

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

USOS ALTERNATIVOS DO BAGAÇO
DE CANA-DE-AÇÚCAR
NA INDÚSTRIA AVÍCOLA E DA BORRACHA

por

JOSÉ CLAUDIO DEL PINO

Tese para obtenção do Título de Doutor em Engenharia

Porto Alegre

1994

ESCOLA DE ENGENHARIA
BIBLIOTECA

**USOS ALTERNATIVOS DO BAGAÇO
DE CANA-DE-AÇÚCAR
NA INDÚSTRIA AVÍCOLA E DA BORRACHA**

por

JOSÉ CLAUDIO DEL PINO

Mestre em Ciências Biológicas-Bioquímica

Tese submetida ao Corpo Docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, PROMEC, da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de

Doutor em Engenharia

Área de Concentração: Energia - Biomassa

Orientador: Prof. Dr. Anildo Bristoti

Aprovado por: Prof. Dr. Ary Bernardes da Silva

Prof. Dr. Hélio Adão Greven

Prof. Dr. Lavinel George Ionescu

Prof. Dr. Pedro Barbosa Mello

Prof. Dr. Sérgio V. Möller
Coordenador do PROMEC

Porto Alegre, 19 de Outubro de 1994.

Um agradecimento especial a todos que por um gesto ou palavra ajudaram a sustentar uma utopia que consegui materializar, em parte, neste trabalho.

RESUMO

A cana-de-açúcar contém em média 12% de fibra que no processo de extração do caldo se transforma no bagaço de cana. Esta fibra tem composição química típica, contendo em média 36% de α -celulose, 31% de hemicelulose, 22% de lignina e 11% de outros constituintes.

O bagaço de cana é usado preferencialmente na indústria açucareira e alcooleira como combustível para gerar energia térmica, consumida localmente. Sua produção é da ordem de 25% do total da cana moída, e seu consumo é dependente das necessidades energéticas do complexo industrial, podendo haver um excedente de bagaço de até 30% do total produzido. Este poderá ser utilizado para diversos fins, como para co-geração de energia elétrica, biodigestão, ração animal, fertilizante, química fina, matéria plástica, entre outros.

Neste trabalho de pesquisa propõe-se o estudo da viabilidade da utilização do bagaço de cana na indústria avícola, do calçado e da construção civil.

Em função de suas propriedades físicas e químicas o bagaço de cana pode ser utilizado como carga inerte em composições de artefatos de borracha, em substituição ao caulim e aos carbonatos. Associado a materiais plastificantes, como resinas fenólicas, facilitam o processamento industrial e melhoram propriedades mecânicas do vulcanizado.

A composição de borracha com bagaço de cana utilizado na fabricação de solados de sapato, apresenta baixa densidade hidrostática, boa aparência, dureza elevada, resistência a abrasão, a flexão e ao rasgamento progressivo, propriedades específicas que permitem avaliar a qualidade deste produto. Testes de campo também mostram a viabilidade da utilização desta composição de borracha em solado de sapato. Quanto à fabricação de aglomerados elastoméricos, estes apresentam boa flexibilidade e dureza compatível com o fim a que se destinam. Estes podem ser serrados, pregados ou parafusados, com desempenho equivalente a madeira.

Em relação a utilização do bagaço de cana como cama de aviário, verificou-se que a pré-fermentação, processo que ocasiona a redução da umidade e do teor de açúcares no bagaço, e procedimentos adequados de manejo são fatores determinantes para a obtenção de condições que não interfiram no desenvolvimento dos animais. Comparativamente a maravalha, o bagaço de cana apresentou boa capacidade de absorção de água e de compactação. Não há diferença significativa no ganho de peso, mortalidade dos animais e crescimento de microorganismos. Não detectou-se presença de aflatoxinas. O acompanhamento clínico dos animais não evidenciou alterações locomotoras ou aparecimento de outros tipos de lesão. Após a criação dos animais, a cama constitui-se numa fonte de nutrientes para a produção agrícola ou animal.

A análise econômica para comercialização do bagaço de cana, é dependente do custo de sua produção e do tipo de utilização industrial. Uma unidade de produção de 5.000 litros de álcool por dia operando durante seis meses por ano produz um excedente de bagaço de cana, que ao ser comercializado na indústria avícola, ao valor de US\$ 2/m³, gera uma receita de US\$ 11.340/ano, permitindo um retorno do investimento num período de três a quatro anos. Na indústria do calçado e da construção civil, onde o bagaço é utilizado como carga inerte na composição da borracha, este será comercializado por US\$ 0,05 /Kg, obtendo-se uma receita de US\$ 48.495/ano, permitindo um retorno do investimento, no período de um ano. Deve-se salientar que esta é uma receita adicional àquela conseguida com a comercialização do álcool combustível, e que 70% do bagaço de cana já foi utilizado como fonte energética na destilaria.

ABSTRACT

Sugar cane contains on the average 12% fiber that in the process of the syrup extraction yields the bagasse. A typical bagasse composition determination results: 36% α -Cellulose, 31% hemicellulose, 22% lignin and 11% others.

Usually the bagasse is used in the Sugar and Alcohol Plants as a fuel to generate heat and electricity. Its production is around 25% of the total crushed sugar cane. In some cases there is a 30% surplus of bagasse out of total needs in energy for the process of the alcohol production. This surplus is being used for energy production and in the paper industry. In this work alternative uses for the bagasse are proposed mainly in the shoe poultry and construction industries are being studied.

Based on the chemical and physical properties of the bagasse it can be used as an inert filler for elastomeric composites employed for the manufacture of rubber artifacts in place of kaolin and carbonates. When added to plastifying materials such as phenolic resins, it facilitates the industrial processing of the vulcanizate and improves mechanic properties such as hardness resistance to abrasion and to heat.

Hydrostatic density and abrasion exhibit lower values as does resistance to flexion. This means that the rubber compositions with bagasse have the appropriate characteristics for the use of sole shoes production.

The present experiment also evaluates previously fermented or raw crushed sugar cane bagasse as a source material for poultry litter. The results indicated that fermented bagasse can be used as poultry litter and has very similar conditions when compared to wood shavings (which were taken as standard) the following variables were studied: microbial population, humidity, total sugar, development of aflatoxins in the litter and broiler's weight and mortality. The

experiment results indicated no presence of aflatoxins, no significant difference in broiler's weight when compared with the standard bed made of wood shavings.

The economical analysis for the commercialization of sugar cane bagasse depends on its production cost and type of industrial use. For the poultry industry it can be offered at US\$ 2/m³ while for the shoe manufacture and for the building industry it should be offered at US\$ 0.05/kg. In both cases good profit and short financial return is obtained.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUÇÃO	01
II. OBJETIVOS DO TRABALHO	03
III. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	04
3.1. Biomassa Energética	04
3.2. A Cana-de-Açúcar	08
3.3. A Produção de Álcool Hidratado Combustível	13
3.4. Balanço Energético da Produção e Utilização do Álcool Hidratado como Combustível	27
3.5. O Bagaço de Cana-de-Açúcar	32
3.6. O Bagaço de Cana na Indústria da Borracha	36
3.7. O Bagaço de Cana na Indústria Avícola	43
IV. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS	46
BAGAÇO DE CANA NA INDÚSTRIA DO CALÇADO E DA CONSTRUÇÃO CIVIL	46
4.1. Experimento 1 -Composição da Borracha com Caulim e Bagaço de Cana-de-Açúcar	46
4.1.1. Material e Métodos	46
4.1.2. Resultados e Discussão	47

	Página	
4.2.	Experimento 2 -Composições de Borracha com Caulim, Bagaço de Cana e Resina Fenólica	52
4.2.1.	Material e Métodos	53
4.2.2.	Resultados e Discussão	55
4.3.	Experimento 3- Composições da Borracha para a Produção de Artefatos de Borracha para a Indústria do Calçado e da Construção Civil	59
4.3.1.	Material e Métodos	60
4.3.2.	Resultados e Discussão	61
4.4.	Síntese das Conclusões deste Trabalho	63
	BAGAÇO DE CANA NA INDÚSTRIA AVÍCOLA	64
4.5.	Experimento 4 -Um Experimento Piloto para Avaliar a Performance do Bagaço de Cana como Cama de Aviário	64
4.5.1.	Material e Métodos	64
4.5.2.	Resultados e Discussão	65
4.6.	Experimento 5 -Um Delineamento Experimental para Utilização do Bagaço de Cana como Cama de Aviário e Análise Estatística de Resultados	70
4.6.1.	Material e Métodos	70
4.6.2.	Resultados e Discussão	71

	Página	
4.7.	Experimento 6 -Utilização de Bagaço de Cana Fermentado como Cama de Aviário	73
4.7.1.	Material e Métodos	73
4.7.2.	Resultados e Discussão	74
4.8.	Síntese das Conclusões deste Trabalho	77
 V. ANÁLISE ECONÔMICA PARA COMERCIALIZAÇÃO DO BAGAÇO DE CANA		 79
5.1.	A Produção do Bagaço de Cana na Destilaria	79
5.2.	A Utilização do Bagaço de Cana na Indústria	84
5.2.1.	Indústria Avícola	84
5.2.2.	Indústria da Borracha	86
5.3.	Síntese das Conclusões deste Trabalho	90
 VI. APÊNDICE I - POTENCIAL NUTRICIONAL DA CAMA DE AVIÁRIO COMO FERTILIZANTE E RAÇÃO ANIMAL		 92
 VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		 96

ÍNDICE DE QUADROS

	Página
3.1. Composição do Colmo da Cana-de-Açúcar	10
3.2. Composição Química do Caldo de Cana-de-Açúcar	10
3.3. Composição Química da Fibra de Cana-de-Açúcar	10
3.4. Principais Fontes de Glicídios para Produção de Etanol	15
3.5. Balanço Energético na Produção de Álcool a Partir da Cana , Mandioca e Sorgo	23
3.6. Classificação das Destilarias por Volume de Produção	22
3.7. Comparação entre o SIPEA e a Destilaria de 120.000 Litros ao Dia	26
4.1. Formulação da Composição da Borracha	48
4.2. Caracterização da Carga	48
4.3. Propriedades Mecânicas da Composição da Borracha com Caulim	49
4.4. Propriedades Mecânicas da Composição da Borracha com Bagaço	50
4.5. Variação das Propriedades Mecânicas da Borracha em Função do Envelhecimento	52
4.6. Formulação da Composição da Borracha	54
4.7. Caracterização das Cargas	54
4.8. Propriedades Mecânicas da Composição da Borracha com BC (200/325 M)	56

	Página
4.9. Propriedades Mecânicas da Composição da Borracha com BC (35/60 M)	57
4.10. Formulações das Composições de Borracha	60
4.11. Propriedades Mecânicas da composição de Borracha	62
4.12. Propriedades Específicas Avaliadas para Calçados	62
4.13. Propriedades Mecânicas do Aglomerado	63
4.14. Composição da Cama	65
4.15. Umidade da Cama	66
4.16. Peso Médio dos Animais	68
4.17. Contagem de Microorganismos	69
4.18. Mortalidade total	69
4.19. Composição da Cama	70
4.20. Umidade da Cama	72
4.21. Mortalidade Total	72
4.22. Peso Médio dos Animais	73
4.23. Composição da Cama	74
4.24. Síntese dos Resultados Obtidos nos Diferentes Tratamentos	77
5.1. Investimento Total para Comercialização do Bagaço de Cana	84
5.2. Rentabilidade de Comercialização do Bagaço de Cana para a Indústria Avícola	85
5.3. Formulações das Composições de Borracha	87

		Página
5.4.	Rentabilidade de Comercialização do Bagaço de Cana para a Indústria da Borracha	88
6.1.	Teores Médios de Elementos Químicos em Cama de Aviário Constituída de Maravalha e Esterco de Frango	93
6.2.	Composição Química da Cama de Aviário com Bagaço de Cana para Uso como Fertilizante	95
6.3.	Composição Química da Cama de Aviário com Bagaço de Cana para Uso em Ração Animal	95

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
3.1. Fluxograma de Produtos Obtidos em Função do Tipo de Destilaria	11
3.2. Fluxograma de Produtos e Subprodutos Obtidos no Processamento da Cana-de-Açúcar	12
3.3. Etapas da Produção de Álcool	17
3.4. Fluxograma do Processo de Produção de Etanol a Partir da Cana-de-Açúcar	18
3.5. Fluxograma do Processo de Produção de Etanol a Partir da Mandioca	19
3.6. Fluxograma do Processo de Produção de Etanol a Partir do Sorgo Sacarino	20
3.7. Fluxograma do Processo de Produção de Etanol a Partir de Materiais Ligno-Celulósicos	21
3.8. Fluxograma de um Sistema Integrado de Produção de Energia e Alimentos	25
3.9. Ganho Energético em Função do Teor de Álcool na Mistura Hidro-Alcoólica	30
3.10. Variação do Consumo Específico em Função da Variação da Fração de Álcool no Combustível	31
3.11. Fluxograma Simplificado do Sistema Rural de Bioenergia	34
4.1. Curva de Distribuição Granulométrica para Bagaço de Cana	53
4.2. Relação entre Propriedades do Vulcanizado e Intensidade de Reticulação	59
5.1. Variação da Umidade no Bagaço de Cana sob Fermentação	81
5.2. Variação dos Açúcares Redutores Totais no Bagaço de Cana Sob Fermentação	81

I. INTRODUÇÃO

O Programa Nacional do Álcool(Proálcool), implantado em 1975 como uma possível forma de minorar os prejuízos dos produtores de açúcar, em face das baixas cotações internacionais desse produto, e para gerar um combustível complementar à gasolina, passou por dificuldades temporárias, mas alcançou grande desenvolvimento nestes 19 anos de existência. Os dois objetivos foram satisfeitos, pois numa conjuntura de preços internacionais deprimidos do açúcar, permitiu a sobrevivência da agricultura canavieira e no campo da geração de combustível independente do petróleo, teve a oportunidade de ocupar o primeiro lugar como combustível de veículos com motor Otto, deslocando desse posto a gasolina.

No Rio Grande do Sul, o cultivo de cana-de-açúcar tem se destinado preferencialmente para a produção de forragens, aguardente, açúcar mascavo e rapadura. Esta atividade no nível da indústria caseira tem se difundido em diversas regiões de nosso Estado. Houve algumas tentativas de produção de álcool, como as da Agropecuária Capela S.A., Açúcar Gaúcho S.A., no entanto não foram bem sucedidas e hoje temos em funcionamento apenas uma destilaria em Porto Xavier, a Alpox, com Capacidade de 60 mil litros por dia.

O cultivo de cana-de-açúcar exige condições climáticas que não são totalmente satisfeitas, no nosso Estado, ocasionando decréscimo de produtividade se comparada com outras regiões produtoras, como o nordeste, sudeste e outras. No entanto, resultados de vários trabalhos de pesquisa tem mostrado a importância da seleção de cultivares que se adaptem às características edafo-climáticas locais. Hoje, tem-se disponível variedades de cana-de-açúcar de ciclo curto e alta produtividade, que podem ser adaptadas para as diversas micro-regiões do Rio Grande do Sul, como Alto Uruguai, Encosta Inferior e Superior do Nordeste, Depressão Central, Missões, Litoral Norte e Encosta Sudeste. A introdução de culturas adaptadas em países vizinhos como Uruguai e Argentina,

onde as condições climáticas são mais críticas, também tem auxiliado a vencer obstáculos ao plantio de cana no Rio Grande do Sul.

Visando contribuir com a implantação de um sistema de produção de álcool hidratado combustível, no Estado, propõe-se alternativas para a utilização do bagaço de cana, tendo em vista o parque industrial aqui instalado. Três tipos de indústria foram selecionadas para se atingir este propósito: indústria avícola, do calçado e da construção civil. Prevê-se a utilização local do bagaço excedente na destilaria de álcool, o que direciona sua localização nas regiões que concentram os tipos de indústria anteriormente mencionadas.

