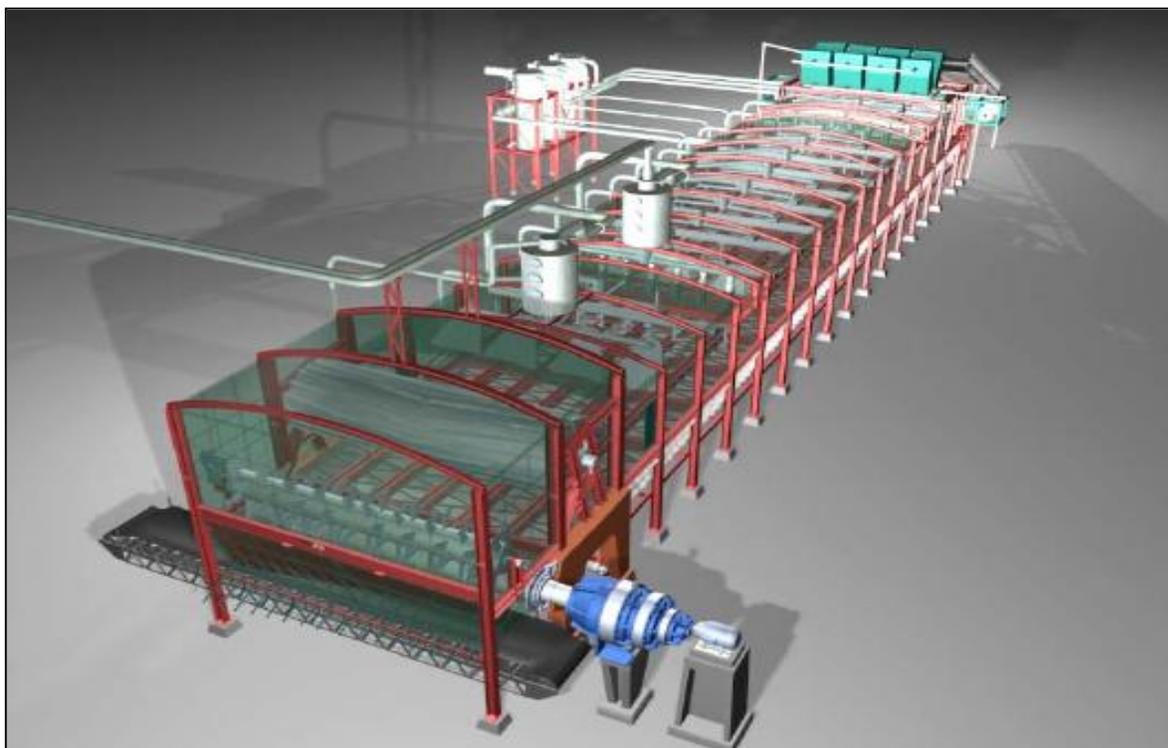


FIGURA 5.16: Vista geral de um difusor Uni-System.
Fonte: Aspectos da extração de sacarose de cana-de-açúcar por difusão - Uni-Systems do Brasil (Catálogo Técnico de Equipamento).

O difusor Modular Dedini-Bosch foi lançado com melhorias tecnológicas decorrentes da observação dos problemas enfrentados pelos equipamentos projetados pela Uni-Systems. O grande diferencial do projeto da Dedini está na substituição do sistema de deslocamento da cana-de-açúcar dentro do equipamento. Considerado como “evolucionário” pelo seu fabricante, a movimentação de carga nesse sistema elimina a utilização de correntes, taliscas, grandes eixos e redutores, é feita através de um fundo móvel perfurado de aço inox (FIGURAS 5.18 e 5.19), acionado por meio de cilindros hidráulicos (FIGURAS 5.17 e 5.20).

Nesse projeto, o fundo do difusor é composto de inúmeros assoalhos perfurados que são acionados individualmente sobre uma pista em um movimento de vai e vem por um sistema hidráulico. A sincronia entre os deslocamentos individuais de cada assoalho faz com que o colchão de cana se movimente a uma velocidade controlada. O representante da empresa informou que tal sistema tornou a construção e instalação do equipamento mais rápida, que sua estrutura é mais leve, que não utiliza componentes mecânicos complexos, e que apresenta um custo de manutenção relativamente menor.

Quanto à sua possibilidade de expansão, o fabricante informa que o modelo é “modular”, ou seja, pode ser expandido em módulos de seis metros de largura com especificação nominal de 6.000 tc/dia, aproximadamente 1.200.000 tc/safra. Segundo o técnico ouvido, como os assoalhos são instalados e acionados individualmente, essa expansão é totalmente possível. No caso do sistema movimentado por correntes, para sua ampliação faz-se necessário a substituição do eixo principal, redutor e acionador, o que inviabiliza sua expansão.

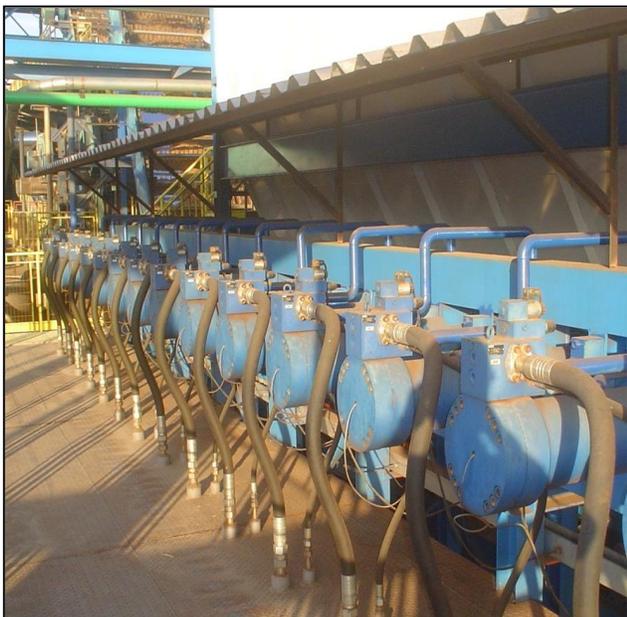


FIGURA 5.17: Acionadores hidráulicos individuais para os assoalhos.
Fonte: Acervo do autor

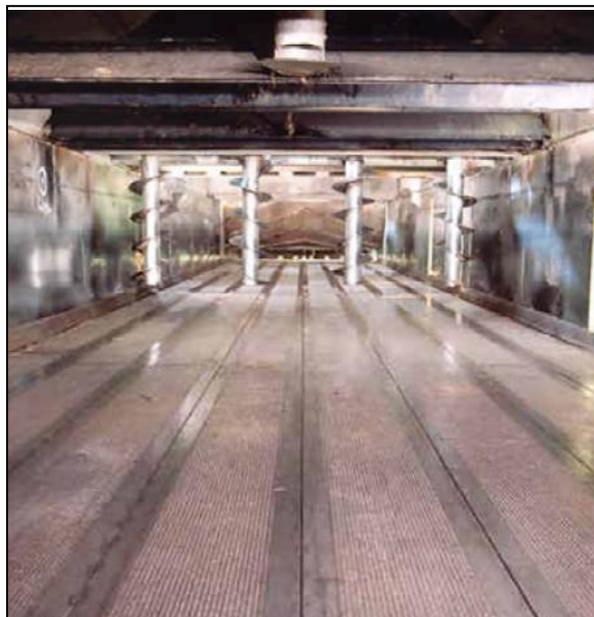


FIGURA 5.18: Rosca afofadoras.
Fonte: Acervo do autor



FIGURA 5.19: Assoalhos que se movimentam individualmente.
Fonte: Acervo do autor



FIGURA 5.20: Acionadores hidráulicos individuais.
Fonte: Acervo do autor

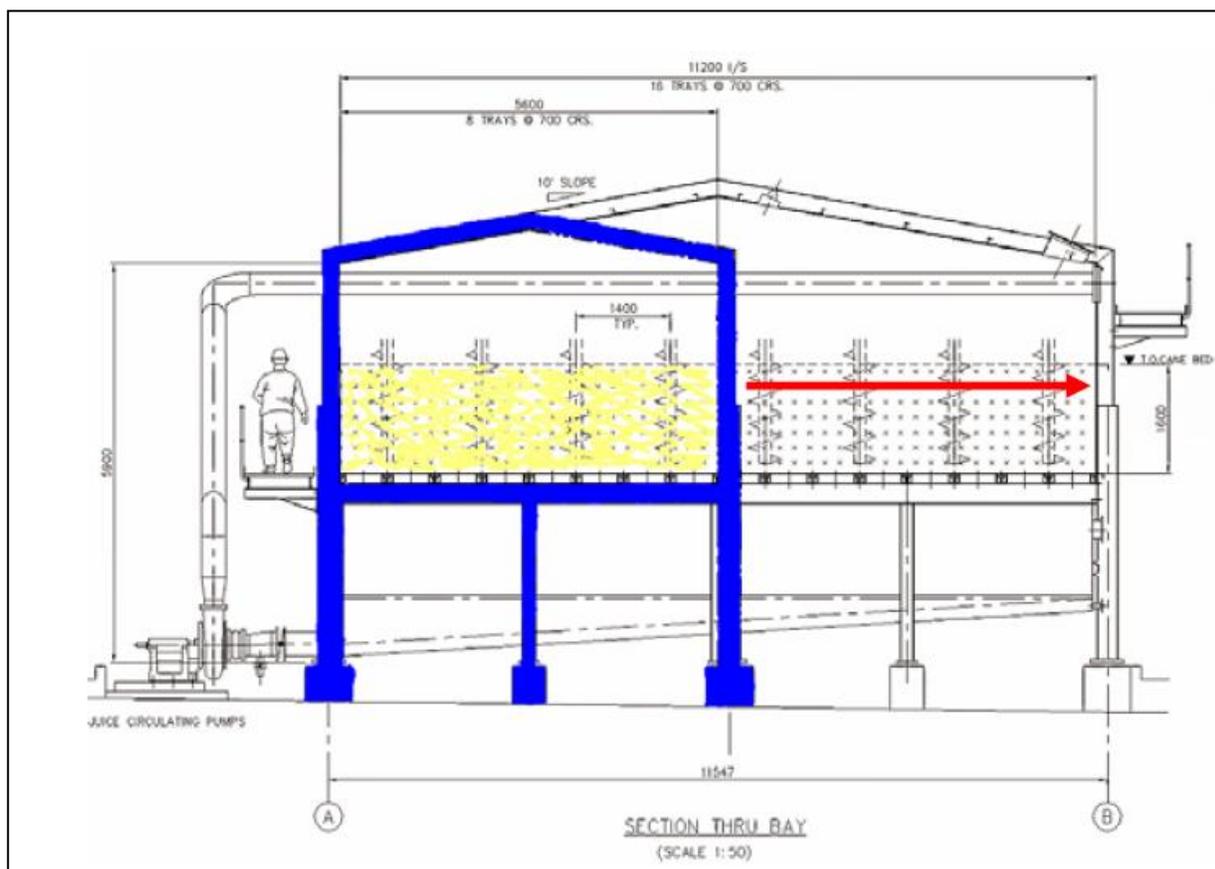


FIGURA 5.21: Esquema de expansão modular do difusor Dedini-Bosch.
 Fonte: Catálogo técnico Difusor Modular Dedini/Bosch.