Preferentemente deve-se adotar um modelo de produção de álcool em mini e microdestilarias, em regiões minifundiárias. Utilizar sistemas integrados de produção de energia e alimentos, consorciando atividades agrícolas e industriais.

Há na literatura científica relato de experiências bem sucedidas onde se utilizou bagaço de cana como cama em aviário, no entanto há resistência por parte dos criadores de frango para seu emprego generalizado. Isto se deve ao teor de açúcar residual e a umidade presente no bagaço, o que contribuiria para o desenvolvimento de doenças características das aves. Neste trabalho propõe-se a fermentação prévia do bagaço, como forma de dotá-lo de condições para o uso em cama de aviário.

O bagaço de cana-de-açúcar tem sido utilizado em vários ramos da indústria, entre os quais, do papel, materiais aglomerados, e outros. O bagaço apresenta propriedades físicas e químicas que permitem sua utilização como carga inerte em composições de artefatos de borracha, que pretende-se orientar seu emprego na indústria do calçado, da construção civil ou moveleira.

As propostas alternativas de utilização do bagaço de cana, apresentadas neste trabalho, são acompanhados de estudos de viabilidade econômica de industrialização destes novos materiais.

II. OBJETIVOS DO TRABALHO

-Estudar a viabilidade da utilização alternativa do bagaço de cana na indústria avícola, analisando os resultados sob o aspecto técnico, econômico e energético, em relação:

- Ao desenvolvimento dos animais confinados em galpões cujo piso foi revestido com bagaço de cana comparativamente a maravalha;
- ao mercado da maravalha, estimando o preço do bagaço nesta área de produção industrial;
- Ao potencial nutricional da cana, como fertilizante e ração animal.

-Estudar a viabilidade da utilização alternativa do bagaço de cana para a produção de artefatos de borracha na indústria do calçado, analisando os resultados sob o aspecto técnico, econômico e energético, considerando o bagaço como carga inerte, comparativamente a outras cargas.

-Estudar a viabilidade da utilização alternativa do bagaço de cana para a produção de artefatos de borracha na indústria da construção civil, analisando os resultados sob o aspecto técnico, econômico e energético, a partir de uma formulação contendo bagaço e resina fenólica.

III. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. BIOMASSA ENERGÉTICA

Considera-se biomassa toda a matéria orgânica proveniente do reino animal ou vegetal que pode ser utilizada como matéria-prima para a produção de alimentos, energia ou produtos químicos, substituindo total ou parcialmente as fontes fósseis de combustíveis[1]. A utilização da biomassa para fins energéticos é tão antiga quanto a própria história da civilização, e, ainda hoje, a grande maioria dos países em desenvolvimento continua empregando a biomassa como fonte primária de energia.

O Brasil apresenta grande potencial para produzir biomassa, em função de possuir[1]:

- grandes áreas potencialmente cultiváveis;
- baixa densidade demográfica;
- alto índice de radiação solar o ano inteiro;
- razoável quantidade de precipitação média anual, principalmente na região sul,
- e áreas com potencial para reflorestamento.

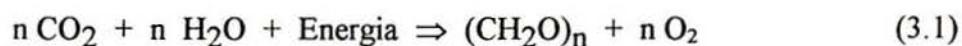
A biomassa é uma fonte renovável de energia que satisfaz a maioria dos requisitos para exploração de energéticos na natureza[1], quais sejam:

- não provocar danos ao meio ambiente;
- competir economicamente com fontes tradicionais de energia, como os combustíveis fósseis;
- ser produzida em nível local ou regional;
- contar com a aceitação social;
- pode não competir com a produção de alimentos.

As fontes de biomassa para a produção de energia térmica são muito variadas, como os recursos florestais, culturas energéticas, fitomassa aquática, resíduos florestais, industriais e urbanos, entre outros.

A biomassa energética é fonte primária de três formas de energéticos: sólidos, líquidos e gasosos. Os principais combustíveis sólidos são a lenha, que no caso do Rio Grande do Sul constitui 25% do balanço energético global, e os resíduos agrícolas e florestais, destacando-se a utilização da casca de arroz e o carvão vegetal. Os combustíveis líquidos são o álcool metílico e etílico, importante alternativa estratégica aos derivados de petróleo, pois reduzem os danos ambientais produzidos pelos motores a combustão interna; e sendo renováveis e produzidos de forma descentralizada, contribuem para diminuir a importação de petróleo. Os derivados gasosos são constituídos pelo biogás (60% de CH₄ e 40% de CO₂), importante para o processo de tratamento de resíduos industriais e gases resultantes do processo de pirólise da madeira[2].

Esta biomassa energética tem sua origem na energia fotossintética que pode gerar anualmente 1,46x10⁹ t de biomassa[3]. O sol é a fonte de energia utilizada pelos vegetais para a realização da síntese de compostos orgânicos complexos a partir de substituintes mais simples como o dióxido de carbono e água, conforme representado pela equação simplificada:



A energia solar convertida em energia química está presente nas plantas sob a forma de glicídios, protídios, lipídios e outros compostos que podem ser utilizados como alimentos, matérias-primas e combustíveis. O mecanismo fotossintético que possibilita esta transformação permite classificar as plantas em C₃ e C₄, conforme o tipo acceptor para a fixação de gás carbônico [1,3].

Atualmente, a crise de energia, a carência de alimentos em certas partes do globo terrestre e a ameaça ao meio ambiente, estreitamente relacionados, constituem grandes problemas que

afligem o homem moderno. O aumento populacional e o desenvolvimento sócio-econômico determinam acréscimo à demanda de alimentos e de bens de consumo, que exigem para sua produção um aumento na quantidade de energia e no despejo no ambiente de grandes volumes de resíduos poluentes. Pelas características de produção e utilização da biomassa, esta assume papel de destaque entre as fontes novas e renováveis de energia em diversas regiões do mundo, conforme descrito por Sassin[4], onde estima para o ano 2000 a utilização desta para a geração de 20 trilhões de KWh.

A viabilização, a médio e longo prazo, de um Plano de Estabilização Econômica é dependente da criação de uma estrutura econômica, industrial e tecnológica coerente com a realidade de cada região ou micro-região, baseado na utilização de recursos disponíveis num espaço geográfico e sócio-econômico bem caracterizado.

O ritmo de expansão econômica de nosso país e sua dependência energética e tecnológica do petróleo, se torna crítica em função das poucas reservas conhecidas, assim como não são grandes a longo prazo, as reservas de gás natural e urânio. As reservas de carvão são maiores, mas sua utilização intensiva levaria a problemas sociais e de agressão ao meio ambiente praticamente insuperáveis. Em função disto, a biomassa deverá receber um tratamento mais racional no sentido de intensificar sua utilização, pois não se trata apenas de substituir uma fonte energética por outra, mas, principalmente, reduzir a dependência energética e tecnológica entre os países ricos e os do Terceiro Mundo, e até de diferentes regiões geográficas de um país, como acontece com os programas das grandes hidroelétricas[5,6].

O progresso tecnológico flui, naturalmente, da interação racional do homem com os recursos naturais. Se estes recursos são estratégicos e, ao mesmo tempo, abundantes, eles podem sustentar por décadas ou mesmo séculos, a expansão das atividades humanas. Isto aconteceu, por exemplo, em relação ao carvão mineral que redundou na Primeira Revolução Industrial e ao

petróleo que levou à Segunda Revolução Industrial. Outro recurso energético mais abundante e de maior valor estratégico que os anteriores, é a energia solar fixada na biomassa através da fotossíntese. Este é um recurso renovável, ecologicamente limpo e democraticamente distribuído pelas diversas regiões[5].

O atual modelo de crescimento brasileiro, que tenta reproduzir por imitação modelos referidos a realidades diferentes, é, basicamente, inviável a médio e longo prazo, pois exige a mobilização prévia de recursos financeiros, tecnológicos e industriais não disponíveis em nossa economia. O investimento de capital, associado à utilização energética da biomassa, é relativamente pequeno, quando comparado com alternativas convencionais. As estruturas industrial e tecnológica necessárias podem ser desenvolvidas sem dificuldades no atual contexto brasileiro, utilizando-se recursos existentes, inclusive no nível regional e local. Os recursos básicos para se iniciar um programa de utilização energética da biomassa são terra e mão-de-obra, recursos abundantes e subutilizados no Brasil.

A biomassa, mais que uma simples alternativa energética, pode se constituir a base de um modelo de desenvolvimento tecnológico e industrial auto-sustentado, porque está fundamentada em dados concretos da realidade nacional e na integração do Homem a um ambiente econômico em harmonia com seu ambiente natural. Pode se constituir num novo modelo de ocupação do território brasileiro, uma nova civilização que exigirá a mudança de estrutura do poder, descentralizando-o[5].

O Brasil tem desenvolvido alguns programas de exploração energética da biomassa. Mas é premente a necessidade de se criar condições institucionais para ampliar a utilização, pela indústria, de combustíveis derivados da biomassa, inclusive lenha, carvão vegetal, bagaço de cana e gás obtido a partir da lenha ou do carvão vegetal em gaseificadores industriais. A química baseada nos hidratos de carbono, no etanol, no metanol, nos alcatrões e em outros derivados da

biomassa deve desenvolver-se não como um complemento à petroquímica, mas como um segmento autônomo, com conteúdo tecnológico e estratégico próprio[5,7].

Estes são alguns exemplos que estão longe de esgotar a enumeração das oportunidades a serem exploradas a curto prazo, mediante uma decisão e uma ação política firmes na utilização de vetores energéticos a partir da biomassa para serem utilizados na propulsão de veículos, na substituição de derivados de petróleo na indústria, na geração de eletricidade e em suas aplicações mais tradicionais no consumo residencial e industrial.

3.2. A CANA-DE-AÇÚCAR

Historicamente, a cana-de-açúcar, introduzida no Brasil por volta de 1530, é uma das culturas mais tradicionais e importantes, devido a exportação de produtos derivados. Sua disseminação a partir do nordeste, para quase todas as regiões não impediu que surgissem dois pólos produtores de açúcar, que são o Centro-Sul e a Zona da Mata Nordestina. O grande número de usinas de açúcar e a conseqüente produção de melaço residual permitiram ao país uma rápida resposta na produção de álcool etílico, pelo chamado sistema de destilarias anexas. Posteriormente houve engajamento do empreendimento autônomo, com a produção de álcool diretamente do caldo de cana. A escolha, a nível nacional, da cana como matéria-prima, foi devido, principalmente, a fatos históricos e pressão dos usineiros, em função do baixo preço internacional do açúcar na época do lançamento do Plano Nacional do Álcool. Posteriormente, vários pesquisadores estudaram um leque maior de matérias-primas e todos tem concordado que, dentre as várias opções, a cana-de-açúcar apresenta o balanço energético mais favorável[8].

No Rio Grande do Sul, o cultivo de cana-de-açúcar tem se destinado preferencialmente para a produção de forragens, aguardente, açúcar mascavo e rapadura. Esta atividade no nível da indústria caseira tem se difundido em diversas regiões de nosso estado. Houve algumas tentativas

de produção de álcool, como as da Agropecuária Capela S.A., Açúcar Gaúcho S.A., no entanto não foram bem sucedidas e hoje temos em funcionamento apenas uma destilaria em Porto Xavier, com capacidade de 60 mil litros por dia[9].

No Rio Grande do Sul existem 6,3 milhões de hectares de terra, entre áreas preferenciais e toleráveis, com possibilidade de plantio de cana. As condições de clima para o cultivo de cana são: luminosidade, chuvas distribuídas regularmente de no mínimo 1200 mm/ano, temperatura média de 20°C durante o período de crescimento e frio e estiagem moderados no período de maturação, quando ocorre o acúmulo de sacarose. É uma cultura sensível a geadas, principalmente durante o crescimento, e excesso de chuvas na colheita, o que pode causar redução no teor de sacarose. Prefere solos profundos, drenados e férteis, com acidez entre pH 5,5 e 6,5[10].

Resultados de vários trabalhos de pesquisa tem mostrado a importância da seleção de cultivares que se adaptem às características edafo-climáticas locais. Hoje, tem-se disponível variedades de cana que podem ser adaptadas para diversas micro-regiões do RS, como Alto Uruguai, Encosta Inferior e Superior do Nordeste, Depressão Central, Missões, Litoral Norte e Encosta Sudeste. A introdução de culturas adaptadas em países vizinhos como Uruguai e Argentina, onde as condições climáticas são mais críticas, tem auxiliado a vencer obstáculos ao plantio da cana no RS[11,12,13].

A cana-de-açúcar é constituída de várias partes, denominadas: raiz, colmo, palhaça e pontas verdes. Na produção de álcool e açúcar se utiliza o colmo que tem a composição básica descrita no Quadro 3.1.[3,14].

Quadro 3.1. Composição do Colmo da Cana-de-Açúcar

Componentes	Variação (%)	Média (%)
Caldo	83 - 92	88
Fibra	08 - 17	12

O caldo e a fibra tem as seguintes composições químicas descritas nos Quadros 3.2. e 3.3., respectivamente[3,14].

Quadro 3.2. Composição Química do Caldo de Cana-de-Açúcar

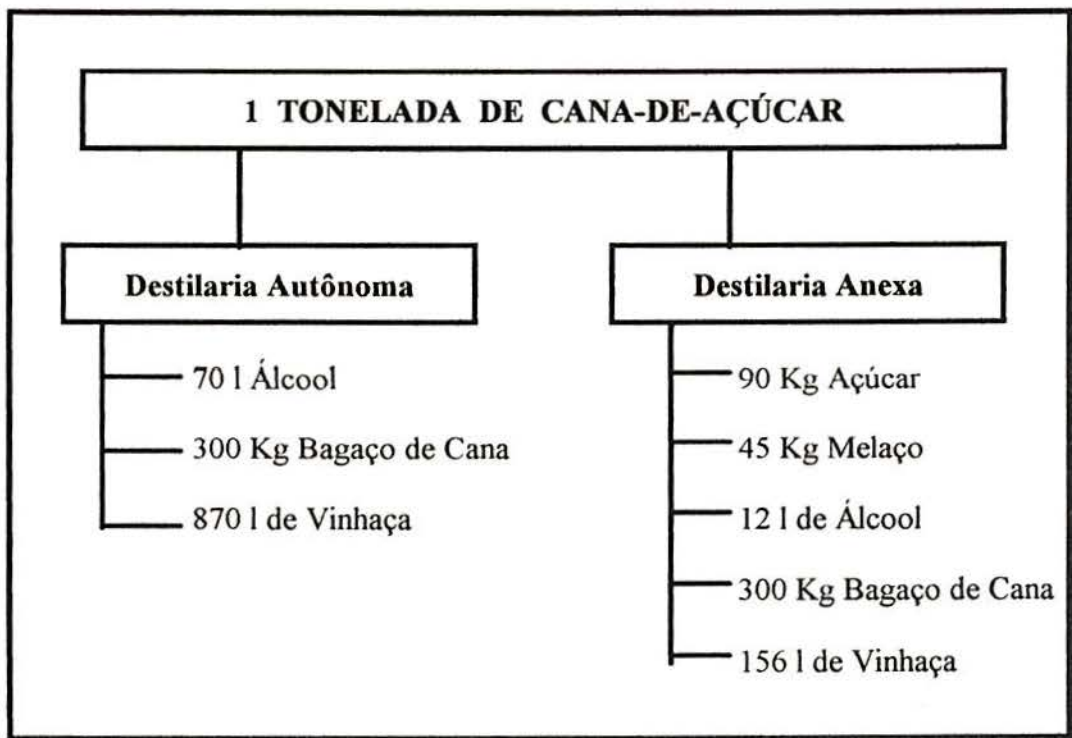
Componentes	Variação (%)	Média (%)
Água	75 - 82	78
Sólidos totais	18 - 25	22
Açúcares totais	15,4 - 24	20,5
Sacarose	14,5 - 23,5	20,0
Glicose	0,2 - 1,0	0,4
Frutose	0,0 - 0,5	0,1
Não-açúcares	1,0 - 2,5	1,5
Orgânicos	0,8 - 1,5	1,2
Cinzas	0,2 - 0,7	0,3

Quadro 3.3. Composição Química da Fibra de Cana-de-Açúcar

Componentes	Quantidade (%)
α - celulose	36
Hemicelulose	31
Lignina	22
Outros (minerais, proteínas e açúcares solúveis)	11

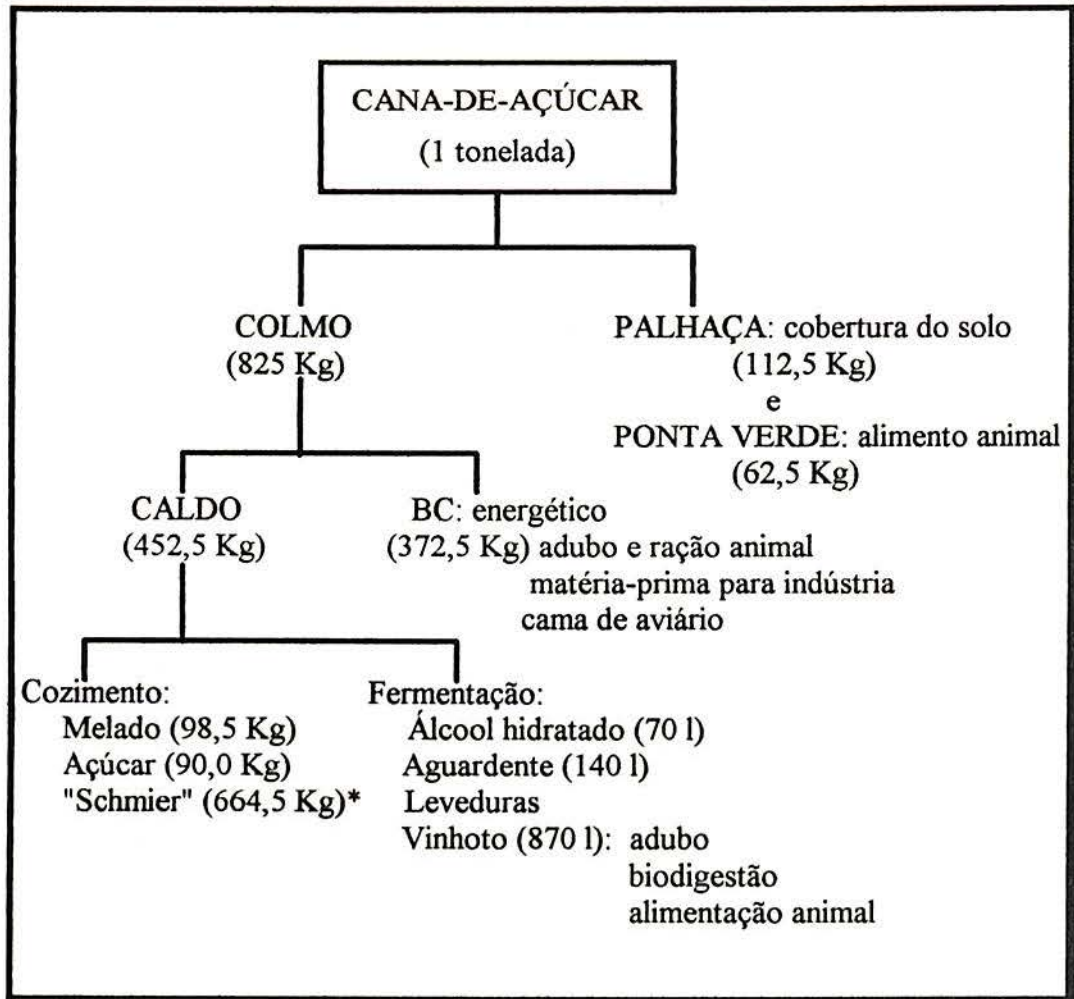
A produção de cana por hectare é bastante variável, dependendo da espécie, da região e da época de corte. Aceita-se como valor médio 70 toneladas por hectare num período de quatro anos de colheita. A cana-de-açúcar pode ser processada em destilarias do tipo anexa ou autônoma. Em função disto podemos obter produtos diferenciados no processo, conforme apresentado na Figura 3.1.[3,14].

Figura 3.1. Fluxograma de Produtos Obtidos em Função do Tipo de Destilaria



A cana-de-açúcar na fase agrícola e industrial nos fornece produtos e subprodutos que podem ser utilizados para diversos fins, conforme descrito na Figura 3.2. As quantidades expressas foram determinadas utilizando-se os resultados obtidos por Menezes[3] e Hoffmann[11].

Figura 3.2. Fluxograma de Produtos e Subprodutos Obtidos no Processamento da Cana-de-Açúcar



* Pasta fluida (geléia) constituída de caldo de cana e frutas ou tubérculos

Pelo exposto acima observa-se a grande variedade de produtos e subprodutos que podem ser obtidos a partir da cana-de-açúcar e que se bem aproveitados contribuirão para a melhoria da eficiência dos processos descritos acima.

3.3. A PRODUÇÃO DE ÁLCOOL HIDRATADO COMBUSTÍVEL

Considerável atenção tem sido dada para a utilização de álcool como combustível derivado da biomassa. Quer seja na forma hidratada, quer seja anidro como aditivo de gasolina. Álcool produzido a partir da biomassa é um combustível renovável, produzido regionalmente, permitindo diminuir a dependência econômica e tecnológica entre diferentes regiões do mundo e até de um país. Fontes de biomassa para a produção de álcool são constituídas por materiais sacarídeos, amiláceos e celulósicos, presentes na madeira, cereais, tubérculos, sorgo e cana-de-açúcar. A tecnologia para produção de álcool é bem conhecida, não se constituindo um entrave para a implantação de um programa de industrialização. Etanol e metanol são álcoois considerados correntemente como fontes de energia de uso extensivo para o setor de transporte. A produção de etanol tem recebido maior atenção porque há grande disponibilidade de biomassa proveniente da agricultura, cujo processo de conversão industrial é bastante acessível, originando um combustível com propriedades melhores quando comparadas ao metanol[15].

O Brasil atualmente importa cerca de 500 mil barris de petróleo/dia. Neste final de século a sociedade é dependente basicamente da eletricidade e dos combustíveis líquidos e gasosos. Há a necessidade de implementar um modelo integrado de distribuição de energia primária entre os subsistemas centralizados e descentralizados, que permita um desenvolvimento harmônico de uma região, contemplando o equilíbrio no trinômio energia-economia-ecologia. Pode-se conceber um modelo integrado de produção de álcool através de um subsistema centralizado, utilizando grandes destilarias, ou de um sistema descentralizado, utilizando microdestilarias[2].

O Programa Nacional do Álcool (Proálcool), implantado em 1975 como uma possível forma de minorar os prejuízos dos produtores de açúcar, em face das baixas cotações internacionais desse produto, e para gerar um combustível complementar à gasolina, passou por dificuldades temporárias, mas alcançou grande desenvolvimento nestes 19 anos de sua existência.

Os dois objetivos foram satisfeitos, pois numa conjuntura de preços internacionais deprimidos do açúcar, permitiu a sobrevivência da agricultura canavieira e, no campo da geração de combustível independente do petróleo, teve a oportunidade de ocupar o primeiro lugar como combustível de veículos com motor Otto, deslocando desse posto a gasolina. O atendimento desses objetivos significam ganhos extraordinários para a nação no que diz respeito à contabilidade de moeda conversível. A abertura de um mercado alternativo para a cana-de-açúcar garantiu a redução da oferta internacional de açúcar, impedindo assim que os seus preços declinassem ainda mais. Isso significa que se recebe mais dólares pelo açúcar exportado. A utilização do álcool em lugar da gasolina garantiu a importação menor de petróleo e uma exportação de gasolina, o que também significa uma redução no dispêndio de dólares. Deve-se acrescentar que este plano se constitui, em nível mundial, de um Programa de energia renovável.

Enquanto o preço do petróleo estava em trajetória ascendente, o plano se justificava sem maiores dificuldades. A partir do momento em que houve um declínio na cotação do barril de petróleo, numa análise inicial, não se justificaria mais a produção de um combustível alternativo que fosse mais caro que a gasolina. Há necessidade de se analisar com maior profundidade o assunto. Inicialmente diminuir a dependência de um energético não-renovável, que necessita ser importado de outros países produtores, é uma estratégia de segurança nacional. Na análise econômica deve-se adicionar a utilização de sub-produtos do processo, por exemplo a utilização do bagaço de cana excedente na destilaria como matéria-prima para a geração de energia elétrica[16,17].

Deve-se salientar ainda os benefícios ecológicos da utilização de um combustível renovável, bem como os benefícios da utilização de um programa cooperativado de produção deste combustível.

Um outro aspecto da questão é o de que o Proálcool não estimula a produção de álcool em microdestilarias. Estes sistemas têm se mostrado perfeitamente viáveis, se utilizados em modelos onde haja produção e consumo local de álcool. Neles se utilizam equipamentos menos sofisticados e de menor custo, e formação de cooperativas entre os produtores de cana, para a produção do álcool. Há uma flexibilidade maior na utilização local de sub-produtos na fase agrícola e industrial, contribuindo para a economicidade do processo[18].

Conforme descrito anteriormente, várias fontes de biomassa podem ser utilizadas para a produção de álcool combustível. Algumas delas fornecem glicídios diretamente fermentescíveis, e outras necessitam ser submetidas a processos de hidrólise, conforme descrito no Quadro 3.4.

O processo de produção de álcool etílico tem seu início na fase agrícola para obtenção da matéria-prima que será transformada na fase industrial. Esta, genericamente, é constituída pela extração, fermentação e destilação, conforme descrito na Figura 3.3.

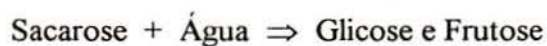
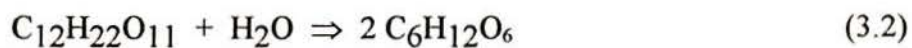
Para cada matéria-prima, as etapas no quadro 3.4., sofrem desdobramentos que estão descritos nas Figuras 3.4., 3.5., 3.6. e 3.7. para materiais sacarídicos, amiláceos e ligno-celulósicos[1].

Quadro 3.4. Principais Fontes de Glicídios Para a Produção de Etanol

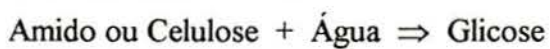
DIRETAMENTE FERMENTESCÍVEIS	GLICOSE: polpa de frutas
	FRUTOSE: polpa de frutas
	SACAROSE: cana-de-açúcar, beterraba, sorgo sacarino (colmo)
INDIRETAMENTE FERMENTESCÍVEIS	AMIDO: mandioca, batata doce, milho, grãos de cereais em geral, tubérculos em geral
	CELULOSE: madeira, bagaço de cana, palha de arroz, sabugo de milho.

As principais transformações químicas ocorridas nestas matérias-primas podem ser representadas como segue[18,20]:

HIDRÓLISE DE SACARÍDEOS:



HIDRÓLISE DE AMILÁCEOS E CELULÓSICOS:



FERMENTAÇÃO DA GLICOSE:

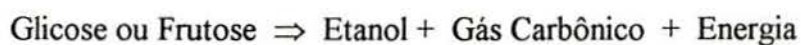
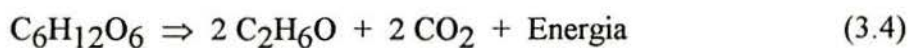


Figura 3.3. Etapas da Produção de Álcool

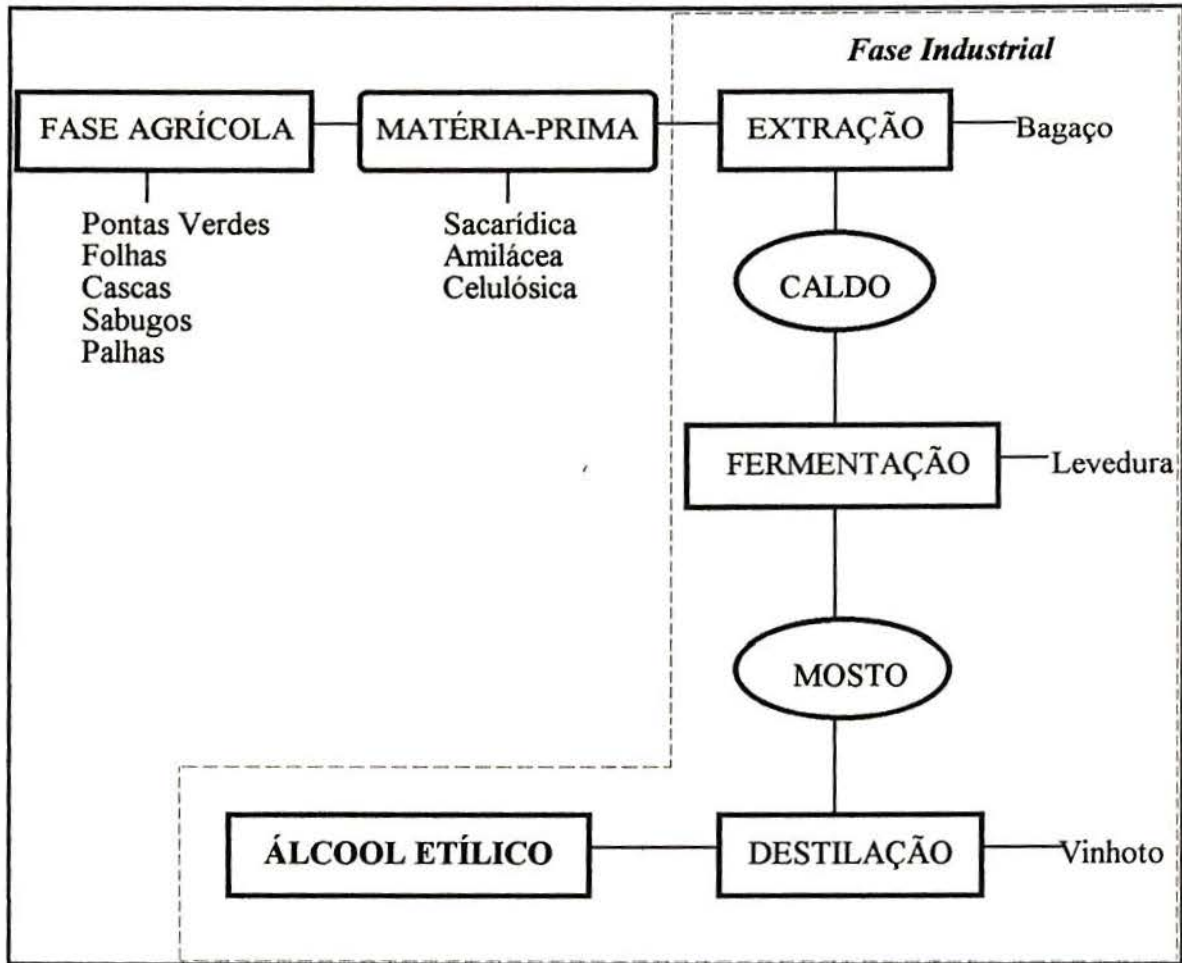


Figura 3.4. Fluxograma do Processo de Produção de Etanol a Partir da Cana-de-Açúcar