5.3.3 *Quanto à produção de açúcar e/ou álcool em função do sistema adotado*

Foi comentado por um técnico de uma unidade visitada que o caldo proveniente do difusor possui duas características que o difere do caldo extraído por moagem: i) uma quantidade menor de impurezas em suspensão, devido ao processo de filtragem do caldo quando esse percola sob o colchão de cana; ii) uma quantidade maior de água diluída, devido à embebição do difusor, maior que a da moenda.

Esse profissional destacou que para produzir etanol com teor alcoólico elevado é necessário a evaporação do caldo, como o caldo do difusor é mais diluído, essa etapa do processo é mais intensiva em energia, uma desvantagem do processo⁴⁸. Como vantagem, destacou que o caldo é mais puro, seu processo de clarificação é menos dispendioso em energia, proporcionando redução no risco de problemas de entupimento e no custo de manutenção dos evaporadores.

Um outro ponto relevante ressaltado em uma das visitas foi que o bagaço utilizado no processo de difusão apresenta características físicas que o difere do esmagado em moendas. Na moagem, a fibra da cana é praticamente desintegrada com os sucessivos esmagamentos mecânicos, no difusor essa fibra deve permanecer intacta durante todo o seu tempo de retenção no aparelho, melhorando a lixiviação da sacarose. O colchão de cana no difusor funciona como um filtro retendo as impurezas minerais contidas na cana. Assim, no caso do emprego do difusor, o sistema básico de alimentação da caldeira deve ser modificado para receber bagaço com fibra mais longa e o sistema de cinzas deve ser capaz de operar uma quantidade maior desse resíduo.

No que tange o aumento da quantidade de impurezas minerais (areia) que o bagaço do difusor carrega para a caldeira, um especialista consultado e os técnicos das unidades visitadas foram unânimes. Ambos destacaram que esse aumento na quantidade de areia não representa um problema específico, dependendo, naturalmente, da quantidade efetiva em questão. Que esse problema também ocorre com sistemas de moendas, principalmente em dias de chuva e com cana colhida mecanicamente. De qualquer maneira, recomendam que a câmara de combustão da caldeira deve estar projetada para queimar bagaço com umidade mais alta, e o sistema de grelha deve ser dimensionado para limpezas mais freqüentes, ou limpeza contínua através de uma grelha rotativa.

⁴⁸ Um consultor entrevistado durante a pesquisa ressaltou que na fermentação deve-se trabalhar sempre com caldo da melhor qualidade, e que a clarificação - que em alguns casos pode ser dispensada - deve ser mantida em via de regra, bem como a filtragem para remover o bagaço mais fino. Neste caso, recomenda em seus projetos um tipo turbo filtro e/ou peneiras rotativas com projeto.

Apresentemente, conforme já descrito, não existe problema significativo para a produção de álcool ou para cogeração de bagaço em unidades que utilizam o difusor. Porém, um dos técnicos entrevistados levantou a hipótese, posteriormente confirmada em pelo menos duas unidades visitadas, de que o caldo extraído a partir da difusão apresenta problemas técnicos no momento de fabricar açúcar com uma determinada qualidade superior⁴⁹.

Para esclarecer inicialmente os parâmetros mínimos de classificação de açúcar, foi consultado um técnico açucareiro com grande experiência na fabricação desse produto. Esse profissional informou que a classificação do açúcar quanto à pureza tem grande impacto no seu valor comercial, atualmente o açúcar sem refino é classificado como: i) VHP (*very high polarization*), o mais produzido no país, de menor qualidade e com índice ICUMSA de até 800; ii) VVHP (*very very high polarization*), uma denominação mais recente e pouco produzido no país, apresenta índice ICUMSA de até 450; iii) e o cristal, que é o mais nobres de todos e classificado em Tipo 1 (índice ICUMSA de 100); Tipo 2A (índice de 150); Tipo 2G (150); Tipo 3 (200) e Tipo 4 (400).

Uma técnica responsável pelo setor de qualidade de uma unidade visitada confirmou a hipótese levantada, segundo essa profissional o caldo da moenda é mais fácil de decantar, já o do difusor fica turvo, mesmo após esse tratamento, isso cria condições desfavoráveis para a fabricação de açúcar branco de qualidade. Um entrevistado, que administra uma fábrica que possui os dois sistemas de extração, informou no sistema padrão de tratamento e clarificação de caldo (sem a adição de polímeros), com o extraído por moendas pode-se obter na melhor das condições entre 200 a 400 de índice ICUMSA, no difusor esse valor sobe para a cima dos 450⁵⁰. Muitos pontos foram levantados durante as visitas como sendo responsáveis por esse baixo desempenho na fabricação de açúcar branco de qualidade nos difusores instalados. O que merece destaque é o relacionado a fisiologia da cana, segundo informações obtidas, a água de embebição do difusor trabalha em uma temperatura entre 85° e 90° C, quando o colchão de cana é lavado

⁴⁹ O açúcar para exportação é o cristal branco com classificação ICUMSA (*International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis* - Comissão Internacional para Métodos Uniformes de Análise de Açúcar) de até 150 de cor para consumo, e são embalados em sacos de 50 Kg. O açúcar a granel é livre de embalagem, sendo carregado a direto da produção ao porto de embarque, normalmente possui uma classificação ICUMSA de até 800 de cor, com polarização mínima entre 990 e 994 graus, esse açúcar é destinado exclusivamente para refino. Quanto mais baixo o índice ICUMSA, mais claro ou mais branco, é o açúcar; à medida que esse índice aumenta, o açúcar vai adquirindo uma coloração mais escura. Ver mais em: WHALLEY (1964) e COPERSUCAR (1983).

⁵⁰ Na opinião esse técnico o uso do enxofre é ainda a melhor alternativa, no Brasil, para a retirada de impurezas que dão cor ao açúcar, sua utilização destaca que é simples e segura, quando bem controlada. Quanto às novas alternativas, como os polímeros, descolorantes e a carbonatação; aponta que não são totalmente viáveis devido ao impacto no custo.

sucessivamente a essa temperatura, uma cera contida na casca da cana se desprende e dilui-se ao caldo. Na moagem, a água de embebição encontra-se em torno de 60°C, e não permite a separação desse composto da casca da cana. A cera é arrastada junto ao caldo e dificulta os processos tradicionais de tratamento e clarificação do caldo.

Uma unidade visitada fabrica açúcar cristal branco de qualidade, com índice IMCUSA em torno de 200 e opera unicamente com um difusor de 10.000 tc/dia. O responsável pelo processo de tratamento de caldo informou que o problema quanto à qualidade do caldo foi identificado no início da operação do difusor. Acrescentou que inicialmente era fabricado apenas açúcar VHP através dos métodos tradicionais de tratamento de caldo e clarificação. Posteriormente, a fábrica de açúcar foi ampliada, os decantadores substituídos por equipamentos mais modernos e foi instalado um sistema de clarificação do caldo com polímeros e descolorante.

As unidades visitadas que trabalham unicamente com o sistema de difusão e que possuem fábrica de açúcar, produzem apenas a classificação VHP, com exceção de uma delas, conforme já comentado. Quanto às usinas que possuem os dois sistemas, normalmente o caldo primário da moenda, considerado mais nobre, é direcionada em separado para a fabricação de açúcar de melhor qualidade, enquanto que o caldo do difusor é reservado para a produção de álcool, ou de açúcar VHP, quando é o caso.

A questão levantada aqui é: o que a impossibilidade de produzir açúcar branco de qualidade pelos métodos tradicional pode influenciar a escolha por um dos dois processos? Inicialmente deve-se destacar que as novas unidades instaladas, independente do sistema de extração empregado, foram concebidas em um período de expectativas muito positivas quanto a ampliação da demanda nacional e mundial por álcool. Tanto que a maioria dos projetos *greenfield* desenvolvidos e implementados nos últimos anos, consideram em uma primeira etapa essas unidades como destilarias e cogeneradoras de excedentes de energia, não descartando a possibilidade futura de construção de uma fábrica de açúcar, para tanto o arranjo técnico de projeto que considera o sistema de difusão, até aqui, é totalmente razoável.

Um outro ponto diz respeito à tradição que a agroindústria canavieira do país tem em produzir e comercializar para refino e/ou reprocessamento o açúcar VHP, principalmente para a China, Rússia e países do Oriente Médio. Segundo um consultor do setor, a produção de açúcar branco de qualidade superior, ou até mesmo refinado para a exportação, é viável em usinas instaladas próximos a portos. Ele considera ainda que os contratos comercializados atualmente que priorizam o VHP são mais estáveis, apesar do prêmio menor, permite uma maior segurança

da empresa⁵¹. Ele observa que as fábricas brasileiras precisam analisar se é vantajoso deixar de vender o açúcar VHP, que tem compradores habituais, para investir e produzir o branco de qualidade superior ou o refinado. Nesse segundo caso, será preciso competir com *tradings* e refinadores europeus, que possuem um mercado mais consolidado e uma tradição na comercialização desse tipo de produto.

5.3.4 Quanto aos investimentos iniciais para os diferentes sistemas de extração

Os catálogos técnicos apresentam o difusor como uma alternativa tecnológica com vantagens comparativas significantes ao sistema de moendas, uma dessas vantagens que será abordada nesse item, é o custo comparado de instalação dos dois sistemas. De maneira geral, destaca-se uma economia média entre 10% e 15% no investimento inicial de capital para uma instalação com extração por difusão, comparada a uma com moendas de mesma capacidade nominal de processamento.

Essa economia concentra-se basicamente nos custos com obra civil, um difusor não necessita das fundações de concreto típicas de um conjunto de moendas, e é apropriado para instalação ao ar livre, o que representa economia adicional na construção de edifícios, pontes rolantes e estruturas de suporte.

Durante a pesquisa, nenhum entrevistado dispôs-se a informar o valor dos investimentos realizados, seja por conta do desconhecimento, seja pela alegação de se tratar de informação sigilosa. Assim, os dados aqui apresentados foram obtidos a partir de conversas com consultores do setor que desenvolvem projetos de plantas completas para açúcar e álcool.

O QUADRO 5.9 apresenta os custos de investimento para uma unidade de processamento de cana-de-açúcar completa para uma capacidade de 12.000 TC/dia, aproximadamente 2, milhões de tonelada de cana por safra (com: recepção de cana; preparo e extração do caldo para os dois sistemas, incluindo as obras civis necessárias para a instalação dos sistemas).

Comparando o investimento necessário para instalação de sistema de extração com difusor, com os dois apresentados (QUADRO 5.9) com sistemas de moendas, verificou-se uma redução em torno de 12% para o orçamento 1 e de 7,7% em para o orçamento 2, uma economia observada muito próximos dos estimado pelos analistas.

⁵¹ A seguir, são apresentados os preços médios do açúcar para o mês de setembro de 2009, destinados aos mercados interno e externo, divulgados pelo CEPEA/USP do açúcar branco para o mercado interno (ABMI); e do açúcar branco e VHP destinados ao mercado externo (ABME e AVHP):
 ABMI R\$55,50 /saco; US\$ 30,42/saco; R\$1.110,00/ton.; US\$ 608,40/ton.
 ABME R\$34,52/saco; US\$18,92/saco; R\$690,40/ton.; US\$378,40/ton.
 AVHP R\$28,72/saco; US\$15,74/saco; R\$574,40/ton. ; US\$314,18/ton.

QUADRO 5.9: Orçamentos resumidos de equipamentos (recepção, preparo e extração) e obras civis para sistemas de moenda e difusão no processamento de cana-de-açúcar - valores em R\$ de maio de 2009

Descrição equipamento	Sistema de difusão	Sistema de moendas					
		Orçamento 1			Orçamento 2		
		1º fase	2º fase ²	Total	1º fase	2º fase	Total
Especificação técnica	12.000 TC/dia	4 ternos (39"x66")	+ 2 ternos (42"x78")	6 ternos	4 ternos (39"x66")	+ 2 ternos (42"x78")	6 ternos
Equipamentos	31.528.962	24.487.500	8.162.500	32.650.000	22.884.373	7.628.124	30.512.497
Obras civis	14.768.456	14.768.456	-	18.523.768	19.688.649	-	19.688.649
Outros ¹	5.606.686	5.606.686	-	6.976.342	5.721.233	-	5.721.233
Total	51.904.104	44.862.642	8.162.500	58.150.110	48.294.255	7.628.124	55.922.379

Fonte: Pesquisa de campo.

Nota: ¹ Sistema de transmissão energia, equipamentos elétricos e automação.

² O valor indicado na 2º fase considerado para efeito de estimativa como sendo da 1º fase, sem considerar reajustes e alteração nas taxas de juros.

A possibilidade de flexibilização do sistema de moenda é outro ponto evidente no QUADRO 5.9, os fabricantes apresentaram nos dois casos de orçamentos dos sistemas de moenda analisados, a opção de iniciar o processamento de cana-de-açúcar com uma instalação para extração menor (apenas 4 ternos de moendas) e com uma futura expansão de mais dois ternos, completando o conjunto com os tradicionais 6 ternos.

Segundo informações dos consultores ouvidos, nos contratos de fornecimento desses tipos de equipamentos, é comum a presença de uma cláusula de eficiência mínima de extração do sistema, no caso do sistema de moenda, essa cláusula só garante esse índice caso a planta opere dentro de uma série de especificações técnicas que tenham em consideração, dentre outras as seguintes características: tipo de acionamento; velocidade de operação das moendas; quantidade de fibra da cana; e nível de embebição dos ternos. Essa cláusula também considera a possibilidade da instalação do conjunto em duas etapas, como apresenta especificado nesse trabalho. Caso o investidor opte por um desembolso inicial (1º fase) e uma expansão futura (2º fase), a eficiência de extração e a capacidade nominal serão inicialmente menor, e após a implantação completa da 2º fase, seguirá o especificado para um conjunto completo com 6 ternos.

No caso do sistema com difusor, as informações obtidas indicam que não existe, até o momento, casos em que se verificou de instalação da unidade de extração de sacarose em duas etapas. Quando perguntado, um entrevistado destacou que o Difusor Modular Dedini-Bosch, (que tem como vantagem comparativa a possibilidade de expansão) trata-se de uma expansão modular mínima de 6.000 tc/dia. Porém, esse mesmo especialista ressaltou que não se trata bem de uma

expansão, mais sim da instalação de um novo difusor em paralelo ao em funcionamento. Frisou ainda que essa possibilidade inviabilizaria a operação do difusor já instalado durante todo o processo de construção do módulo expandido. Em suma, finalizou comentando que neste caso, seria economicamente mais viável e prudente, do ponto de vista operacional, a instalação de um novo sistema de recepção, preparo e extração com difusor, paralelo ao em funcionamento.

Finalmente esse especialista informou que os atuais aparelhos de difusão permitem uma flexibilidade na quantidade de cana-de-açúcar processada entre 10% e 15% no máximo. Para tanto, faz-se necessários ajustes na altura e na velocidade de deslocamento do colchão de cana, o que influencia diretamente o coeficiente nominal de extração de sacarose do aparelho. No geral, a cláusula contratual de garantia de eficiência para o difusor, que ficam entre 96% e 98%, também exige recomendações quanto às características da cana-de-açúcar processada, ao nível de preparo de cana, a critérios mínimos de ajuste e operação do aparelho.

5.4 Comparação técnica/econômica do emprego das duas tecnologias

5.4.1 Coeficiente de extração de sacarose

O QUADRO 5.10 apresenta os resultados médios obtidos para índice de extração de sacarose para os dois sistemas disponíveis nas unidades visitadas. É importante lembrar que o coeficiente de extração de sacarose representa a quantidade efetiva de sacarose que é retirada da cana-de-açúcar durante o processo de extração. A quantidade que não é extraída, ou que fica no bagaço, é queimada na caldeira.

As principais variáveis ligadas diretamente ao processo de extração no sistema de moenda são, entre outras: a capacidade de esmagamento dos cilindros; a embebição; e a velocidade periférica dos rolos. Na difusão, os fatores principais são: a embebição; a velocidade de deslocamento (tempo de retenção); e a altura do colchão de cana.

O QUADRO 5.10 indica que, entre as empresas pesquisadas, as unidades que optaram pelo sistema de difusão apresentaram na média um coeficiente de extração de sacarose em torno de 97,56%; enquanto que nas unidades que utilizam o sistema de moenda esse valor foi de 95,9%. As unidades que utilizam os dois sistemas, esses valores médios foram de 96,03% para sistemas com moendas e 97,33% para difusores.

QUADRO 5.10: Valores médios do coeficiente de extração de sacarose d cana-de-açúcar nas usinas visitadas em função do sistema adotado

Sistema	Valores máximos e mínimos	Média
Difusor	máx: 97,85% mín.: 96,62%	97,56%
Moenda	máx: 96,5% mín.: 95,4%	95,9%
Moenda + difusor	moenda máx: 96,4% mín.: 95,7%	96,03%
	difusor máx: 97,7% mín.: 96,2%	97,33%

Fonte: Pesquisa de campo.

Assim, confirmou-se que ocorre uma melhor eficiência no caso do uso da difusão. Até que ponto uma diferença tão pequena no coeficiente de extração de sacarose é fundamental para a decisão quanto ao sistema a ser utilizado? E essa diferença é relevante para uma unidade trocar de sistema? Tais perguntas foram feitas durante as visitas realizadas.

Um dos entrevistados informou que uma diferença no coeficiente de extração de sacarose de 1,5%, considerando um ATR (Açúcar Total Recuperável) de 140 kg de açúcar/tonelada de cana, que é a média em São Paulo, pode representar em uma usina que processa um milhão de toneladas de cana/safra em torno 2.100 toneladas a mais de açúcar, considerando o preço do açúcar VHP de setembro de 2009 para exportação como sendo de US\$ 314,1/tonelada, uma receita extra com venda de aproximadamente US\$ 660.000.

Segundo especialistas entrevistados, esse valor por si só justifica apenas a opção do sistema de difusão em unidades novas, em implantação, com capacidade nominal de extração em torno de dois milhões de toneladas de cana/safra. Ou, em unidades com uma expansão de pelo menos um milhão de toneladas de cana/safra. Além disso, todos consultores e técnicos das unidades visitas ouvidos durante a pesquisa foram enfáticos em afirmar que esse incremento no faturamento, não justifica uma substituição de um sistema de moendas em operação por um difusor.

Um entrevistado, que gerencia os dois tipos de sistemas em uma das unidades visitadas, foi categórico em afirmar que tal incremento produtivo em favor do difusor, não justifica sua opção quando comparado com a vantagem de flexibilidade que o sistema de moenda permite. Complementando sua resposta, afirmou que um *tandem* de moendas de 66” possui a mesma capacidade de processamento de um difusor de 10.000 tc/dia. Esse mesmo conjunto de moendas, substituindo o primeiro terno por um com 78”, permite ampliar sua capacidade de extração para

11.000 tc/dia. No mesmo *tandem*, se utilizarmos moendas de 84” no 1º terno, sua capacidade de extração é elevada para 16.000 tc/dia. Continuando, o entrevistado destacou que a flexibilidade no sistema de moendas assegura um aumento em etapas da sua capacidade de produção, permite ajustar investimentos industriais com a evolução da área agrícola. Destaca que isso é fundamental para as áreas de fronteira de canaviais em formação ou expansão

Um outro entrevistado destacou que no Brasil a prioridade do setor sempre foi a capacidade de processamento das unidades, o que foi consolidado durante o período de intervenção estatal ou do regime de quotas de produção. Isso contribuiu para que o coeficiente de extração de sacarose ficasse relegado. Optando pelo difusor, a unidade tem de crescer em etapas modulares, iguais à capacidade nominal de um novo equipamento, o que pode representar um gasto com investimento comparativamente mais elevado. O sistema de moenda permite uma progressão flexível da sua expansão, porém com rendimentos de extração inferiores.

Aponta ainda que, diferentemente do acontecido no Brasil, as fábricas da África do Sul, priorizam os índices de extração de sacarose, lá os difusores e as moendas têm valores de extração praticamente da mesma ordem de grandeza. Entretanto, para que isso ocorra é necessário operar o sistema de moendas com baixa velocidade periférica dos rolos, diminuindo a capacidade de processamento do conjunto e aumentando as taxas de embebição, condições diametralmente opostas das praticadas atualmente pelas unidades no Brasil.

5.4.2 *Custo de manutenção*

Nas publicações que apresentam diferenças técnicas entre os dois sistemas de extração de sacarose em questão, um dos principais pontos destacados é o custo de manutenção. Todas são unânimes em destacar que, sob o ponto de vista da manutenção mecânica, os custos com o difusor comparativamente são mais baixos.

Normalmente esses estudos apontam que o custo de manutenção para um difusor completo, com os rolos desaguadores e moenda de secagem, representam em torno de 35% a 40% do custo requerido por um *tandem* de moenda convencional, com a mesma capacidade de processamento.

Consultados sobre esse ponto, os entrevistados confirmaram a vantagem comparativa do difusor frente aos custos de parada durante a safra e a manutenção na entre safra. Dois deles informaram que, no caso do difusor, deve-se considerar que a manutenção durante a safra praticamente não existe, o que significa, em muitos casos, possibilidade de redução da duração da safra, com sua intensificação e pouca parada emergencial.

Em todas as unidades visitadas foi perguntado sobre os custos com manutenção de entre safra. No caso das usinas que utilizavam o sistema de moendas, na média, a manutenção completa de um terno de moenda custa entre R\$ 150.000 e R\$ 180.000. Como as unidades que optam por esse processo utilizam seis ternos, o custo médio de manutenção de um conjunto de moendas fica entre R\$900.000 e R\$1.080.000 a cada entre safra. No sistema de difusão, as unidades estimam um custo médio de manutenção entre R\$ 400.000 e 600.000, incluindo os dois ternos no final da linha de extração.

Um entrevistado destacou que as novas unidades, instaladas principalmente nos Estados de Goiás, Mato Grosso e até mesmo em Minas Gerais, muitas vezes não dispõem de mão-de-obra local para formar equipes de manutenção especializada. Como o sistema de moendas é mais vulnerável a paradas durante a safra, esses reparos de emergência ficariam comprometidos por falta de pessoal especializado. Além disso, essas regiões são distantes dos principais centros fornecedores de tecnologia e serviços de manutenção terceirizados, o que dificulta a reposição de peças ou o conserto de máquinas e equipamentos. Nesse ponto o difusor leva vantagem, pois requer pouca manutenção, a qual pode ser feita por equipes da própria unidade.

Quando ao menor gasto médio apresentado durante a pesquisa, um consultor informou que ele é totalmente condizente com a realidade dos dois sistemas. Segundo esse especialista, o processo de difusão emprega uma potência mecânica comparativamente menor que do sistema de moendas, portanto, causa um menor atrito entre as partes, logo um desgaste menor, o que resulta em menor gasto de manutenção das máquinas e equipamentos do sistema de extração.