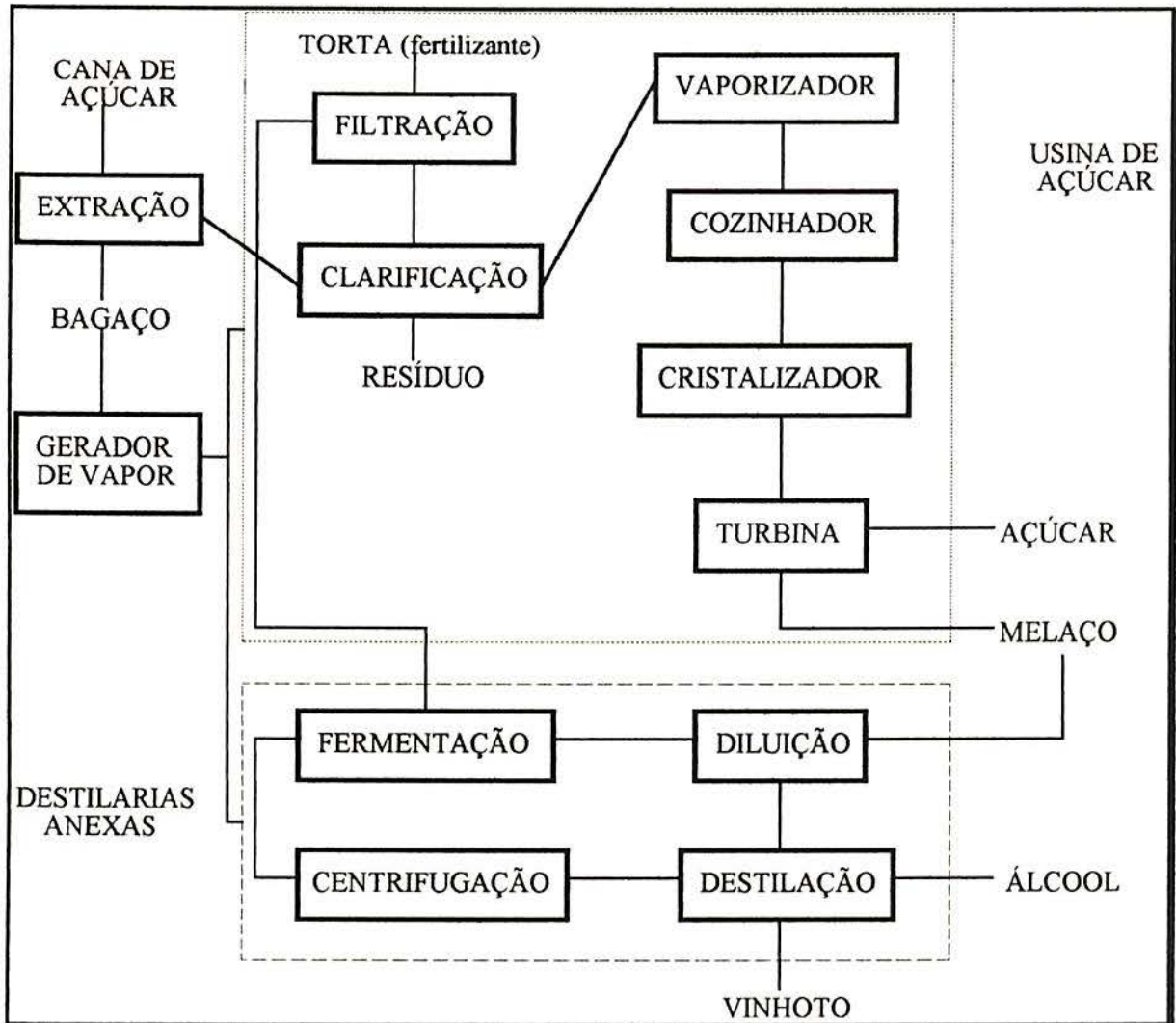


Figura 3.5. Fluxograma do Processo de Produção de Etanol a Partir da Mandioca

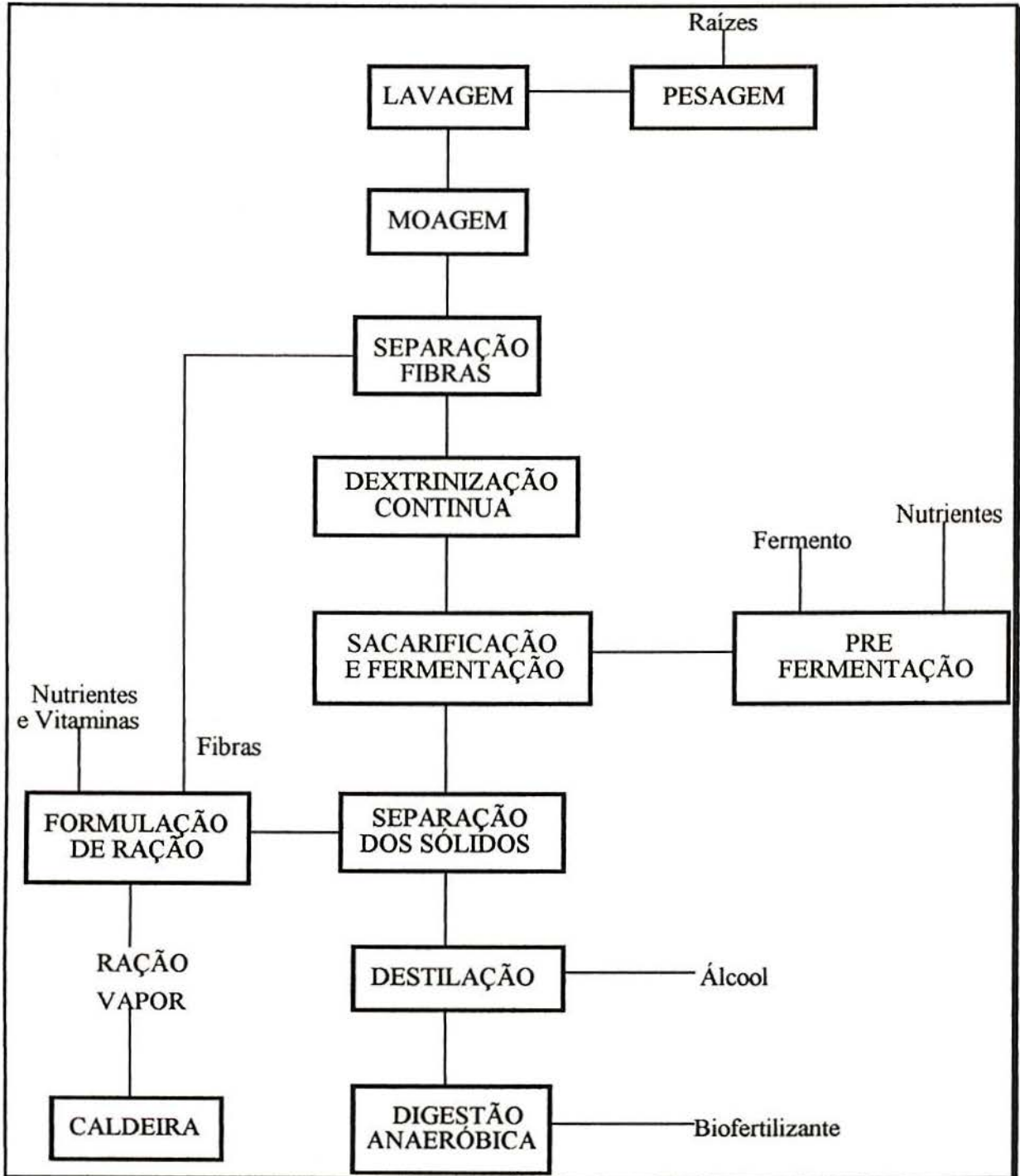


Figura 3.6. Fluxograma do Processo de Produção de Etanol a Partir do Sorgo Sacarino

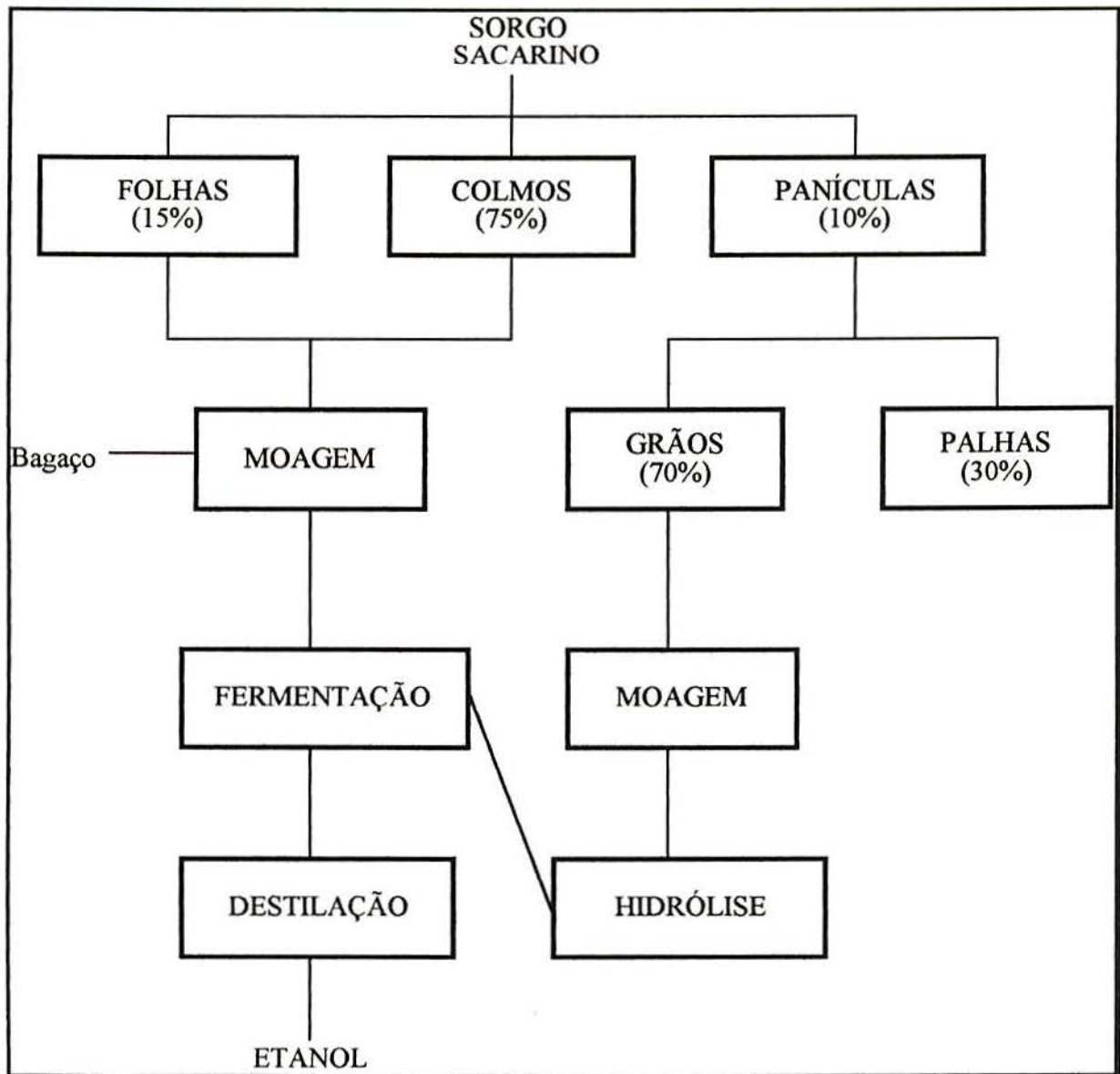
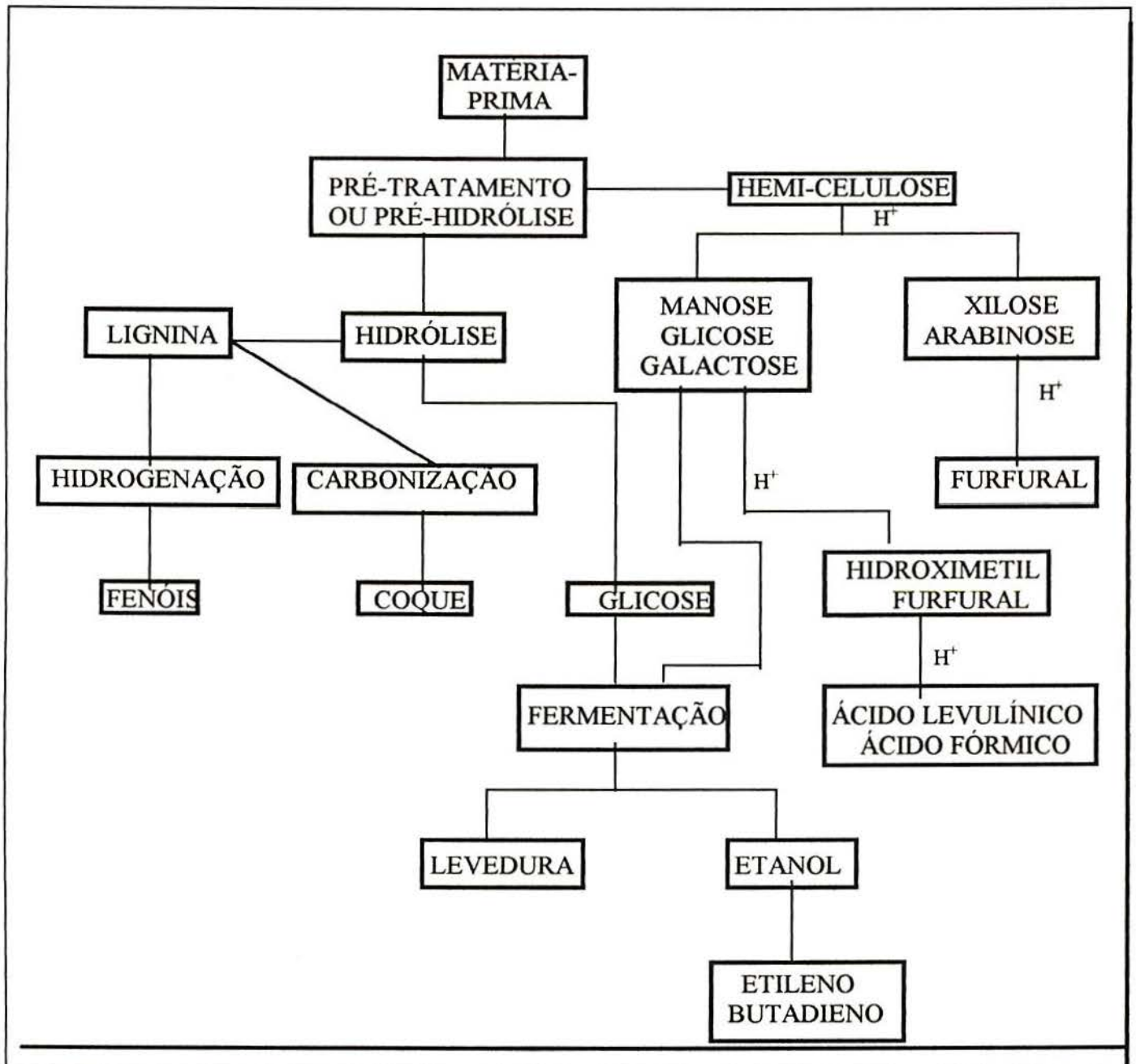
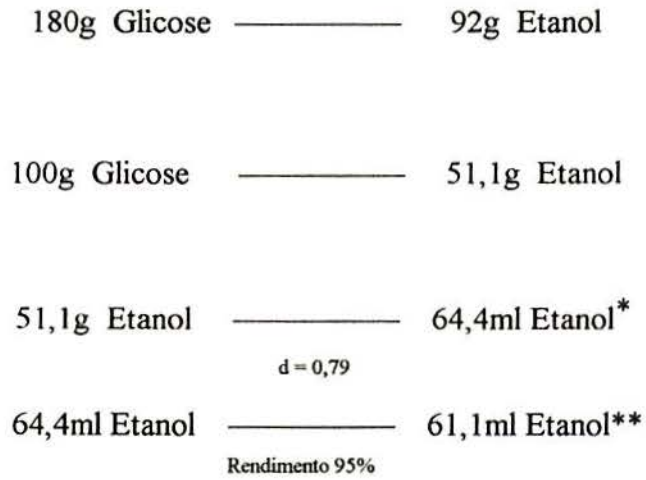


Figura 3.7. Fluxograma do Processo de Produção de Etanol a Partir de Materiais Ligno-Celulósicos



A estequiometria da reação de fermentação é:



* Rendimento Gay-Lussac

** Rendimento Pasteur

O estudo comparativo destas matérias-primas, quanto a produção de álcool etílico hidratado, tem revelado que a cana-de-açúcar apresenta maior produtividade, conforme descrito em Anciães et alii [8] e por Silva et alii [19], de onde extraímos o Quadro 3.5, apresentado na próxima página.