Um dos entrevistados apontou a flexibilidade do sistema de moendas como uma importante característica também para a análise do custo de manutenção comparativo dos dois sistemas. Na avaliação desse profissional, o sistema de moendas permite a manutenção de um ou até dois ternos ao mesmo tempo, sem que a etapa de moagem pare por completo, é claro que a eficiência do processo fica prejudicada, mais o esmagamento da cana-de-açúcar continua. No sistema de difusão isso seria impensável, no caso da quebra de um acionador planetário, ou do um eixo principal, esse aparelho ficaria totalmente inutilizado até a reposição, ou reparo dos itens danificados. Isso ocorreu com uma das unidades visitadas, as engrenagens do eixo principal que aciona as correntes apresentou um problema de fabricação, todo o eixo teve de ser substituído, um trabalho que durou pelo menos três meses, inviabilizando o funcionamento do difusor durante esse período.

5.4.3 *Considerações finais sobre a adoção de um ou outro sistema*

Este item apresenta considerações particulares quanto ao principal motivo que determinou, em cada unidade, a opção feita. Apresenta ainda dois quadros resumos (QUADRO 5.11 e 5.12), que compararam informações e características técnicas a respeito das duas tecnologias empregadas nas unidades visitadas. Por fim, o QUADRO 5.13 apresenta uma síntese dos principais problemas enfrentados pelos administradores e técnicos das unidades visitadas durante as primeiras safras de operação dos difusores recém instalados.

O gerente industrial de uma das unidades visitadas, que operava até meados da década de 1990 dois conjuntos de ternos de moendas e, a partir de então expandiu sua capacidade de produção com um difusor, informou que essa escolha foi mais estratégica que propriamente de custo/benefício. Segundo esse funcionário, a unidade precisava ampliar sua capacidade de esmagamento, porém as áreas próximas à usina e com potencial para ampliação do plantio pertencia a membros de uma tradicional família de pecuaristas extensivos. O acordo entre as partes fez com que os pecuaristas tornassem sócios da usina, cedendo parte de suas terras para o plantio da cana, desde que fosse construído próximo à usina e de uma das fazendas, uma fábrica de ração animal e instalações de engorda intensiva de gado, compensando a redução da área de pastagem.

Esse gestor destacou ainda que a família que controlava a usina era a mesma que havia fundado a Sermatec anos atrás, e a opção pelo difusor estava ligada a duas razões, a primeira de que a instalação desse equipamento seria o primeiro construído pela indústria, e serviria de apresentação da tecnologia para outros potenciais investidores. Assim, optou-se pelo equipamento, mesmo apresentando na época um investimento inicial em torno de 15% maior, comparado a um terceiro conjunto de moendas.

A segunda razão foi o potencial excedente de bagaço gerado com a operação desse equipamento. Conforme constatado na época, o funcionamento do difusor demandou um volume de bagaço, transformado em energia térmica, 25% menor do que um conjunto de moendas de mesma capacidade de processamento. O excedente de bagaço gerado foi direcionada à fábrica de ração, cumprindo o acordo inicial, o equipamento funciona até hoje, com relativo excedente de bagaço que é revertido em ração animal.

Uma outra unidade visitada, que se encontra em construção no Triângulo Mineiro e que foi projetada com um difusor de 6.000 tc/dia, tem como um dos sócios uma empresa controlada pela Uni-Systems. Quando perguntado especificamente sobre esse fato, o representante da unidade destacou que essa parceria apresenta uma vantagem significativa, será o primeiro

equipamento projetado, montado e operado por profissionais ligados diretamente a Uni-Systems. Ainda que não seja essa a finalidade principal da unidade, mas que a ligação societária para a firma pode funcionar como uma base experimental de melhorias incrementais no processo de difusão, testes de novas tecnologias e adaptações para o processos de extração. Por fim, frisou que, independente do sistema adotado na unidade em que gerencia, é adepto do sistema de difusão, principalmente pela sua simplicidade de operação.

Um outro entrevistado informou que a fábrica que administra faz parte de um conjunto de cinco unidades construídas recentemente e que tem a participação societária da Moemapar, um tradicional grupo econômico do setor sucroalcooleiro paulista. Destes 5 projetos *greenfield*, apenas um foi construído com sistema de moendas, nos 4 restantes optaram por equipamentos de difusão, fabricados pela Sermatec com projeto da Uni-Systems. Quando questionado sobre o motivo aparente dessa escolha, o gestor informou que a família Biagi, que controla a *holding* Moamapar, também controla a Sermatec e a Zanini. Como a demanda por sistemas de moenda estava aquecida devido à expansão do setor, e as indústrias fabricantes, incluindo a Zanini encontravam-se na época dos investimentos com sua capacidade de produção próxima do limite, optou-se pela instalação do difusor fabricado pela Sermatec, que se comprometeu em colocar os equipamentos em funcionamento em um prazo comparativamente menor ao dos fornecedores de sistemas de moendas.

Esse gerente apontou uma outra razão pertinente a escolha pelo sistema de difusão, na época de implantação dos projetos havia uma escassez de profissionais aptos para trabalhar em usinas, principalmente nas novas unidades instaladas fora dos tradicionais centros sucroalcooleiros, em consequência do aquecimento do setor. O sistema de difusão demanda um número comparativamente menor de profissionais qualificados, a operação do aparelho é praticamente toda automática e a equipe de manutenção das unidades reduzidas e menos especializadas, um equipamento apropriado para regiões de fronteira, concluiu.

Os entrevistados destacaram problemas enfrentados durante o início da operação com o sistema de difusores, pela informação dos próprios técnicos que trabalham na extração, os incidentes foram na sua maioria ocasionados por defeitos na fabricação de componentes e equipamentos. O QUADRO 5.13 apresenta resumidamente os principais problemas destacados durante a pesquisa.

QUADRO 5.11: Síntese das características técnicas dos dois sistemas de extração de sacarose de cana-de-açúcar – média dos valores obtidos durante pesquisa nas unidades visitadas

Características	Sistema de difusão	Sistema de moenda
Especificação	15.000 tc/dia	90’’x48’’ (12.000 – 16.800 tc/dia)
Capacidade processamento ¹	3.000.000 tc/safra	2.500.000 – 3.400.000 tc/safra
Consumo energia mecânica	140 cv/tc hora	180 cv/tc hora
Embebição	35% a 40% da cana	30% a 35% da cana
Extração de sacarose	até 98,5%	até 97,5%
Umidade final do bagaço	49% a 51%	46% a 50%
Índice de células abertas ²	90% mínimo	80% a 85%

Fonte: Pesquisa de campo.

Notas: ¹ Especificação nominal considerando uma safra com 200 dias de operação.

² Difusor exige um preparo de cana mais pesado comparado ao sistema de moenda.

QUADRO 5.12: Síntese comparativa dos dois sistemas de extração de sacarose de cana-de-açúcar – informações obtidas durante pesquisa nas unidades visitadas

Sistema de difusão	Sistema de moendas
rígido (expansão em módulos)	maior flexibilidade para expansão
sistema de tecnologia fechada	permite pequenos incrementos e melhoria técnica
manutenção simples	manutenção especializada
operação simples e completamente automatizada	operação especializada parcialmente automatizada
intervenções técnicas apenas com o sistema parado	intervenções técnicas (manutenção) com parte do sistema em operação

Fonte: Pesquisa de campo.

Em relação aos problemas apontados no QUADRO 5.13, um gerente industrial entrevistado destacou que todo o sistema de bombeamento de caldo para recirculação no difusor instalado na unidade em que administra, foi construído com bombas de rotor fechado. Segundo informações desse especialista, esse tipo de equipamento não é apropriado para transportar líquido com impurezas suspensas, como é o caso do caldo que possui pequenas partículas de bagaço. Todas as bombas apresentaram sérios problemas de incompatibilidade com o fluído que estava sendo transportado, foram substituídas por equipamentos com rotores abertos, ocasionando aproximadamente três meses de transtorno.

Pelo menos dois funcionários de unidades visitadas informaram que a moenda do terno desaguador, instalado logo após o difusor trincou durante a primeira safra do equipamento. O motivo aparente, e posteriormente confirmado, foi uma falha no processo de usinagem e tratamento térmico do rolo, que é perfurado e muito suscetível a fraturas, em ambas as unidades, o rolo foi substituído.

Em uma unidade visitada, o acionador planetário do eixo principal do difusor quebrou por falha de fabricação e problemas na base de instalação, o equipamento foi substituído pelo fornecedor em aproximadamente trinta dias, ocasionado atraso no processamento da cana e no

encerramento da safra. Em pelo menos três unidades visitadas, os rolos afofadores instalados no teto do aparelho de difusão e responsáveis pelo controle da densidade do colchão de cana, tiveram suas roscas substituídas por problemas de fabricação e instalação.

Durante visita duas unidades, os responsáveis pela operação do difusor destacaram que a esteira que alimenta o difusor com cana desfibrada não estava ajustada para as necessidades operacionais do aparelho. Um dos técnicos explicou que a difusão é um processo contínuo, e por isso o aparelho não possui um dispositivo físico (por exemplo: uma tampa ou escotilha) que fecha a caixa enquanto a cana picada é lavada. O sistema é selado pela própria cana picada, através de uma esteira que distribui de maneira homogênea a cana na entrada do aparelho. A falta de regulagem dessa esteira prejudicou a vedação do aparelho fazendo com que vapor do seu interior se dissipasse, dificultando o controle da temperatura interna, comentou o responsável.

De maneira geral, quando perguntado sobre os motivos parentes dos problemas enfrentados durante o início das operações com o difusor, dois entrevistados apontaram que a dificuldade em encontrar fornecedores de equipamentos e prestadores de serviço com qualidade era o principal responsável. Durante a pesquisa, um desses entrevistados destacou que a maioria dos serviços prestados e dos componentes instalados no equipamento da unidade que gerencia foram fornecido por empresas terceirizadas, contratadas pelo fabricante do difusor, tratavam-se na sua maioria de empresas sem experiência no setor com a qualidade comprometida pelo excesso de demanda no mercado. Como exemplo, citou que na sua unidade foram instalados dois conjuntos completos de correntes para deslocar o colchão de cana com evidentes problemas de fabricação e que foram substituídos. O terceiro, foi fabricado sob a sua supervisão, em uma empresa especializada e com um controle de qualidade rigoroso, completou três safra sem nenhum tipo de problema, finalizou.

QUADRO 5.13: Síntese dos principais problemas observados durante as primeiras safras de operação do difusor, em unidades que optaram recentemente por esse sistema

Número de unidades	Principais problemas
2	Sistema de bombas para circulação do caldo;
1	Eixo de acionamento da corrente;
3	Rolos afofadores;
1	Acionador planetário do eixo principal;
2	Rolo perfurado do terno desaguador;
2	Esteira de distribuição de cana picada no difusor;
2	Rolo adensador.

Fonte: Pesquisa de campo.

Considerações Finais

Até meados do século XVII a atividade açucareira estava submetida ao emprego de tecnologias de produção adaptadas de outras atividades manufatureiras. Os moinhos, prensas e outros equipamentos utilizados para extração de sacarose da cana-de-açúcar foram originalmente desenvolvidos para o processamento de matérias-primas como grãos, minério e frutos.

Com a crescente importância da economia açucareira no mundo, e a consolidação das Américas e do Caribe como principais centros produtores, passou-se a desenvolver tecnologias específicas para esse setor. A moenda de três cilindros horizontal foi o primeiro equipamento para extração de sacarose desenvolvido genuinamente para o processamento da cana-de-açúcar. Tratou-se da primeira inovação tecnológica radical desenvolvida na economia açucareira para a aplicação na extração do caldo. Sua utilização proporcionou aos produtores de açúcar vantagens comparativas fundamentais, potencializando a oferta de açúcar no mundo, derrubando seu preço no mercado internacional e ampliando a sua demanda. Pôde-se concluir que moenda de três cilindros posicionados na horizontal tornou-se o modelo tecnológico dominante para extração de sacarose da cana-de-açúcar. A partir de então, as inovações incrementais desenvolvidas para esse sistema objetivaram basicamente a ampliação da capacidade de esmagamento e seu coeficiente de rendimento.

Durante o século XVIII registraram-se os principais esforços para aperfeiçoá-la, tendo em vista a melhoria na sua capacidade de extração, a economia de mão-de-obra e a eficiência na recuperação do caldo. Avanços técnicos nesse sentido foram observados nos dois séculos seguintes, em decorrência das oportunidades tecnológicas constituídas a partir de janelas de inovação, proporcionadas durante os períodos da primeira e segunda Revolução Industrial, a partir do desenvolvimento de ciências básicas como: a metalurgia, a siderurgia e a mecânica.

Esse desenvolvimento concentrou-se inicialmente em países como Inglaterra, França e EUA em que a pesquisa científica estava ligada diretamente à diversificação de atividades, produtos e processos produtivos de firmas que se tornariam no século XIX e XX grandes empresas fornecedoras de máquinas e equipamentos para o setor açucareiro do mundo todo, como é o caso da Farrel, Five-Lilles e a John McNeil & Cia.

Posteriormente, com a indústria açucareira de beterrada na Europa, novos fabricantes de equipamentos surgiram principalmente na Alemanha, França e Bélgica (BMA, De Smet entre outras), aproveitando a crescente demanda por esse produto, resultado da criação e estruturação de um mercado na Europa. Neste caso, o acúmulo de desenvolvimento científico ligado a

química básica e industrial foi o fator relevante para o desenvolvimento e aperfeiçoamento dos primeiros equipamentos de difusão para processar beterrada e depois cana-de-açúcar. Esses dois casos caracterizam bem as variáveis determinantes para a abordagem evolucionista: a tecnologia e o ambiente de seleção. Ou seja, o sucesso da firma é explicado em parte pelo seu acesso aos conhecimentos básicos que orienta o seu processo de busca e seleção da melhor alternativa técnica em um dado ambiente. Esse conhecimento aperfeiçoado e acumulado ao longo do tempo pelas firmas é transformado em rotinas sobre as quais as empresas constroem sua capacitação tecnológica, numa dinâmica contínua de rupturas de rotinas antigas e construção de novas mais competitivas.

A descoberta do açúcar da beterraba e o desenvolvimento de uma tecnologia própria para sua extração mudou o mercado açucareiro mundial. O sistema de difusão, alternativa tecnológica utilizada para extrair sacarose da beterraba, possibilitou a substituição dos antigos métodos de processamento desse produto, proporcionando mais eficiência na extração, produtividade e escala na fabricação do açúcar. O sistema de extração de sacarose da beterraba realizada por baterias de difusores (processo por batelada) foi radicalmente substituído por difusores de coluna, com alimentação automática e contínua, permitindo melhor controle produtivo e homogeneização da produção.

Foi nesse contexto histórico e tecnológico que se iniciaram os primeiros testes adaptando baterias de difusores para o processamento da cana-de-açúcar. Notou-se a partir de então que dois sistemas tecnológicos diferentes para extração de sacarose da cana-de-açúcar, não excludentes e, de certa forma concorrentes, passaram a conviver desenvolvendo trajetórias distintas e paralelas.

As evidências e as informações coletadas no trabalho de campo sobre o emprego das duas tecnologias para extração de sacarose no Brasil, permitiram corroborar os pressupostos levantados na literatura, evidenciada no Capítulo 4, de que medidas tomadas pelo Estado durante o período de intervenção, influenciaram o predomínio do emprego dos sistemas de moendas em detrimento ao sistema de difusão.

As políticas adotadas pelo IAA fortaleceram a atividade em São Paulo, durante as décadas de 1930 e 1960, o regime de quotas de produção acelerou a expansão da produção de açúcar neste estado, desencadeando um processo de modernização das unidades até então instaladas. Esse processo ocorreu aos saltos, a medida que as quotas eram liberadas as unidades demandavam a ampliação da sua capacidade de processamento de cana, estimulando as firmas fornecedoras de máquinas e equipamentos para esse setor. Como o sistema de moendas possuem uma maior flexibilidade de ampliar sua capacidade de esmagamento adequando-se perfeitamente

ao regime de quotas, e a principal firma nacional fornecedora de máquinas e equipamentos para esse setor em São Paulo especializou-se na produção, reforma e manutenção desse tipo de sistema, fica evidente a opção tecnológica pelo sistema de moedas durante esse período.

Dentro dessa lógica intervencionista, o regime de quotas praticamente eliminou o risco de se produzir cana e açúcar no país e, fortaleceu a característica estrutural da integração dessas atividades. Junto com o risco, eliminaram-se também os mecanismos inerentes à concorrência intercapitalista, elemento fundamental da dinâmica econômica (RAMOS, 1999). Foi à confirmação de um modelo no qual o Estado auxilia na solução dos problemas econômicos, tornando o processo produtivo ainda mais determinado pelo protecionismo da instituição. Isso beneficiou substancialmente a indústria de máquinas e equipamentos para esse setor, no tocante ao surgimento de mercados cativos para seus produtos, principalmente em São Paulo, onde o planejamento estatal para o setor passou a incentivar a criação de novas fábricas e a modernização de outras.

De maneira geral a abordagem teórica de NORTH (1990), tratada no Capítulo 1 destaca fundamentalmente do papel das instituições, e permite fazer a ponte entre a postura das unidades processadoras de cana-de-açúcar antes e após a intervenção do IAA no setor. E até que ponto essa mudança institucional foi importante para o desenvolvimento das primeiras firmas produtoras de máquinas e equipamentos para o setor açucareiro no Brasil, e o papel do Estado para o entendimento do contexto histórico em que se desenvolveram essas firmas. O Estado brasileiro concedeu incentivos para que as unidades produtoras de açúcar se desenvolvessem em São Paulo, essa situação foi ao encontro dos interesses dos primeiros fabricantes nacionais de máquinas, principalmente a Dedini e posteriormente a Zanini. Uma clara evidência de que, em torno da economia açucareira controlada pelo Estado durante o período de intervenção, outras instituições interagiram em uma complexa relação simbiótica.

Assim, essa necessidade de adaptação periódica das unidades de produção ao regime de quota colaborou, por consolidar no país: i) a hegemonia do emprego do sistema de moedas, mais flexível a incrementos de produção; ii) e as firmas fabricantes desse tipo equipamento, mais especificamente a Dedini. Essa firma em especial, soube acompanhar a necessidade das usinas e engenhos paulistas em se modernizarem, expandindo sua capacidade de oferta de equipamentos a medida em que as quotas de produção das unidades cresciam. Para tanto, utilizou-se, por meio de um aprendizado integrado com as necessidades dos clientes, uma metodologia que lhe permitiu, através da prestação de serviços de manutenção durante a safra, conhecer as tecnologias importadas empregadas no setor e através de uma engenharia reversa, dominar e replicá-las

conforme sua necessidade comercial (*learnig-by-doing*). A fim de assegurar um mercado cativo na prestação desses serviços, tornou-se sócia de usinas dando como capital integralizador parte dos equipamentos necessários para seu funcionamento, utilizando essas unidades para testar e aperfeiçoando novos equipamentos (*learning-by-using*). Isso permitiu um completo amadurecimento em todas as etapas de fabricação de seus equipamentos, principalmente as moendas, desde o projeto, instalação, testes, manutenção e ajustes técnicos posteriores. Essa estratégia, utilizada pela Dedini, e mais tarde também pela Zanini, permitiu a essas empresas uma superioridade em relação aos demais concorrentes, caracterizada por uma maior flexibilidade nos processos de diversificação produtiva, de expansão de mercado e de integração vertical.

Resumidamente pode-se afirmar que a expansão da produção da agroindústria canavieira se apoiou essencialmente na expansão da produção paulista. O sistema setorial de produção de cana tendeu a se expandir muito mais dinamicamente na região mais rica do país. O maior dinamismo produtivo da região paulista se apoiou numa conjunção de vários fatores nos quais se destacam a abundância de recursos naturais de boa qualidade, melhor infra-estrutura de transportes e energética, proximidade do maior mercado do país e, sobretudo, a inserção dentro de um sistema regional de inovação, nos quais se conjugam produtores, fabricantes de máquinas e equipamentos, institutos de pesquisa e universidades. Esse sistema possibilitou que a região aumentasse gradativamente a produtividade da cana-de-açúcar a partir de cultivares desenvolvido na própria região.

Analisando essa hegemonia do sistema de moendas nos modelos teóricos apresentados no Capítulo 1, nota-se que as especificidades das unidades produtoras de açúcar e álcool no Brasil durante o período de intevenção, e principalmente a relação estreita entre essas fábricas e as firmas produtoras de máquinas e equipamentos para o setor (integração vertical), fazem desse estudo um caso a parte.

Pela caracterização de PAVITT (1984), pode-se afirmar que as atividades agropecuárias e agroindustriais estariam mais identificadas com a categoria dos setores dominados por fornecedores, embora DOSI (1988) quando se refere a essa taxonomia de Pavitt, inclua a indústria de produtos alimentícios nos setores de escala intensiva. A origem das tecnologias dos setores dominados por fornecedores são os fornecedores de equipamentos e insumos, ou seja, o próprio setor faz pouco investimento em P&D e absorve a tecnologia desenvolvida pelas firmas produtoras de máquinas e equipamentos. A especificidade deste caso, como ficou evidente no Capítulo 4, é de que a Dedini principal produtora de máquinas e equipamentos para o setor canavieiro até meados da década de 1960 e a partir dessa década também a Zanini, eram

empresas com participação societária em usinas. Caracterizando uma ligação direta entre o setor fornecedor de equipamentos e as firmas processadoras de cana-de-açúcar, que absorvem essa tecnologia. Essa interação, aliada a flexibilidade do sistema e as políticas de Estado adotadas, ratificaram o sistema de moenda como o projeto dominante no Brasil até meados da década de 1990.

Com referência a contribuição teórica do trabalho de UTTERBACK (1996), citado no Capítulo 1 desta tese, o paradigma do projeto dominante refere-se ao último estágio de evolução de uma inovação, quando um determinado produto conquista a preferência do mercado e passa a ser o modelo de referência para os competidores. De acordo com UTTERBACK (1996) o surgimento do projeto dominante, não é pré-determinado como sendo resultado da interação entre uma opção técnica e de mercado num dado período do tempo. Fatores tais como: regulamentos setoriais, intervenção governamental, estratégias de empresas individuais e a comunicação entre produtores e usuários também modificam a idéia do produto dominante.

A abordagem teoria apresentada por UTTERBACK (1996) evidencia mais uma vez que, a intervenção estatal, as restrições impostas durante esse período à importação de máquinas e equipamentos para o setor canavieiro, as opções técnicas disponíveis e a estruturação do mercado canavieiro no Brasil levaram a consolidação do sistema de moendas composto por preparo de cana e esmagamento com seis ternos, como o projeto técnico ideal para a extração de sacarose no Brasil até meados da década de 1990, apesar das várias tentativas de introduzir o sistema de difusão.