Conforme descrito por Gemente[18] e Hoffmann[11] podemos classificar as destilarias de álcool em função de sua capacidade de produção, como descrito no Quadro 3.6.

Quadro 3.6. Classificação das Destilarias por Volume de Produção

Tipo de Destilaria	Capacidade de Produção (l/dia)
Micro	< 5.000
Mini	> 5.000 e < 60.000
Macro	> 60.000

Quadro 3.5. Balanço Energético na Produção de Álcool a Partir da Cana, Mandioca e Sorgo

CULTURA	PRODU- TIVIDADE t/ha/ano	RENDIMENTO EM ÁLCOOL l/t l/ha/ano		ENERGIA (Mcal/ha/ano)							Relação de energia líquida
				PRODUZIDA			CONSUMIDA			Balanço	
				Álcool	Resíduo	Total	Fase Agrícola	Fase Industria I	Total		
Cana-de-açúcar	54	66	3,56	18,75	17,55	36,30	4,23	10,81	15,04	21,26	2,4
Mandioca (a)	14,5	174	2,52	13,27	9,11	22,28	4,04	8,88	12,93	9,36	1,7
Mandioca (b)	14,5	174	2,52	13,27	4,56	17,83	3,40	8,88	12,28	5,55	1,4
Mandioca (c)	14,5	174	2,52	13,27	-	13,27	2,75	8,88	11,64	1,64	1,1
Sorgo Sacarino	-	-	3,78	19,86	11,83	31,69	4,67	11,88	16,55	15,14	1,9

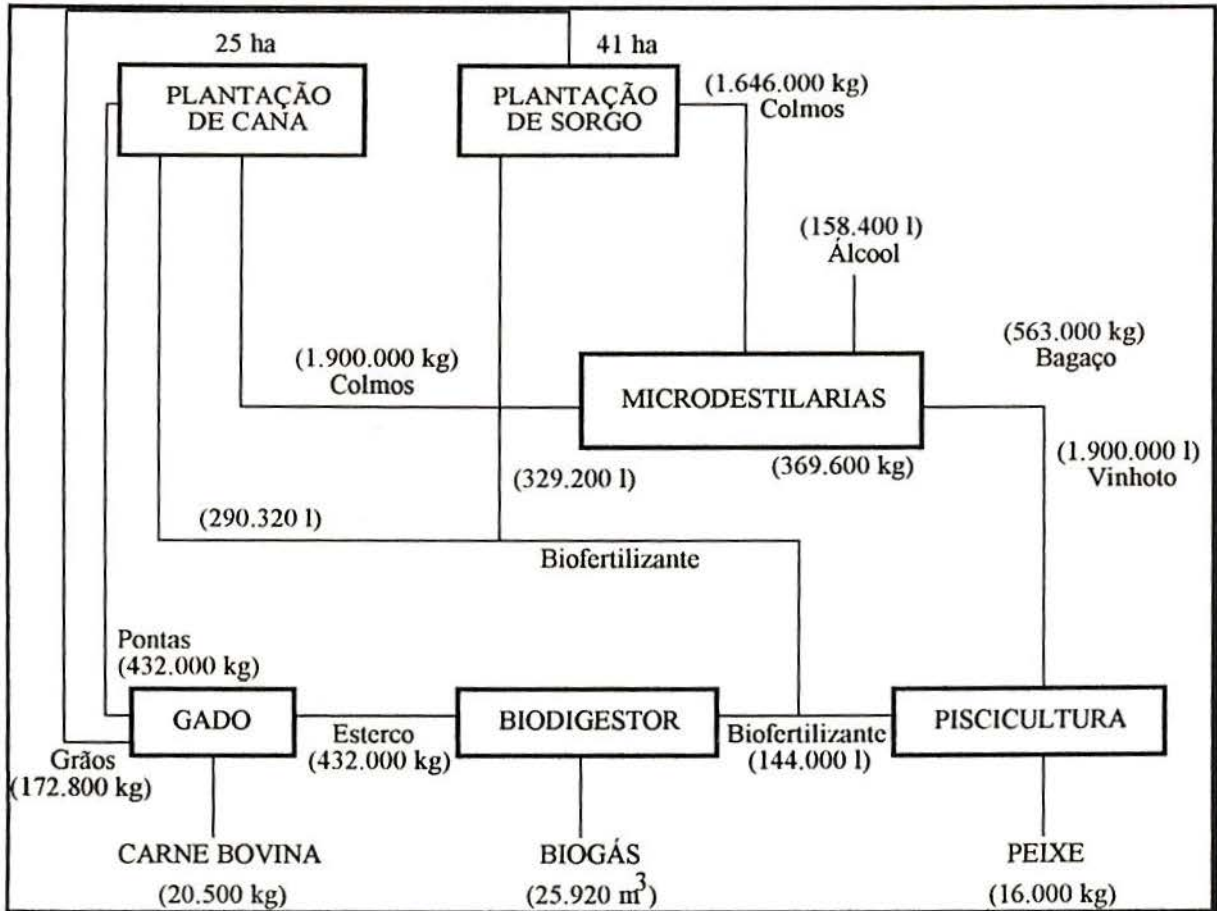
- a) Uso total da parte aérea
 b) Uso de 50% da parte aérea
 c) Não utilização da parte aérea

Conforme descrito em [21], o Rio Grande do Sul deveria optar por um Programa de Produção de Álcool em Microdestilarias. Isto devido a vários fatores amplamente discutidos na literatura, como[11,18]:

- o Rio Grande do Sul está distante dos grandes centros produtores de álcool;
- a simplicidade dos equipamentos e operações industriais;
- menores custos de investimentos;
- produção em sistemas cooperativados ou de indústrias rurais;
- aproveitamento de resíduos e integração com fontes energéticas alternativas;
- absorção de mão-de-obra e aproveitamento de terras ociosas, permitindo a fixação do homem ao campo.

Outra vertente para discussão deste assunto é a opção por Sistemas Integrados de Produção de Energia e Alimentos. Desde o lançamento do Proálcool tem-se questionado a competitividade entre a produção de energia e a de alimentos, que permitem uma produção consorciada destes. Nestes sistemas, através da promoção de intercultivos, consórcio de culturas, uso dos resíduos da produção agrícola para geração de energia (e vice-versa) procura-se obter um efeito de sinergia que resulte numa produtividade global do sistema superior à soma das produções de energia e alimentos se efetuados isoladamente com os mesmos recursos. Utilizando-se tecnologias simplificadas, porém eficientes, de produção agrícola e industrial, diversificando-se matérias-primas, produzindo-se em pequena escala e preferencialmente em terras marginais, compatibilizam-se a produção energética com a alimentar[11,22,23]. Resultados desta proposta já foram obtidos por trabalhos desenvolvidos por Tolmasquim[23], representados de forma simplificada na Figura 3.8. e no Quadro 3.7.

Figura 3.8. Fluxograma de um Sistema Integrado de Produção de Energia e Alimentos



Unidade de tempo: ANO

Área: 66 ha

Quadro 3.7. Comparação entre o SIPEA e a Destilaria de 120.000 Litros ao Dia

CRITÉRIO	INDICADORES	SIPEAS	DESTILARIA (120 mil l/d)
Produção Externizável	Produção de álcool em uma mesma área equivalente (m ³) (5101 ha)	12.197	25.200
	Produção de carne bovina em uma mesma área equivalente (tonelada)	3.775	-----
	Produção de peixes em uma mesma área equivalente (tonelada)	1.232	-----
Econômico	Investimento de uma unidade	US\$ 64.058 (Área 66 ha)	US\$ 7.210.574 (Área 5101 ha)
	Investimento para uma área de 5101 ha	US\$ 4.932.000 (77 unidades)	US\$ 7.210.574 (1 unidade)
	TIR	61,31 % a.a	13,8 % a.a
	Biofertilizante substituindo o adubo químico	US\$ 373.348	-----
Impacto Ambiental	Poluição potencial da água de lavagem de piso e equipamento	Muito pequeno, devido ao pequeno volume a ser manejado	Equivalente a uma população de 33.333 habitantes
	Poluição potencial da água de lavagem de cana	Muito pequeno, devido ao pequeno volume a ser manejado	Equivalente a uma população de 45.592 habitantes
	Poluição potencial do vinhoto	Nula (aproveitamento na piscicultura)	Equivalente a uma população de 533.333 habitantes
Impacto Social	Renda	Desconcentração	Concentração
	Terra	Desconcentração	Concentração
	Trabalho Fase Agric.	-----	25 a 30 %
	Temp. Fase Indust.	-----	49 %
	Competição com produção de alimentos	nenhuma	provável
	Atendimento em uma necessidade proteicas 5101 ha	414 pessoas 31.878 pessoas	----- -----

3.4. BALANÇO ENERGÉTICO DA PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DO ÁLCOOL HIDRATADO COMO COMBUSTÍVEL

O balanço energético cultural, fator de fundamental importância para a eleição de uma matéria-prima para a produção de energia, consiste na diferença entre energia produzida e aquela consumida (energia cultural) em todas as etapas do processo produtivo, tanto na fase agrícola como na industrial. Tem-se discutido, em várias oportunidades, sobre a questão de que a produção de álcool a partir da cana-de-açúcar apresenta um balanço energético negativo, enfatizando-se a necessidade da utilização dos sub-produtos do processo, de modo especial o bagaço de cana, para geração de energia. Nestas circunstâncias o balanço energético passa a ser favorável, apresentando um pequeno ganho energético no processo[19].

Alternativamente, poderia-se utilizar a lenha para geração de energia, e neste caso o bagaço de cana teria aplicações mais nobres, explicitadas mais adiante. A utilização da lenha como energético pressupõe um programa de reflorestamento.

O modelo utilizado neste trabalho para a análise do balanço energético na produção de álcool a partir da cana-de-açúcar, apresenta as seguintes características:

ENERGIA AGREGADA:

Fase Agrícola

- Combustíveis
- Adubos
- Humana

Fase Industrial

- Utiliza-se energia elétrica para produzir energia mecânica, por exemplo, para acionamento de moendas e bombas.

- Utiliza-se energia da biomassa para produzir energia térmica, por exemplo, para produzir vapor a partir de lenha ou bagaço, que será utilizado no processo de destilação.

ENERGIA PRODUZIDA:

- Será considerada apenas a energia produzida a partir do álcool hidratado e do bagaço de cana obtidos no processo.

Parâmetros a serem utilizados[19]:

- Poder calorífico do álcool (96°GL): 22.023 KJ/l;
- poder calorífico da lenha com 25% de umidade: 12.560 KJ/l;
- produção de cana-de-açúcar: 70 t/ha/ano;
- 1 tonelada de cana com 12,5% de fibra produz 250 Kg de bagaço;
- 1Kg de bagaço com 50% de umidade produz 2,4 Kg de vapor com 5.443 KJ, ou seja, 2261 KJ/Kg de vapor;
- 1 tonelada de cana produz 70 l de álcool;
- 1 l de álcool produzido consome 5,5 Kg de vapor;
- 1 Kwh corresponde a 3.601 KJ;
- na fase industrial a destilação consome 70% da energia total agregada nesta fase;
- a fase agrícola consome 30% da energia total gasta no processo global.

Cálculos Utilizados:

1 tonelada de cana produz:

- 250 kg de bagaço;
- 70 l de álcool;

- 1.361 MJ da combustão do bagaço (250 Kg bagaço X 5.443 KJ/Kg);
- 1.542 MJ da combustão do álcool 96°GL (70 l álcool X 22.023 KJ/l);
- 2.902 MJ de energia total produzida.

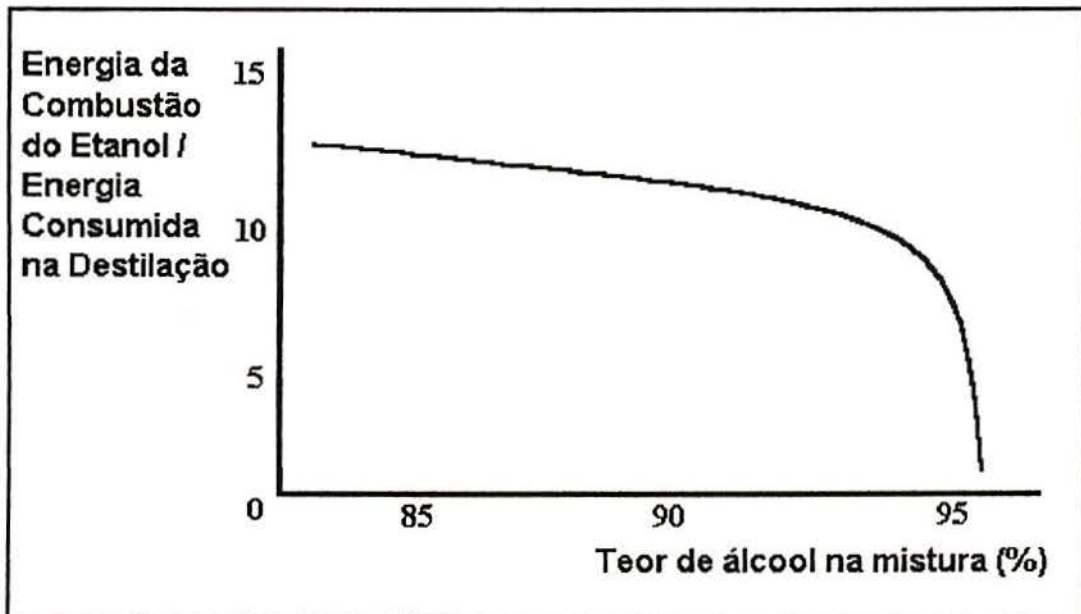
1 tonelada de cana consome:

- 870 MJ de vapor para a destilação (70 l álcool X 5,5 Kg vapor/l X
2.261 KJ/Kg vapor);
- 373 MJ correspondente ao restante dos 30% da energia gasta na fase industrial [(870 MJ X 100% / 70%) X 30%]. Esta energia corresponde a 103,6 Kwh;
- 533 MJ corresponde a 30% da energia gasta na fase agrícola [(870 MJ X 100% / 70%) X (100% / 70%) X 30%];
- 1.776 MJ de energia total agregada.