Nota-se que, a partir da consolidação do sistema de moendas no Brasil como o projeto dominante, a preocupação das fábricas processadoras de cana-de-açúcar e principalmente das firmas produtoras desse tipo de equipamento centrou-se em melhorar o desempenho técnico dos equipamentos construídos, reduzindo custos, aumentando sua capacidade de esmagamento (capacidade nominal) e sua eficiência de extração de sacarose, utilizando para isso processos clássicos de aprendizagem.

Segundo UTTERBACK (1996) trata-se de um processo de mudança incremental, que visa à melhoria de desempenho do modelo adotado sem alterar o projeto dominante. As inovações que ocorrem são para aperfeiçoar o processo, nesta fase, a inovação incremental não modifica o conceito do produto, entretanto capacita-o em aumento de qualidade e rentabilidade.

Foi o observado durante o período analisado, que a Dedini, desde o início das suas operações, vem incluindo na sua carteira de produtos, moendas da vez maiores com tecnologia de domínio público, fabricadas e reformadas a partir de processos de aprendizagem baseados em

engenharia reversa. Mais adiante, passou a desenvolver seus próprios modelos de moendas e a produzir outros equipamentos para o setor, muitos deles sob licença de firmas internacionais, como é o caso dos primeiros sistemas de preparo de cana-de-açúcar, caldeiras, destilarias e centrífugas, atingindo já na década de 1970 a capacidade de produzir fábricas completas de açúcar na modalidade *turn key*.

Outro ponto destacado nesse trabalho de tese, que apesar de ser tratado como secundário, pode colaborar para o entendimento da não disseminação do sistema de difusão no Brasil durante as décadas de 1930 e 1990, foi de que durante boa parte desse período, até pelo menos meados da década de 1970, o projeto dominante de um sistema de difusor ainda não estava completamente definido, diferentemente do que ocorreu com o sistema de moendas.

O Capítulo 3 destaca que durante esse período de análise, várias concepções de equipamentos para difusão foram desenvolvidos e testados ao mesmo tempo em vários centros açucareiros do mundo. Tratava-se de um processo de busca e seleção do melhor projeto tecnológico, em uma clara aplicação do referencial teórico apontado por UTTERBACK (1996).

Neste caso, UTTERBACK (1996) propôs um modelo que descreveu a dinâmica da inovação de produtos industriais montados e não-montados, expondo a mudança de ritmo de inovação do produto, do processo de fabricação e alterações na estrutura organizacional decorrentes da evolução do processo de inovação. Nesse trabalho, o autor fez uma divisão temporal do processo de inovação em três fases: fluida, transitória e específica, descrevendo as transformações que as firmas inovadoras experimentam e medida que se tornam bem sucedidas na busca de um projeto dominante.

Durante o período que vai das primeiras adaptações do emprego sistema de difusão da beterraba para a cana-de-açúcar até meados da década de 1930, as pesquisas voltavam-se em desenvolver um *design* de equipamento que permitisse a extração contínua da sacarose da cana, em substituição do regime de bateladas de até então. A partir do momento em que esse problema foi resolvido, uma série de tipos diferentes de difusores foram apresentados e introduzidos no mercado, todos eles com uma característica comum, tratam-se de difusores de bagaço. Essa fase do desenvolvimento tecnológico desse sistema pode ser comparada a fase fluida de UTTERBACK (1996), em que vários concorrentes apresentam projetos diferentes para atender a mesma necessidade dos clientes. O objetivo das firmas desenvolvedoras é tentar descobrir quais as características mais adequadas do produto do ponto de vista dos clientes.

A fase transitória caracteriza-se pela aceitação da inovação no mercado, nesse estágio as necessidades do usuário são bem definidas e os inovadores buscam o projeto dominante, aquele

que proporciona a melhor solução do ponto de vista dos usuários. Essa fase teve seu auge no final da década de 1970, quando descobertas na área da biologia celular permitiram o desenvolvimento dos primeiros difusores de cana-de-açúcar, eliminando a etapa moagem que precedia a difusão. Essa inovação praticamente eliminou do mercado os modelos de difusores com *design* oblíquo e circular, tornando o do tipo horizontal o projeto dominante. A partir de então, melhoras incrementais têm possibilitado, além de incrementos na sua capacidade de processamento e extração, pequenas diferenciações quanto ao seu funcionamento em razão do fabricante. O caso mais destacado nesse trabalho é o difusor recentemente fabricado pela Dedini sob licença de projeto da Bosch. Seu mecanismo de acionamento do colchão de cana difere substancialmente dos demais equipamentos disponíveis no mercado, neste caso as tradicionais correntes e taliscas foram substituídas por assoalhos movimentados por cilindros hidráulicos.

Os recentes equipamentos de difusão para extração de sacarose de cana-de-açúcar instalados no Brasil a partir do final da década de 1980 foram concebidos a partir do projeto dominantes descrito anteriormente. Partes dessas novas unidades foram idealizadas em função da recente expansão do setor, que ocorreu entre 2004 e 2007. Até os anos de 2000 existiam cinco unidades adeptas dessa tecnologia, atualmente estão quinze em operação e treze em instalação.

Foi constatado na parte empírica desse trabalho, que os atuais equipamentos de difusão de cana apresentam vantagens comparativas em relação ao sistema de moendas: menor consumo de energia mecânica; maior índice de extração de sacarose; menor investimento inicial; e menor custo anual de manutenção. A principal vantagem do sistema de moendas é a sua flexibilidade na capacidade de processamento. Essas vantagens se confirmaram durante o desenvolvimento desse trabalho, e não foram os únicos motivos apresentados pelos entrevistados como motivadores dessa opção. Logo, a decisão por um outro sistema é pautada por diversos outros aspectos, tais como: demanda por profissionais especializados nas novas regiões produtoras do país e a distância entre essas novas unidades e os centros prestadores de serviços de manutenção, assistência técnica e fornecimentos de componentes e equipamentos.

Por fim pouco se pode falar de uma trajetória tecnológica do sistema de difusão no Brasil, pois tanto a sua fabricação quanto seu uso tem sido muito recente no país. Quanto ao sistema de moenda, a pesquisa de campo identificou que o elemento principal que marca essa sua trajetória no país é a sua capacidade de esmagamento, e não as significativas melhorias no coeficiente de extração observadas durante os anos.

O referencial teórico neoschupeteriano e evolucionário adotado nesse trabalho de tese aponta que o comportamento da firma é fortemente relacionado com suas competências que são

de natureza tácita, armazenadas e organizadas em rotinas. Ou seja, o que a firma pode fazer depende do seu passado de desenvolvimento, de suas competências e como elas são organizadas. Segundo NELSON e WINTER (1982), as estratégias tecnológicas das firmas dependem de três fatores básicos: i) sua trajetória (*path dependency*); ii) seus ativos complementares; iii) e as oportunidades tecnológicas.

MALERBA & ORSENUIGO (1993) partem da premissa que o comportamento das firmas está relacionado às especificidades do ambiente tecnológico, também denominado pelos autores de regime tecnológico. Essas devem ser analisadas a partir de quatro dimensões: i) oportunidade; ii) apropriabilidade; iii) cumulatividade; iv) e a base de conhecimento. Essas características afetam o padrão específico de atividades inovadoras do setor e influenciam o comportamento da firma, em termos de sua estratégia e organização.

As oportunidades tecnológicas geradas no setor sucroalcooleiro nacional são preponderantemente desenvolvidas a partir do conhecimento científico originado da interação entre redes de pesquisas, que envolve na sua essência instituições públicas e algumas privadas mais diretamente ligadas ao setor. Isso é muito evidente para os casos específicos que envolve o desenvolvimento de tecnologias para o setor agrícola, onde os institutos de pesquisas brasileiros possuem uma grande tradição.

Quanto as inovações voltadas ao processamento industrial da cana-de-açúcar, observou-se na pesquisa apresentada nesse trabalho que as máquinas e equipamentos industriais são construídos no país a partir de um histórico de conhecimentos técnicos importados e apropriados pelas firmas locais através de mecanismos tais como patente e licenças. No caso das firmas nacionais produtoras de sistemas para extração de sacarose, tanto moendas, quanto difusores, a estratégia associada a esses regimes tecnológicos prioriza fortemente a exploração das tecnologias já existentes, através de inovações incrementais.

Referências Bibliográficas

- ALMEIDA, J. R. (1938). Embebição nas usinas de assucar. Tese de concurso para preenchimento da 8ª cadeira de Tecnologia Agrícola. ESALQ – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1938.
- ANSELMÍ, R. (2005). Desfibradores começaram a ser lançados na década de 70. Jornal Cana. Caderno de Tecnologia Industrial, junho de 2005, pág. 50-61
- ANSELMÍ, R. (2006). Difusor x Moenda. Jornal Cana. Caderno de Tecnologia Industrial. Ed. nº 147, março de 2006.
- ANSELMÍ, R. (2003). Como extrair mais da cana no processo industrial. Jornal Cana. Caderno de Tecnologia Industrial, junho de 2003, p. 26-28.
- ANSELMÍ, R. (2008). Melhoramento genético atende novas demandas da cultura. Jornal Cana. Caderno de Tecnologia Agrícola, julho de 2008, p. 28-30.
- ANSELMÍ, R. (2009). Membrana molecular muda paradigmas na desidratação alcoólica. Jornal Cana. Caderno de Tecnologia Industrial, agosto de 2009, p. 79.
- AS VANTAGENS do difusor, segundo a Jaraguá. Revista do Álcool. Ano 3, nº 31, set/out de 1985.
- AVELAR, G. (2009). Melhoria Contínua. Jornal Cana. Caderno de Pesquisa & Desenvolvimento, março de 2009, p. 14-16.
- ARAÚJO, T. B. (2002). Os engenhos centrais e a produção açucareira no Recôncavo Baiano 1875-1909. Salvador: FIEB, 2002.
- AREND M. (2004). Desenvolvimento e Desequilíbrio Industrial no Rio Grande do Sul: Uma análise institucionalista e neo-schumpeteriana evolucionária. Florianópolis, 2004. Dissertação (Mestrado em Economia). Coordenadoria de Pós-Graduação. Universidade Federal de Santa Catarina.
- ARIAS, M. S. (1999). Álcool. In: TAUPIER, L. O. G. (ed.). Manual dos derivados da cana de açúcar: diversificação, matérias primas, derivados do bagaço, derivados do melaço, outros derivados, resíduos, energia. Brasília, ABIPTI, 1999, p. 229-236.
- BAIKON, F. M. (1981). Difusor Silver, tipo anel, para cana-de-açúcar. Revista Saccharum. nº 13, 1981.
- BARRETT, W. (1977). La Hacienda Azucarera de Los Marqueses Del Valle. Minnesota: The University of Minnesota Press, 1977.
- BARROS de CASTRO, A. (1980). Brasil 1610: Mudanças técnicas e conflitos sociais. Pesquisa e Planejamento Econômico 10 (1980): 679-712.
- BAUER, M. W.; GASKELL, G. Pesquisa Qualitativa com texto, imagem e som: um manual prático. 4ª Edição, São Paulo: Vozes, 2002.
- BMA Cane Diffusion (1965). Sugar Journal. Vol. 27, n. 8, January 1965.
- BRANDÃO, A. F. (1966). Diálogos da Grandeza do Brasil. 2ª Edição. Recife: Imprensa Universitária, 1966.
- BRANDÃO, A.. Cana-de-açúcar, álcool e açúcar na história e no desenvolvimento social do Brasil: séculos 16-20. Brasília, Horizonte Ed, INL, 1985.
- BRASIL Açucareiro (1968). A introdução do sistema de difusão na extração de açúcar da cana é iniciativa pioneira do IAA. Revista Brasil Açucareiro, nº 3, março de 1968.
- BRAY, Sílvio Carlos. A formação do capital na agroindústria açucareira de São Paulo: revisão dos paradigmas tradicionais. Rio Claro: UNESP, 1989 (Tese de Livre Docência).