O balanço energético global mostra que há um ganho de energia da ordem de 40%. Considerando-se, por questão de racionalidade, o uso de energia elétrica para acionar moendas e bombas, utilizaria-se 103,6 Kwh/ton de cana processada, e o uso de energia térmica para a fase de destilação, utilizaria-se 870 MJ de vapor produzido pela combustão de 160 Kg de bagaço de cana (870.440 KJ / 5.443 KJ / Kg bagaço) correspondente a 64% do total, ou seja, há um excedente de 36% ou 90 Kg de bagaço por tonelada de cana processada. Se se utilizar lenha, esta tem um poder calorífico 2,3 vezes maior, comparativamente ao do bagaço de cana, necessitando-se 70 kg de lenha para suprir as necessidades energéticas da fase de destilação. Considerando apenas a produção de energia, pode-se adotar como referencial que o custo do bagaço de cana seria equivalente a 43% do valor da lenha, este valor poderia ser utilizado quando da comercialização do bagaço para fins considerados mais nobres do que sua combustão.

Outro aspecto relevante desta discussão é a utilização de um álcool hidratado com maior teor de água do que o atualmente usado no Brasil. Tal combustível não poderia ser distribuído e comercializado dentro do sistema atualmente adotado, mas seria perfeitamente adaptável às necessidades das cooperativas e das milhares de propriedades rurais da região. Conforme descrito por McCabe[24] um aumento no teor de álcool na mistura hidro-alcoólica leva a uma autofagia energética se compararmos a energia gerada na combustão e a energia utilizada para a destilação. Nesta etapa há um consumo de 50 a 80% de toda a energia utilizada no processo global[25]. Conforme mostra a Figura 3.9., produzir um álcool hidratado a 85°GL significa elevar a relação de energia produzida e gasta em torno de 12 vezes. Conforme descrito por Stumpf[26] a relação entre a variação no consumo específico do álcool hidratado e o teor de água na mistura não é linear, veja Figura 3.10. Comparativamente, um acréscimo de 11% de água ao álcool hidratado 96°GL leva a uma elevação no consumo específico em torno de 8%.

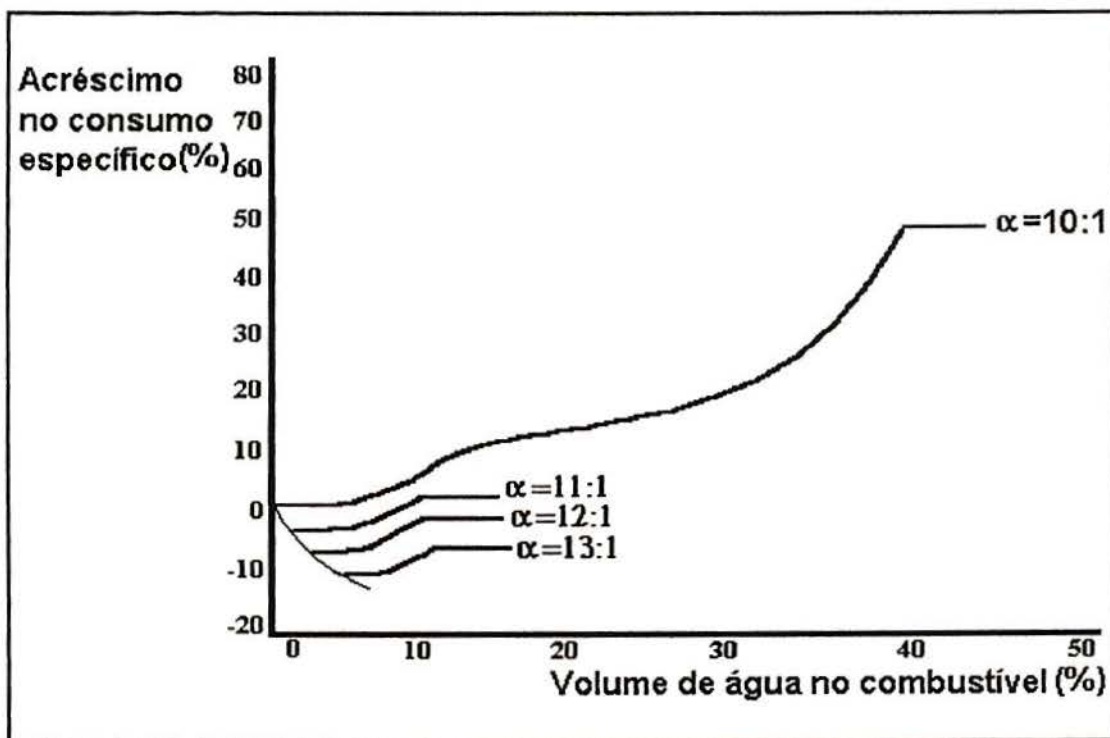
Figura 3.9. Ganho Energético em Função do Teor de Álcool na Mistura Hidro-Alcoólica



Na produção de álcool hidratado 85°GL há um consumo de bagaço de cana ou lenha da ordem de 8%, comparativamente a produção de álcool hidratado 96°GL. Considerando o que descreve a Figura 3.9., e o poder calorífico do álcool 85°GL de 17.585 KJ/l, temos:

-Energia de combustão do etanol (96°GL):	1.542 MJ
-Energia consumida na destilação do etanol (96°GL):	870 MJ
-Energia consumida na destilação do etanol (85°GL):	
	[870 MJ X 8%]
	70 MJ
-Relação energia da combustão/ Energia da destilação para etanol (96°GL): [1.542 MJ / 870 MJ]	1,8
-Relação energia da combustão/ Energia da destilação para etanol (85°GL): [(17.585 KJ/l X 70 l álcool) / 69.500 KJ]	18
-Bagaço de cana consumido: [69.500 KJ / 5.443 KJ]	12,8 Kg
-Lenha Consumida: [69.500 kJ / 12.560 KJ]	5,6 kg

Figura 3.10. Variação do Consumo Específico em Função da Variação da Fração de Álcool no Combustível



3.5. O BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

A cana-de-açúcar contém em média 12% de fibra[3,14] que no processo de extração do caldo se transforma no bagaço de cana. Esta fibra tem composição química típica, contendo em média 36% de α -celulose, 31% de hemicelulose, 22% de lignina e 11% de outros constituintes[3,14].

A celulose e a hemicelulose formam a fração de glicídios da madeira. A celulose é o polissacarídeo mais abundante na natureza. Sua cadeia se constitui de unidades de glicose, formando um polímero de alto peso molecular. Estas cadeias estão arranjadas compactamente nas paredes celulares das plantas, de modo que suas fibras apresentam regiões nitidamente cristalinas. A hemicelulose, um polímero amorfo constituído principalmente de xilose, presente na madeira em menor grau de polimerização, envolve as fibras de celulose. A lignina é de natureza aromática, formada por unidades de fenilpropano, apresentando um elevado número de grupos - OCH₃ e - OH, alguns dos quais de natureza fenólica, é um polímero tridimensional, amorfo e heterogêneo, que envolve os polissacarídeos da madeira. No processo hidrolítico, a proporção relativa de celulose (cristalina) e hemicelulose (amorfa) e a quantidade de lignina determinarão o curso da hidrólise e o rendimento de açúcares redutores. A lignina restringe o acesso enzimático e microbiológico à celulose, enquanto que o arranjo molecular deste glicídio limita o ataque em sua superfície. As velocidades de conversão são bem menores das obtidas em estruturas amorfas, como o amido[20].

O bagaço de cana é usado preferencialmente na indústria açucareira e alcooleira como combustível para gerar energia térmica, consumida localmente. Sua produção é da ordem de 25% do total da cana moída, apresentando um poder calorífico variável em função do teor de umidade. O consumo de bagaço de cana fica regulado pelas necessidades energéticas do complexo

industrial, podendo haver um excedente de bagaço de até 30% do total produzido, que poderá ser utilizado para diversos fins[23,27]. Estes podem ser agrupados em áreas conforme sua utilização para co-geração de energia, produção de alimentos para a criação animal, química fina, produtos industrializados, entre outros.

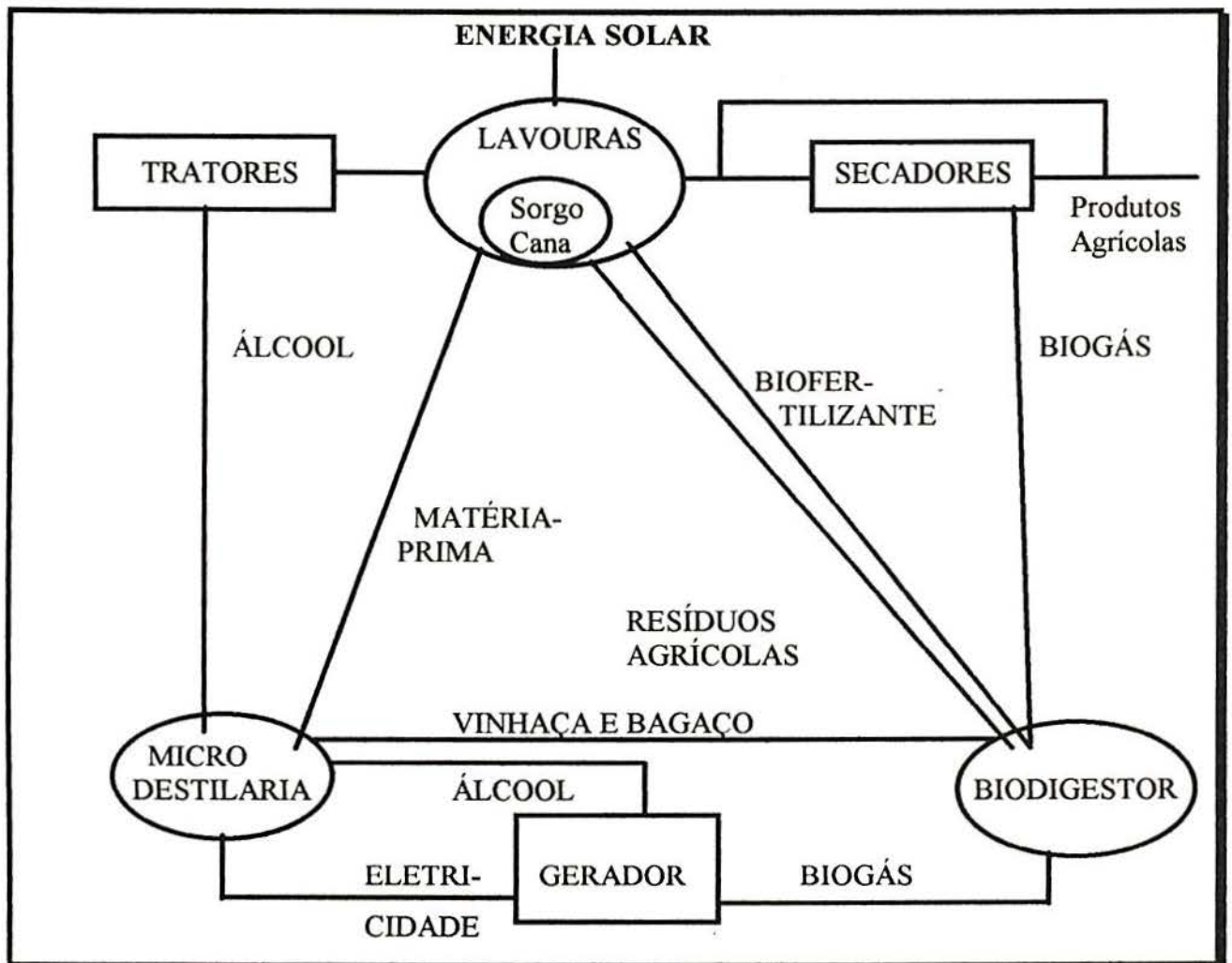
A co-geração de energia é um processo de geração conjunta de energia elétrica e vapor de processo, através da transformação da energia química potencial do combustível, no caso bagaço de cana, em energia elétrica e/ou térmica.

O potencial de geração de energia elétrica excedente em usinas de açúcar e destilarias de álcool, através de algumas mudanças de equipamentos que compõem o processo, poderá contribuir para o abastecimento de energia elétrica. As destilarias localizadas no Estado de São Paulo poderiam fornecer 550 megawatts de potência instalada[28]. Nos processos de co-geração ou de combustão simples resulta como resíduo cinzas e escórias, que apresentam múltiplas aplicações, como fertilizantes, indústrias de vidros e de porcelana, construção civil, entre outros[14].

Pode-se considerar, ainda, como alternativa para produção de energia, a biodigestão. Neste processo utiliza-se o bagaço de cana associado a vinhaça ou a outros resíduos da lavoura. Obtém-se uma redução de 72% de sólidos voláteis e 71,5% da Demanda Química de Oxigênio (DQO), com uma produção média de 710 litros de biogás por quilograma de sólidos voláteis adicionados. O biogás produzido no digestor alimenta o gerador de eletricidade, com um consumo específico de 0,47 a 0,50 m³ biogás/kVA. Quando o biogás não é suficiente para suprir a jornada da microdestilaria, pode-se alimentar o motor com álcool hidratado. Deve-se considerar ainda o biofertilizante resultante, utilizado para ferti-irrigação das diferentes culturas, possibilitando redução de custos de produção. Na Figura 3.11. está descrito um fluxograma simplificado de um sistema rural de bioenergia[29,30].

Outro aspecto a ser considerado é que o bagaço de cana também pode gerar álcool. Dependendo da eficiência da moenda, teremos quantidades razoáveis de açúcar no bagaço, podendo este ser fermentado misturando-se ao pé-de-cuba e posteriormente ao caldo de cana. Outra alternativa é realizar a hidrólise ácida do bagaço integral, com posterior fermentação, como desenvolvido no Projeto Hidrocon, aumentando a produção de álcool em 10% e aproveitando-se o resíduo constituído basicamente de lignina para produção de carvão vegetal[31,32].

Figura 3.11. Fluxograma Simplificado do Sistema Rural de Bioenergia



A produção de alimentos de origem animal ou vegetal tem se beneficiado da utilização de subprodutos da produção de álcool ou açúcar. O bagaço de cana *in natura* não se constitui numa fonte de nutrientes para a produção agrícola ou animal, pois apresenta baixos teores de matéria inorgânica (NPK) e sua matéria orgânica é de difícil decomposição devido ao revestimento da celulose por uma expressiva camada de lignina[33,34]. Sendo assim faz-se necessário a utilização de processos de transformação deste material. Existem algumas alternativas, como a utilização de enzimas que degradem a lignina e permitam a transformação da celulose. Neste caso o bagaço pode ser misturado ao vinhoto e servirá como uma ração balanceada para a alimentação do gado[34]. Para a utilização do bagaço de cana como adubo, um recurso utilizado é o da compostagem, que pode ser obtido pela fermentação do melaço final, cinzas dos fornos, torta das prensas e bagaço[33], ou com pequenas variações desta composição, por exemplo, pela adição de esterco[35] ou torta de filtro[36]. Grande ênfase, tem-se dado, também, para o desenvolvimento de tecnologias de hidrólise química e enzimática do bagaço, que têm permitido a utilização deste como fonte de matéria-prima fermentescível para a produção de álcool e alimentação de animais cujo processo digestivo não tem atividade celulolítica[37,38].

A química fina derivada do bagaço de cana apresenta grande diversidade em termos de processos e produtos. A destilação seca do bagaço de cana nos fornece carvões ativos, álcool metílico, ácido pirolenhoso, cinza, todos com aplicação na produção industrial[39]. A partir da hidrólise de um dos componentes do bagaço, as pentosanas, obtém-se a pentose que por desidratação produz o furfural, importante solvente industrial, e precursor de insumos químicos para a indústria como o furano, tetrahydrofurano (THF), este último ótimo solvente para resinas do tipo [Poli (cloro de vinila)] (PVC)[40]. A aplicação do bagaço como fonte produtiva de matéria plástica é inesgotável. Vários produtos tem sido utilizados em substituição a madeira em móveis, brinquedos, e, também, ao aço na indústria automobilística[39,41]. A celulose presente

no bagaço, constitui-se matéria-prima para a indústria de papel, fibras têxteis e outras, de produtos químicos derivados[39,42].

Devido as características físico-químicas dos constituintes do bagaço de cana serem semelhantes aos da madeira, este tem um campo de utilização muito amplo na indústria moveleira, construção civil, onde há substituição da madeira por produtos similares, como aglomerados, chapas compensadas e materiais sintéticos. Estes materiais tem baixa densidade, boa resistência acústica e térmica e a decomposição por organismos vivos[43,44]. Conforme apresentaremos neste trabalho, pretendemos produzir materiais com estas propriedades, entre outras, associando o bagaço de cana a um elastômero para a fabricação de artefatos de borracha, colocando-se neste mercado, um novo produto industrializado.

3.6. O BAGAÇO DE CANA NA INDÚSTRIA DA BORRACHA

O bagaço de cana-de-açúcar tem sido utilizado em vários países do mundo na manufatura de materiais aglomerados utilizados em larga escala em edificações, móveis, meios de transporte[43,44]. É um subproduto da indústria açucareira e alcooleira, de composição química ligno-celulósica[3,14], cuja produção é da ordem de 25% da cana moída, e o consumo como combustível depende das necessidades energéticas do complexo industrial, podendo haver um excedente de até 30%[23,27].

Outra alternativa na produção de novos materiais é a utilização de alguns subprodutos de processos industriais, como a casca de arroz e o bagaço de cana, que são utilizados para produção de energia térmica através de sua combustão. Deste processo resulta a cinza que contém quantidades variáveis de sílica. Aquela proveniente do bagaço de cana contém 40% de sílica. A cinza adicionada a elastômeros como borracha natural e poli-estireno-butadieno, confere a estes propriedades reforçantes equivalentes a sílica e negro-de-fumo[45].

Em função de suas propriedades físicas e químicas o bagaço de cana pode ser utilizado como carga inerte em composições de artefatos de borracha, competitivamente ao caulim e aos carbonatos[46,47]. Associado a materiais plastificantes, como as resinas fenólicas, facilitam o processamento industrial e melhoram as propriedades mecânicas do vulcanizado, como aumento da dureza, da resistência a abrasão e ao calor[47,48]. Pretende-se neste trabalho utilizar bagaço de cana finamente dividido, misturado ou não com resina fenólica, e incorporado ao elastômero, em proporção variável. O estudo das propriedades físico-mecânicas das diferentes composições de borracha, orientarão a utilização destes novos materiais na produção de artefatos de borracha aplicados a indústria do calçado, construção civil ou moveleira.

No intuito de fornecer uma contribuição acadêmica sobre este assunto, nos próximos parágrafos apresenta-se informações sobre a composição da borracha e seu processamento industrial, embasadas na literatura citada nas referências bibliográficas nº 45, 49 e 50.

A formulação da borracha, como se emprega na atualidade, é resultante de uma evolução que se iniciou em 1839, quando Charles Goodyear descobriu a vulcanização da borracha pelo enxôfre, alterando sensivelmente suas características. O extraordinário surto da indústria da borracha ocorreu com a invenção do pneu para bicicleta, por Dunlop, em 1888, e, principalmente, com o aparecimento do automóvel, alguns anos mais tarde. Em 1906, com a introdução dos aceleradores orgânicos pela Diamond Rubber Co. (atual B. F. Goodrich), reduzindo acentuadamente o tempo de vulcanização e melhorando sensivelmente as propriedades do vulcanizado, firmou-se definitivamente a utilização da borracha, cuja tecnologia vem evoluindo constantemente, até chegar as formulações atualmente utilizadas.

As formulações de borracha contém diversos componentes com funções específicas, como os citados a seguir:

- **Elastômeros:** ao se elaborar uma formulação de borracha, leva-se em consideração a especificação do artigo a fabricar, ou seja, suas propriedades físico-química-mecânicas e as características de processamento, como calandragem, extrusão, injeção, etc. Muitas famílias de elastômeros são conhecidas, como a borracha natural (NR), poli-estireno-butadieno (SBR), poli-etileno-propileno-dieno (EPDM), poli-acrilonitrila-butadieno (NBR), poliuretanas (EU, AU) e siliconas (MQ).

- **Agentes de vulcanização:** são substituintes que promovem ligações cruzadas entre as macromoléculas dos elastômeros. De acordo com a composição química destes, emprega-se um tipo de agente de vulcanização ou de cura. O enxôfre é comumente usado para cura de elastômeros insaturados e os peróxidos orgânicos para os saturados.

- **Aceleradores:** são substâncias que controlam o tempo e determinam a temperatura de vulcanização. Por exemplo a difenilguanidina (DPG) é um acelerador moderado, enquanto que o mercaptobenzotiazol (MBT) é rápido.

- **Ativadores:** são substâncias que ativam o processo de vulcanização, sendo constituídos de um óxido metálico (óxido de zinco) e um ácido graxo (ácido esteárico).

- **Cargas:** são ingredientes que se adicionam à borracha, visando obter determinadas características físicas nos artefatos, facilitar seu processamento e reduzir o custo de fabricação. São classificadas em cargas ativas ou reforçantes, como os negros-de-fumo (carga preta) e a sílica precipitada (carga clara). Quanto menor o tamanho da partícula, maior será sua ação de reforço que se caracteriza pelo aumento da tensão de ruptura, resistência ao rasgamento e a abrasão. São cargas inertes ou de enchimento, o caulim (silicato), os carbonatos e os sulfatos. As cargas conferem propriedades específicas aos artefatos de borracha, como condutividade elétrica, adesão a metais, resistência térmica, resistência a ácidos. Podem ter dupla função, sendo usados também como pigmentos.

- **Plastificantes:** são utilizados para controlar a dureza e outras características específicas, além de facilitarem a incorporação de cargas e o processamento em geral. São exemplos de plastificantes os óleos minerais, os ésteres (oleatos) e as resinas fenólicas.

- **Agentes de proteção:** quase todos os elastômeros são afetados pelo processo de envelhecimento natural ou acelerado, ocorrendo ruptura e outras alterações químicas nas cadeias poliméricas. Portanto, deve-se usar agentes de proteção que eliminem ou diminuam os efeitos dos agentes catalizadores do envelhecimento (O_2 , O_3 , calor, luz) prolongando a durabilidade do artefato. São usados freqüentemente antioxidantes e antiozonantes.

Outros ingredientes da composição da borracha podem ser citados, como pigmentos, odorantes, retardadores de chama, agentes de adesão, conforme a utilidade do artefato de borracha a ser produzido.

A partir da definição da formulação da borracha, desencadeia-se o processamento da mesma até a obtenção do artefato desejado. Este constitui-se de etapas diferenciadas dependentes do tipo de produto a ser industrializado. A seguir destacamos algumas operações básicas na indústria de borracha.

- **Corte da borracha:** pode ser feito manualmente com faca ou serrote que deverão estar lubrificados com água e sabão, para evitar o deslizamento.

- **Pesagem dos ingredientes:** utiliza-se balanças tipo plataforma, alavanca ou automáticas, com precisão mínima de 1%.

- **Mastigação e mistura:** tem por finalidade plastificar o elastômero, diminuindo sua viscosidade e facilitando a incorporação dos ingredientes da formulação, permitindo dispersão uniforme. São utilizados nesta operação equipamentos como Misturadores de Cilindros, Misturadores Internos (Banbury) e Plastificador Gordon (Extrusor). Os misturadores são constituídos de

cilindros que giram em sentidos opostos, com velocidades diferentes. São perfurados para permitir circulação de água ou vapor, e a abertura entre eles pode ser regulada.

Finalizado o processo de mistura, esta é resfriada e armazenada. A seguir, é submetida a processos como peletização (produção de pedaços ou grãos de borracha), dissolução, imersão, calandragem, extrusão (utilizado para impregnação ou cobertura de tecidos, fios, tubos, na fabricação de laminados), vazamento, construção, acabamento (processos de moldagem para fabricação de peças).

- **Vulcanização:** é um processo irreversível durante o qual a composição de borracha muda sua estrutura química através de ligações cruzadas entre cadeias poliméricas. Ocorre uma diminuição da plasticidade e aumento da elasticidade. A vulcanização consiste na aplicação de calor e pressão a uma composição de borracha, por processos de prensagem, vapor direto ou ar seco. O estado de vulcanização associado a dispersão dos ingredientes da composição da borracha, determinarão as propriedades físico-mecânicas desta e, por conseqüência, a qualidade do artefato de borracha a ser produzido.

O controle de qualidade é realizado nas matérias-primas constituintes da composição e no material vulcanizado. São determinadas propriedades físicas como densidade, tensão e alongamento de ruptura, propriedades de serviço (utilização) como resistência a abrasão e a flexão, dureza, deformação permanentes, e propriedades de durabilidade como resistência ao envelhecimento. A seguir descreve-se sucintamente os métodos utilizados para a determinação destas propriedades.

- **Tensão de ruptura:** é a força, por unidade de área da seção original do corpo de prova, necessária para rompê-lo, sendo a sua unidade de medida MPa.

- **Alongamento:** é o alongamento entre dois traços de referência marcados no corpo de prova (2,45 cm) e produzido pela aplicação de uma força. É expresso em percentagem da

distância inicial entre esses dois traços. O alongamento de ruptura é o alongamento no momento da ruptura.

Os corpos de prova podem ter a forma de halteres ou anéis, sendo os primeiros, os mais empregados. Ambas as extremidades do corpo de prova são presas às garras do dinamômetro. Uma das garras é fixa e a outra é móvel, tendo uma velocidade de 50 cm/minuto. O corpo de prova é esticado até a ruptura. A medida que aumenta o afastamento dos traços de referência, mede-se a distância entre os seus centros, a fim de determinar o alongamento.

- Resistência ao rasgo (rasgamento progressivo): é a força, por unidade de espessura necessária para iniciar o rasgamento numa direção perpendicular à força, ou a força por unidade de espessura necessária para expandir um corte previamente feito no corpo de prova, em direção perpendicular à força aplicada. A sua unidade de medida é N/mm.

- Resistência à abrasão: denomina-se resistência à abrasão a resistência oposta pelas composições de borracha ao desgaste, quando em contato com uma superfície móvel e abrasiva. A resistência à abrasão é medida sob condições definidas de carga e velocidade, sendo medida a perda em volume, expressa em $\text{mm}^3/40\text{m}$.

O corpo de prova é comprimido sob carga determinada, contra um abrasivo (esmeril ou lixa) montado num disco ou tambor rotativo. A superfície abrasiva (tambor giratório) gira com velocidade de 45 ± 5 rpm durante o tempo necessário para a amostra se deslocar sobre o comprimento total do tambor, que corresponde a uma distância de 40m.

- Resistência à flexão: denomina-se resistência à flexão, a propriedade de uma composição de borracha de suportar a fadiga provocada pela distorção repetida, por dobramento, distensão ou compressão. Destes defeitos, o mais comum é o dendilhamento à flexão, que consiste na formação de fendas superficiais, provocadas pelo dobramento ou distensão constante do artefato e que ocorrem mais frequentemente nos pneumáticos, correias e solados.

Este teste é usado para determinar a resistência de diferentes composições, à formação e crescimento de fendas, quando sujeitas a flexões sucessivas. A máquina trabalha a 300 ± 10 flexões/minuto.

O corpo de prova consiste de uma lâmina com espessura de 6,35 mm, comprimento 140 a 155 mm, largura 25,4 mm, possuindo no centro em sentido transversal, em uma das faces, uma ranhura de seção circular de raio $2,38 \pm 0,03$ mm. Padroniza-se o número de flexões necessárias para que a fenda tome a extensão máxima de 4 mm, conforme especificação da normatização técnica. O ensaio é interrompido quando a fenda atingir 4 mm de comprimento.

- **Dureza:** define-se dureza como a medida da resistência oposta à penetração de uma superfície, por um instrumento de dimensões determinadas e sob carga também determinada.

Os aparelhos mais comuns para esta determinação são os durômetros Shore A, calibrado numa escala arbitrária de 0 a 100. Neste tipo de equipamento existe uma agulha de formato tronco cônico que sobressai da caixa do aparelho e é mantida na posição zero da escala, por ação de uma mola. Ao se comprimí-lo contra o corpo de prova, a agulha tenderá a entrar na caixa, comprimindo a mola. Este movimento é transmitido ao ponteiro da escala, por tanto quanto mais dura for a amostra, maior será a leitura na escala. O durômetro Shore D, apresenta o mesmo princípio de funcionamento do durômetro Shore A, porém a sua agulha é ponteaguda e é usado para composições com dureza acima de 90 Shore. Quando a leitura no durômetro Shore D for inferior a 20, deverá ser usado o durômetro Shore A.

- **Deformação permanente por compressão (DPC):** denomina-se deformação permanente a distensão residual apresentada por uma peça de borracha após ter sido removida a carga que a produziu. A deformação permanente pode ser por compressão ou tração conforme o tipo de esforço a que a amostra foi submetida.

O corpo de prova deverá ser um disco cilíndrico, cortado de uma lâmina vulcanizada, preparada em laboratório com dimensões padronizadas, podendo também ser moldado diretamente em forma apropriada.

O cálculo da deformação é feito através da seguinte fórmula:

$[(H_o - H_i)/H_o] \times 100$, onde H_o é a espessura inicial do corpo de prova e

H_i é a espessura final do corpo de prova medida 30 minutos após o ensaio

- **Resistência ao envelhecimento:** determina a estabilidade dos compostos de borracha aos efeitos de oxidação quando submetidos a processos de envelhecimento tais como: envelhecimento por ação de oxigênio, por ação do ar, por ação do ozônio, por ação do calor, pela intempérie e luz solar.

O envelhecimento em estufa consiste em submeter os corpos de prova à exposição por períodos especificados a temperatura elevada em presença de ar, sob pressão atmosférica, medindo-se após o ensaio suas propriedades mecânicas e verificando-se a sua variação.

3.7. O BAGAÇO DE CANA NA INDÚSTRIA AVÍCOLA

No Rio Grande do Sul são abatidos cerca de 25 milhões de frangos por mês, o que coloca o Estado como um dos principais produtores do País. A avicultura é o segmento da pecuária brasileira mais tecnificado e que mais se tem expandido nas últimas décadas, gerando excedentes que são exportados e atingem valores anuais que oscilam em torno de 300 milhões de dólares, conforme dados disponíveis na Associação Gaúcha de Avicultores, e Associação Brasileira de Exportadores de Frangos, referentes ao ano de 1993.

O sistema de criação de frangos de corte em confinamento, adotado pela avicultura industrial, utiliza principalmente a maravalha de madeira, sub-produto da indústria moveleira, para

revestir os pisos dos galpões, tornando-os, assim, mais macios e secos durante todo o período de crescimento e engorda das aves.

Com a expansão da avicultura o consumo de maravalha se intensificou, determinando escassez ocasionais do produto no mercado e a busca de materiais alternativos, tais como sabugo de milho triturado, casca de arroz, entre outros[51,52], sem que se conseguisse com estes, atender integralmente àqueles requisitos básicos, quais sejam, que o material utilizado como cama, tenha uma boa capacidade de absorção de umidade, seja macio e isento de resíduos tóxicos para as aves ou para o homem[53]. Diante disso, algumas empresas avícolas tomaram a iniciativa de fabricar maravalha utilizando como principal matéria prima a madeira bruta de eucalipto, que é cortada em pequenas lascas. Esta iniciativa foi também estimulada a partir do momento em que se pode relacionar a presença de organoclorados em carcaças de aves abatidas, com a constatação destas drogas em maravalhas provenientes de madeiras que haviam sido tratadas com preservantes.