- BYE, P.; MEUNIER, A.; MUCHNIK, J. (1993). As Inovações Açucareiras: Permanência e diversidade de paradigmas. Cadernos de Ciência & Tecnologia. Brasília, v.10, n.1/3, p.35-52, 1993
- CAIRO, N. (1924). O Livro da Cana de Assucar. Curityba: Empreza Graphica Paranaense, 2º Edição, 1924.
- CANABRAVA, A. (1971). “A grande lavoura”. In HOLANDA, S. B. de, História Geral da Civilização Brasileira. Vol.6 (Brasil Monárquico), São Paulo, Ed. Difel.
- CARDIN, F. (1952). Tratados da Terra e Gente do Brasil. Rio de Janeiro: J. Leite e Cia, 1952.
- CARNEIRO, W. (1966). Mercado de máquinas e equipamentos para a agroindústria açucareira. Revista Brasil Açucareiro. Rio de Janeiro: IAA, vol. 68, nº 1, julho de 1966.
- CARVALHO, J. B. (1910). Usina Esther. Revista Polytecnica. Vol. VII, n. 31/32, maio/outubro de 1910.
- CAROLO, A. (2009). Usinas buscam novos sistemas para limpeza da cana. Jornal Cana. Caderno de Tecnologia Agrícola, abril 2009, p. 32.
- CAVALCANTI, D. A. B. (2005). Moenda X Difusor: Qual o melhor processo de extração?. Revista Opiniões, outubro/dezembro de 2005.
- CENAL (1980). Resolução CNA nº 19/80, de 17 de novembro de 1980. Revista Brasil Açucareiro, Rio de Janeiro: IAA, vol. 94, nº 11, novembro de 1980.
- CERQUEIRA, C. V. (1950). Histórico da Cultura da Cana na Bahia: Formação econômica da indústria açucareira da Bahia. IN: ANAIS DO PRIMEIRO CONGRESSO DE HISTÓRIA DA BAHIA, IV Volume. Salvador: Tipografia Beneditina Ltda, 1950.
- COASE, R. H. "The Nature of the Firm". Economic. Vol.4, November, p.386-405, 1937.
- CONCEIÇÃO, O. C. A. (2007). A Dimensão Institucional do Processo de Crescimento Econômico: Inovação e mudança institucional, rotinas e tecnologia social. Texto para Discussão FEE N°1. Secretaria do Planejamento e Gestão Fundação de Economia e Estatística Siegfried Emanuel Heuser. Porto Alegre, nov. 2007.
- CONCEIÇÃO, O. C. A. (2001). Instituições, crescimento e mudança na ótica institucionalista. Porto Alegre: Fundação de Economia e Estatística Siegfried Emanuel Heuser, 2001, (Teses FEE ; n. 1).
- CONCEIÇÃO, O. C. A. (2002). O conceito de instituições nas modernas abordagens institucionalistas. Revista de Economia Contemporânea. Rio de Janeiro, 6(2); 119-146, jul/dez de 2002.
- COLSON, L. (1905). Culture et Industrie de la Canne a Sucre aux Iles Hawai et a la Réunion. Paris: Augustin Challamel, 1905.
- COPERSUCAR (1983). Métodos de análises para controle de açúcar cristal. Piracicaba, 1983, 127 p.
- CNA – Comissão Nacional do Alcool (1979). Resolução CNA1 nº 09/79, de 07 de fevereiro de 1979. Revista Brasil Açucareiro, Vol. 93, nº 3, março de 1979.
- CRUZ, C. D. (1920). Os Pequenos e Grandes Engenhos. São Paulo: Livraria Magalhães, 1920.
- DELGADO, A. A. & CESAR, M. A. (1985). Elementos de tecnologia e engenharia do açúcar de cana. Piracicaba, Volume I, 1985, (mimeo).
- DANIELS, J. & DANIELS, C. (1988). The Origin of the Sugarcane Roller Mill. Source: Technology and Culture, Vol. 29, Nº 3, julho de 1988, pp. 493-535. Published by: The Johns Hopkins University Press on behalf of the Society for the History of Technology.
- DEERR, (1950). The History of Sugar. London, V.I e II, 1950.
- DOSI, G. & TEECE, D. J. (1993). “Organizational Competences and the Boundaries of the Firm”. CCC Working Paper, n. 93-11, University of California, Berkeley – Center for Reserch in Management – Consortium on Competitiveness and Cooperation, 1993.

- DOSI, G. (1988) The nature of the innovative process. **In:** DOSI, G. *et al.* (ed.). Technical change and economic theory. London: MERIT, 1988.
- DOSI, G. (1982). Technological paradigms and technological trajectories: a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. Reserch Policy, p.147-162, 1982.
- DOSI, G.; TEECE, D., WINTER, S. (1992). Towards a theory of corporate coherence: preliminary remarks. **In:** DOSI, Giovanni et al. eds. Technology and enterprise in a historical perspective. Oxford: Oxford University, 1992.
- DOSI, G. & ORSENIGO, L. (1988). Coordination and transformation: an overview of structures, behaviours and change in evolutionary environments. **In:** DOSI, G. et al (Eds.). Technical change and economic theory. London : Pinter, 1988. p. 13-37.
- DIFFUSION at Nonpareil. (1894). The Sugar Cane. Vol. XXVI, n.294, jan. 1894.
- EBELING, C. (1967). Difusoe de Cana. Brasil Açucareiro, vol. 70, n° 5, novembro 1967.
- EBELING, C. (1978a). Difusor de cana para destilarias autônomas (Parte I). Brasil Açucareiro. V. 91, N° 5, Maio 1978, pp. 19-27
- EBELING, C. (1978b). Origens e princípios da difusão (Parte II). Brasil Açucareiro. V. 91, N° 6, Junho 1978, pp. 11-19.
- EBELING, C. (1983). Experiência sobre a difusão na indústria açucareira e alcooleira. Revista Saccharim, n° 24, janeiro de 1983
- EISENBERG, P.,(1977). Modernização sem mudança. Rio de Janeiro, Ed. Paz e Terra, Campinas, Unicamp.
- VI ENCONTRO Nacional dos Produtores de Açúcar (1979). Conferências realizadas. **In:** AÇÚCAR & ÁLCOOL: Centro dinâmico da economia brasileira. Rio de Janeiro: Apec: Cooperativa Fluminense dos Produtores de Açúcar e Álcool, 1979.
- FERLINI, V. L. A. (2000). *Uma Fábrica Colonial: Trabalho e técnica nos engenhos brasileiros*. **In:** HISTÓRIA E TECNOLOGIA DO AÇÚCAR. CEHA - Centro de Estudos de História do Atlântico, Funchal, 2000.
- FERNANDES, H. (1971). Açúcar e Álcool ontem e hoje. Rio de Janeiro: GB, 1971.
- FRAGINALS, M. M. (1988). O engenho: complexo sócio-econômico açucareiro cubano. São Paulo: Hucitec - Unesp, 1988.
- FREI Vicente do Salvador (s.d.). História do Brasil, 1500-1627. São Pulo: Companhia Melhoramentos de São Paulo. s.d.
- GAMA, R. (1979). Engenho e Tecnologia. São Paulo: Livraria Duas Cidades, 1979.
- GALLOWAY, J. H. (1989). The sugar cane industry: an historical geography from its origins to 1914. Cambridge University Press, 1989.
- GIÉGUES, M. Jr. (s.d.). O Engenho de açúcar no século XVI. **In** ANAIS DO IV CONGRESSO DA HISTÓRIA NACIONAL, Vol, V, p. 544.
- GIL, A.C. (1999). Métodos e técnicas de pesquisa social. São Paulo: Atlas, 1999.
- GODOY, A. S. (1995). Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades. Revista de Administração de Empresas. São Paulo: v.35, n.2, p. 57-63, abril 1995.
- GORDON, W. (1980). Institutional economics: the changing system. Austin: University of Texas.
- GORDINHO, M. C. (1986). Os Ometto. São Paulo, Ed. C. H. Knapp S/C. Ltda., 1986.
- HINES, C. W. (1920). A Produção de Assucar. Revista La Hacienda. Fevereiro de 1920.
- HODGSON, G. M.(1994). Economia e instituições: manifesto por uma economia institucionalista moderna. Oeiras: Celta Editora, 1994.
- HODGSON, G. M. (1998). The approach of institutional economics. Journal of Economic Literature. Vol. 36, p. 166-192, mar. 1998.

- HUGOT, E. (1969). Manual da Engenharia Açucareira. São Paulo: Mestre Jou. Vol. I e II, 1969.
- IS DIFFUSION the process of the future? (1893). The Sugar Cane. Vol. XXV, n. 286, may 1893.
- KOSTER (1942). Viagens ao Nordeste do Brasil. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1942.
- KUHN, Thomas. (1962). A estrutura das revoluções científicas. São Paulo, Perspectiva.
- LEMPS, A. H. As bebidas coloniais e a rápida expansão do açúcar. In: FLANDRIN, J.-L.; MONTANARI, M. (Diret.) História da Alimentação. 2ª ed. São Paulo: Estação Liberdade, 1998. cap.34, p.611-624.
- LIPPMANN, E. O. V. (1941). História do Açúcar. Rio de Janeiro: Leuzinger S. A. Vol. I e II, 1941.
- LEWELLYN, J. & FREDERIC, I. S. (1945). The Manufacture of Cane Sugar. 2ª Edição. London: Duckworth & Co., 1945.
- LOPES, C. H. (1982). Difusores no Brasil: Perspectivas econômicas de suas implantações. Revista Álcool & Açúcar, nº 02, janeiro de 1982.
- MACHADO, R. T. M. (1998). Fundamentos sobre o Estudo da Dinâmica das Inovações no Agribusiness. Revista RAC. Vol.2, nº 2, maio/agosto de 1998: 127-141.
- MALERBA, F.& ORSENIGO, L. (1993). Technological regimes and sectoral patterns of innovative activities. Industrial and corporate change. Vol.6, p.83-117. 1993.
- MALUF, R. S. (1984). Aspectos da constituição e desenvolvimento do mercado de trabalho em Piracicaba. Piracicaba, Editado pela UNIMEP, 1984.
- MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. Técnicas de Pesquisa. 5ªEd. São Paulo: Ed. Atlas, 2002.
- MARSHALL, R. (1993). Commons, Veblen, and other economists: remarks upon receipt of the Veblen-Commons award. Journal of Economic Issues, v. 26, n. 2, p. 301-322, jun.
- MATTOS, A.G. (1882). Esboço de um Manual para os Fazendeiro de Assucar no Brasil. Rio de Janeiro: Perseverança, 1882.
- MAXWELL, F. (1932). Modern Milling of Sugar Cane. London: Noran Rodger, 1932.
- MINAYO, M.C. de S. (Org.) Pesquisa social: teoria, método e criatividade. 22 ed. Rio de Janeiro: Vozes, 2003.
- MORAIS, J. M. & MILWARD, J. A. (2005) Por uma abordagem institucionalista-evolucionária do desenvolvimento econômico: implicações para uma política industrial moderna. In: ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA POLÍTICA, 10. Campinas. **Anais...** Campinas: IE/UNICAMP, 2005. CD-ROM.
- MORAES, M.A.F.D. (2000). A desregulamentação do setor sucroalcooleiro do Brasil, São Paulo, Caminho Editorial.
- NEEDHAM, J.; DANIELS, C.; MENZIES, N. K. (1996). Science and Civilisation in China: Biology and Biological Technology : Agro-Industries and Forestry. Cambridge: Cambridge University Press, 1996. (<http://books.google.com.br/books?id=SI11Jkxbq0oC>).
- NEGRI (1977). Um estudo do caso da indústria nacional de equipamentos: análise do grupo Dedini (1920-1975). Campinas: IE/UNICAMP (dissertação de mestrado).
- NELSON, R. R. & WINTER, S. G. (1977). In search of useful theory innovation. Research Policy. v. 6, p. 36-76, 1977.
- NELSON, R. R. & WINTER, S. G. (2005). Uma teoria evolucionária. Tradutor: Cláudia Heller. – Campinas, SP: Editora de UNICAMP, 2005.
- NEVES, L. M.B. (1937). Technologie da Fabricação do Assucar de Cana. São Paulo: Associação dos Usineiros de São Paulo, 1973.
- NORTH, Douglass C. (1994a). Economic performance through time. The American Economic Review. V. 84, n. 3, p. 359-68, jun. de 2004.
- NORTH, Douglass C. (1990). Instituciones, cambio institucional y desempeño económico. México : Fondo de Cultura Económica.

- NORTH, D. (1994b). Custos de transação, instituições e desempenho econômico. Instituto Liberal, 1994.
- OLIVEIRA, W. M. & MELLO, J. A. (1966). Difusão aplicada a cana-de-açúcar. Revista Brasil Açucareiro, Vol. LXVII, ano XXXIV, n. 05, maio de 1966.
- ORSENIGO, L. (1995). Technological regimes, patterns of innovative activities and industrial dynamics. Cahiers d'économie et sociologie rurales. p. 26-67. 1995.
- PARAZZI, C. & PERRARRI, S. E. (1981). O processo de extração de açúcar por difusão na agroindústria canavieira. Brasil Açucareiro. V. 98, N° 3, Setembro 1981, pp. 18-32.
- PAVITT, K. (1984). Sectoral Patterns of Technical Change: Towards a Taxonomy and a Theory. Research Policy, 13, p.343-373, 1984.
- PAYNE, J. H. (1989). Operações unitárias na produção de açúcar de cana. São Paulo: Nobel / STAB, 1989.
- PAYNE, J. H. (1976). Difusão. **In:** IV SEMINÁRIO COPERSUCAR DA AGROINDUSTRIA AÇUCAREIRA. Águas de Lindóia, S.P, 1976.
- PEREIRA, M. S. (1955). A origem dos cilindros na moagem da cana: Investigação em Palermo. Rio de Janeiro: IAA, 1955.
- PETRONE, M.T.S. (1968). A Lavoura Canavieira em São Paulo: expansão e declínio (1765-1851), São Paulo: Editora Difusão Européia do Livro, 1968.
- PIACENTE, F. J. (2005). Agroindústria Canavieira e o Sistema de Gestão Ambiental: O caso das usinas localizadas nas bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá. Dissertação de Mestrado – Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas- UNICAMP, 2005.
- PIACENTE, F. J. (2006). “Inovação e Progresso Tecnológico: Uma discussão teórica e um estudo de caso de Complexo Agroindustrial”. **In:** I CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE HISTÓRIA ECONÔMICA E III ENCONTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM HISTÓRIA ECONÔMICA. Campinas-SP. Anais..... UNICAMP: ABPHE – Associação Brasileira de Pesquisadores em História Econômica, 2006. CD-ROM.
- PONDÉ, J. L. S. P. S. Concorrência e mudança institucional em um enfoque evolucionista. Texto para Discussão. IE/UFRJ; n.396, 1997.
- PONDÉ, J. L. S. P. S. (1993). Coordenação e aprendizado: elementos para uma teoria das inovações institucionais nas firmas e nos mercados. Dissertação (Mestrado em Economia) – Instituto de Economia, Universidade de Campinas, 1993.
- POSSAS, M. L. (1985). Estruturas de Mercado em oligopólios. São Paulo: Hucitec, 1985.
- POSSAS, M. L. (1989). Em direção a um paradigma microeconômico: A abordagem neoschumpeterina. **In:** POSSAS *et al.* Ensaio sobre economia política moderna. São Paulo: Editora Marco Zero, 1989.
- POSSAS, M. L.; SALLES-FILHO, S.; SILVEIRA J. M. (1994). An Evolutionary Approach to Technological Innovation in Agriculture: Some Preliminary Remarks. Cadernos de Ciência & Tecnologia, Brasília, v.11, n.1/3, p.9-31, 1994.
- PROCKNOR, C. (1979). Processo DCI (Difusão por célula inundada) um difusor para o Programa Nacional do Alcool. Revista Brasil Açucareiro. Vol. 96, n.03, março de 1979.
- QUEDA, O (1971). A Intervenção do Estado e a Agroindústria Açucareira Paulista. Piracicaba: ESALQ/USP. Tese do Doutorado, 1971.
- RAMOS, P. (1999). Agroindústria canavieira e propriedade fundiária no Brasil. São Paulo: Editora. Hucitec, 1999.
- RAMOS, P. (1983). Um estudo da evolução e da estrutura da agroindústria canavieira em São Paulo (1930-1982)., São Paulo: FGV, Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Pós-Graduação da EAESP/FGV, 1983.
- RAMOS, P. & PIACENTE, F.J. (2005). “A história de uma usina ‘diferente’: O emprego do difusor pela Usina Ester e algumas particularidades de sua trajetória de expansão entre 1898

- e 1975”. In: VI CONGRESSO BRASILEIRO DE HISTÓRIA ECONOMICA E 7ª CONFERENCIA INTERNACIONAL DE HISTÓRIA DE EMPRESAS. Conservatória-RJ. **Anais...** Rio de Janeiro: ABPHE – Associação Brasileira de Pesquisadores em História Econômica, 2005. CD-ROM.
- RAMOS, P. (2007). Os mercados mundiais de açúcar e a evolução da agroindústria canavieira do Brasil entre 1930 e 1980: do açúcar ao álcool para o mercado interno. Revista Economia Aplicada. São Paulo, v. 11, n. 4, p. 559-585, outubro-dezembro de 2007.
- ROSENBERG, N. (2006). Por dentro da caixa-preta: tecnologia e economia. Campinas: Unicamp, 2006.
- SANT’ANA, C. (1970). Tecnologia do açúcar. Da matéria-prima à evaporação. Rio de Janeiro, IAA, Coleção Canavieira n. 13.
- SAWYER, F. H. (1906). Apreciações sobre o engenho “Esther”. Boletim da Agricultura da Secretaria da Agricultura, Comercio e Obras Publicas do Estado de São Paulo. 7ª série, nº. 1, janeiro de 1906, pp. 18-30.
- SCHUMPETER, J. A. (1982). Teoria do desenvolvimento econômico. São Paulo: Abril Cultural, 1982.
- SCHUMPETER, J. A. (1942). Capitalismo, socialismo e democracia. Rio de Janeiro: Zahar, 1942.
- SILVA, E. L. & MENEZES, E. M. (2000) Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação. Florianópolis: LED/UFSC, 2000. 118p.
- SIMON, H. A. (1959). Theories of decision-making in economics and behavioral science. The American Economic Review. Vol. 49, nº. 3, p. 253-283, jun., 1959.
- SMITH, T. (1912). Processos Modernos no Fabrico do Assucar de Canna. Revista La Hacienda. Março de 1912.
- SOARES, A. R. (2001). Um Século de Economia Açucareira: a evolução da moderna agroindústria do açúcar em São Paulo, de 1877 a 1970. São Paulo: Editora Clíper, 2001.
- SOBRINHO, J. B. (1912). A lavoura da canna e a industria assucareira. São Paulo: Typographia Brazil de Rothschild & Co., 1912.
- STUPIELLO, J. P. (1987). A cana de açúcar como matéria prima. **IN: Cana de Açúcar Cultivo e Utilização**, Fundação Cargil, Campinas-SP, Volume 2, 1987.
- SUGAR Reference Book and Directory (1937). London: Russell Palmer Publisher, 1937.
- SUZIGAN, W. (2000). Indústria brasileira: Origem e desenvolvimento. S. Paulo, Ed.Hucitec, 2000.
- SZMRECSÁNYI, T. (1979). O Planejamento da Agroindústria Canavieira do Brasil (19360-1975), São Paulo: Editora Hucitec, 1979.
- TEECE, D. (1986). Profiting from technological innovation: implications for integration, collaboration, licensing and public policy. Research Policy, v. 15, 1986.
- USINA de açúcar instala difusor montado no Brasil. Boletim Informativo COPERESTE. Ribeirão Preto, 7 (5), maio de 1968.
- UTTERBACK, J. (1996). Dominando a dinâmica da inovação. Editora Qualitymark. Rio de Janeiro, 1996.
- VAN DER DUSSEN, A. (1947). Relatório sobre as capitânicas conquistadas (1639). Rio de Janeiro: IAA, 1947.
- VEBLEN, T. (1965). A teoria da classe ociosa: um estudo econômico das instituições. São Paulo: Livraria Pioneira Editora, 1965.
- VEBLEN, T. (1919). The place of science in modern civilisation and other essays. New York : Huebsch, 1919.
- VELLOSO, L. (1955). Legislação Açucareira e Alcooleira: 1931 a 1955. Rio de Janeiro: IAA-Instituto do Açúcar e do Alcool, Vol. 1 e 2, 1955.

- VIEIRA, A (2006). Imagens do Açúcar: Engenho de açúcar na Sicília. AIHCA-News: Newsletter. Associação Internacional de História e Civilização do Açúcar. Funchal, n. 1, outubro de 2006.
- VIEIRA, A. & SANTOS, F. (2005). Açúcar, Melaço, Álcool e Aguardente; Notas e experiências de João Higinio Ferraz (1884-1946). Centro de Estudos de História do Atlântico. Funchal: Imprensa de Coimbra Lda, 2005.
- WATTS, A. J. (1895). Diffusion in Brazil. The Sugar Cane. Vol. XXVII, n. 310, may 1895.
- WILLIAMSON, O. E. (1985). The economic institutions of capitalism. New York: The Free Press, 1985.
- WILLIAMSON, O. E. (1991). Mercados y hierarquias: su análisis y sus implicaciones anti-trust. México : Fondo de Cultura, 1991.
- WHALLEY, H.C.S. (1964). ICUMSA methods of sugar analysis. Amsterdam: Elsevier, 1964.
- ZAWISLAK, P. A. (1996). Uma abordagem evolucionária para análise de casos de atividade de inovação no Brasil. Ensaio FEE, Porto Alegre, (17) 1 323-354, 1996.
- ZYSMAN, J. (1994). How Institutions Create Historically Rooted Trajectories of Growth. Industrial and Corporate Change. Vol. 3, nº 1, p. 243-283, 1994.