O preço atual do metro cúbico de maravalha oferecida no mercado é de US\$ 2,50 e o custo da maravalha fabricada é de US\$ 3,00. Em ambas modalidades a maravalha obtida representa um elemento significativo na composição dos custos de produção de frango de corte. Para minimizá-lo está se generalizando a prática de se criar vários lotes de frangos sobre a mesma cama, o que sob o ponto de vista sanitário é prejudicial. Nestas circunstâncias o bagaço de cana, produto de transformação da cana-de-açúcar, surge como alternativa viável. É abundante nas regiões produtoras de açúcar e de álcool, como São Paulo e nordeste brasileiro. A produção anual média por hectare, em lavouras brasileiras, é de 70 toneladas de cana que, após processada, gera 17,5 toneladas de bagaço que ocupam um volume de 250 m³, dependendo do tamanho e da compactação das partículas, e 5000 litros de álcool combustível. Comparativamente, produz-se 500 m³ de madeira (eucalipto) por hectare, que gera um volume de maravalha três vezes

superior[1,19]. Deve-se considerar ainda que o ciclo de produção da cana é em média de 5 colheitas em 6 anos, período no qual faz-se apenas 1 colheita de eucalipto[1,18].

A composição química deste produto e o da maravalha de madeira são semelhantes, do tipo ligno-celulósica. Entretanto, observa-se muita resistência por parte das empresas avícolas em utilizar este material como cama nos galpões de alojamento das aves. O principal argumento para esta recusa é a alegação de que ele favorece a proliferação de fungos, entre os quais, espécies do gênero *Aspergillus*, que são sabidamente patogênicos para as aves, pela capacidade destes microorganismos de ocasionarem problemas respiratórios ou produzirem micotoxinas que, além de nocivas às aves, podem também se acumular nas vísceras e músculos destes animais tornando-os impróprios ao consumo humano[54,55].

O objetivo desta parte do trabalho de tese é verificar a potencialidade do bagaço de cana como cama de aviário, em substituição parcial ou total da maravalha.

IV. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

BAGAÇO DE CANA NA INDÚSTRIA DO CALÇADO E DA CONSTRUÇÃO CIVIL

4.1. EXPERIMENTO 1 - COMPOSIÇÃO DE BORRACHA COM CAULIM E BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

Com o objetivo de verificar a capacidade de dispersão do bagaço de cana (carga) numa composição de borracha contendo o elastômero SBR [poli(estireno-butadieno)], bem como avaliar suas propriedades físico-mecânicas, desenvolveu-se um delineamento experimental que será descrito a seguir. A avaliação dos resultados nos permitirá inicialmente, decidir pela indicação do bagaço de cana como carga em composições de borracha, e, posteriormente, orientar sua utilização para a fabricação de artefatos de borracha com aplicação em diferentes áreas industriais.

4.1.1. MATERIAL E MÉTODOS

O bagaço proveniente da extração do caldo da cana-de-açúcar em terno de moendas e desfibrador é seco, moído e peneirado, resultando frações de granulometria 35/60, 60/100, 100/200, 200/325 Mesch (M), que serão adicionados ao elastômero SBR [poli(estireno-butadieno)] na proporção de 25, 50, 100 partes por cem de borracha (phr-expressão de uso rotineira na área da borracha), juntamente com os outros ingredientes que compõem a borracha, conforme Quadro 4.1. Caulim com características de pH 6,3 e 0,4% de resíduo na peneira 325 é adicionado ao elastômero nas mesmas condições que o bagaço. Os ingredientes são homogeneizados em misturador aberto, sendo o tempo ótimo de cura determinado por curva de reômetro. Os corpos de prova são vulcanizados no tempo ótimo, à temperatura de 130°C, e suas propriedades físico-mecânicas são determinadas pelos métodos D2240-75 e MB-497, para Durezas Shore A e D; D412-75 e MB-57, para Tensão de Ruptura e Alongamento; D395-78 e MB-383 procedimento B(B13), para Deformação Permanente a Compressão; D297-77, para

Densidade Hidrostática; DIN 53.516, para Abrasão; D573-78 e MB-394, para Envelhecimento ao Calor e D2084-76, para o Tempo Ótimo de Vulcanização, descritos, respectivamente, pela ASTM/DIN e ABNT. A análise das características da carga quanto a Densidade pelo método do picnômetro e a Matéria Volátil foram realizadas segundo o método ASTM D 1817 e conforme descrito na referência [49], respectivamente[56].

4.1.2. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Quadro 4.2. apresenta as características da carga, quanto a umidade e densidade pelo método do picnômetro. O caulim tem densidade média 75% superior ao BC, o que confere à composição uma densidade hidrostática superior, levando a um rendimento menor em volume, no processamento industrial. Com a mesma quantidade de massa, das composições contendo caulim e bagaço de cana, este produzirá maior número de peças. Os Quadros 4.3. e 4.4. apresentam os resultados da medida das propriedades mecânicas da composição da borracha com bagaço e caulim. Em todas as composições há um aumento na dureza do material. O bagaço confere maior dureza à composição, comparativamente ao caulim. Há um decréscimo na tensão de ruptura a medida que se aumenta a percentagem de bagaço ou caulim na composição. Nestas duas propriedades a granulometria do bagaço não tem influência significativa. Com 25 phr de caulim ou bagaço (200-325 Mesch) se obtém o melhor resultado para a composição da borracha.

Quadro 4.1. Formulação da Composição da Borracha

INGREDIENTES	UTILIDADE	phr
SBR 1502	Elastômero	100,0
Ácido Esteárico	Ativador de Vulcanização	2,0
Óxido de Zinco	Ativador de Vulcanização	5,0
Vulcanox HS	Antioxidante	1,0
Sicosil 45	Carga de Reforço	25,0
Unilene A-80	Plastificante	10,0
Polietilenoglicol (PEG-4000)	Ativador da Silica	2,0
Mercaptobenzotiazol (MBT)	Acelerador de Vulcanização	1,5
Difenil-guanidina (DPG)	Acelerador de Vulcanização	1,5
Enxofre	Agente de Vulcanização	2,0
	Total	150,0
Bagaço/Caulim	Carga de Enchimento	(i) 25 (ii) 50 (iii) 100

Quadro 4.2. Caracterização das Cargas

PROPRIEDADE/ CARGA	DENSIDADE (25°C)	UMIDADE (%)
BC 35/60 Mesch	1,443	11,11
BC 60/100 Mesch	1,443	12,76
BC 100/200 Mesch	1,486	11,70
BC 200/325 Mesch	1,483	12,13
CAULIM 200/325 Mesch	2,600	0,300

QUADRO 4.3. Propriedades Mecânicas da Composição da Borracha com Caulim

Propriedade								
	Composição Original	Composição 25 phr/caulim	Composição 50 phr/caulim	Composição 100 phr/caulim	Composição Original	Composição 25 phr/caulim	Composição 50 phr/caulim	Composição 100 phr/caulim
Dureza Shore A	60	63	67	73	60	62	66	72
Tensão de ruptura (MPa)	12,3	14,9	12,8	10,8	11,8	13,5	11,3	11,4
Alongamento (%)	580	680	700	760	460	580	580	680
Deformação permanente a compressão (%)	35	36	30	38				
Densidade Hidrostática (g/cm ³)	1,121	1,210	1,300	1,441				
Abrasão (mm ³ /40m)	145	182	228	317				
Tempo ótimo de vulcanização (min)	8,8	13,0	16,6	19,8				

QUADRO 4.4. Propriedades Mecânicas da Composição da Borracha com Bagaço

Propriedade	Composição Original	Granulometria (Mesch)	Composição 25 phr/ BC	Composição 50 phr/ BC	Composição 100phr/ BC	Envelhecimento 70h/ 70°C			
						Composição original	Composição 25 phr/ BC	Composição 50 phr/ BC	Composição 100phr/ BC
Dureza Shore A	60	35 - 60	69	76	84	60	70	77	87
		60 - 100	69	76	85		70	77	86
		100 - 200	70	76	84		70	76	86
		200 - 325	69	77	85		67	78	85
Tensão de ruptura (MPa)	12,3	35 - 60	9,1	6,8	3,2	11,8	8,4	5,9	3,2
		60 - 100	10,7	7,7	3,4		10,1	7,2	3,2
		100 - 200	11,1	7,4	3,0		9,8	7,4	3,5
		200 - 325	12,3	6,8	2,8		11,7	6,9	3,3
Alongamento (%)	580	35 - 60	600	620	580	460	500	520	460
		60 - 100	680	680	640		560	580	480
		100 - 200	680	720	680		540	600	600
		200 - 325	740	660	500		640	580	300
Deformação permanente a compressão (%)	35	35 - 60	32	34	49				
		60 - 100	33	35	53				
		100 - 200	31	40	61				
		200 - 325	33	39	68				
Densidade Hidrostática (g/cm ³)	1,121	35 - 60	1,151	1,179	1,216				
		60 - 100	1,158	1,186	1,230				
		100 - 200	1,155	1,186	1,224				
		200 - 325	1,155	1,189	1,223				
Abrasão (mm ³ /40m)	145	35 - 60	249	361	469				
		60 - 100	292	407	503				
		100 - 200	317	428	482				
		200 - 325	355	445	451				
Tempo ótimo de vulcanização (min)	8,8	35 - 60	13,6	15,1	16,8				
		60 - 100	14,0	14,6	17,3				
		100 - 200	15,1	16,8	18,2				
		200 - 325	14,8	15,5	14,3				

Resultado semelhante se obtém para alongamento da composição com bagaço. O caulim apresenta um comportamento que varia de forma inversa. O tempo ótimo de vulcanização aumenta quando aumenta a quantidade de carga e é mais acentuado para o caulim, pois cargas minerais tendem a retardar a vulcanização[49]. Isto é inconveniente no processamento industrial, pois diminui a produção. Poderíamos melhorar este tempo aumentando a temperatura de vulcanização, porém ocorreria um escurecimento do material, o que não é desejado. Há um aumento na abrasão à medida que se aumenta a quantidade de bagaço ou caulim, sendo mais acentuado com bagaço de cana. Dependendo do fim a que se destina esta composição, por exemplo para solado de sapato, será necessário a adição de carga de reforço. O SBR é um copolímero randômico constituído de aproximadamente 70% de butadieno e 30% de estireno, que obtido a baixas temperaturas apresenta propriedades semelhantes à borracha natural. Necessita de carga de reforço para que a composição de borracha apresente boas propriedades físico-mecânicas, como bom alongamento e alta tensão de ruptura. É de fácil processamento e confere boa qualidade ao produto final[50].

Polmanteer & Lentz[57] descrevem que a estrutura química das cargas determinam o nível de reforço nas propriedades mecânicas da composição de borracha. Do grau de partição da carga e do polímero resulta a intensidade de suas interações. Estas ocorrem por ligações cruzadas (crosslink) que influenciarão as propriedades do vulcanizado.

Estas interações podem ser de natureza física ou química, e ocorrem na superfície envolvendo grupamentos químicos, como carboxílico, fenólico, quinonas, através de ligações intermoleculares do tipo ponte de hidrogênio ou forças de Van der Waals[58].

É importante salientar que a análise das propriedades tem como referencial a utilização do artefato de borracha produzido com esta composição.

O material após ter sido submetido a envelhecimento pelo calor, apresenta um decréscimo nas suas propriedades. A composição com bagaço apresenta menor perda da propriedade de tensão de ruptura e maior na propriedade de alongamento, em relação ao caulim, conforme

descrito no Quadro 4.5. Os resultados mostram que a composição de borracha com bagaço apresenta propriedades que o qualificam, alternativamente ao caulim, para utilização na indústria de artefatos de borracha, como a do calçado e material de construção civil. Isto se deve a fatores observados, como a baixa densidade do material e uniformidade de sua superfície, o que lhe confere boa aparência (bom acabamento), e resistência ao envelhecimento.

Quadro 4.5. Variação das Propriedades Mecânicas da Borracha em Função do Envelhecimento.

	Composição	25 phr		50 phr		100 phr	
	Original	BC*	Caulim	BC*	Caulim	BC*	Caulim
Varição da Dureza (ponto)	zero	zero	-1	+1	-1	+1,5	-1
Varição da Tensão de Ruptura (%)	-4,0	-7,4	-9,4	-5,6	-11,7	+6,4	+5,6
Varição no alongamento (%)	-20,6	-17,0	-14,7	-14,9	-17,1	-23,3	-10,5

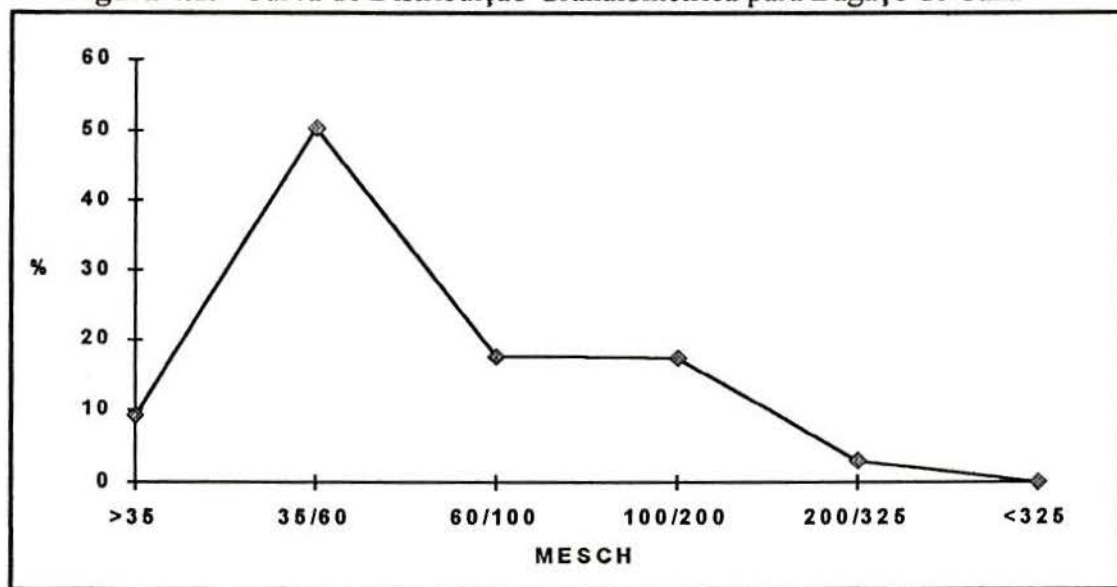
* valor médio obtido nas diferentes granulometrias

4.2. EXPERIMENTO 2 - COMPOSIÇÕES DE BORRACHA COM CAULIM, BAGAÇO DE CANA E RESINA FENÓLICA

Resultados dos trabalhos anteriores mostram que as composições de borracha com 25 phr de bagaço de cana apresentam melhores propriedades físico-mecânicas. Em função destes, estuda-se as modificações destas propriedades pela adição de resina fenólica, em diferentes proporções, ao bagaço de cana, em diferentes granulometrias. Para a produção de artefatos de borracha precisa-se melhorar algumas propriedades obtidas no experimento descrito em 4.1., como dureza, deformação permanente, abrasão, o que conseguiremos pela adição de materiais plastificantes, como as resinas fenólicas. A curva granulométrica apresentada na Figura 4.1., mostra que há maior rendimento nas frações contendo partículas de maior diâmetro, no entanto, é desejável

utilizar as de menor diâmetro quando quisermos reforçar as propriedades da composição de borracha.

Figura 4.1. Curva de Distribuição Granulométrica para Bagaço de Cana



4.2.1. MATERIAL E MÉTODOS

O bagaço (BC) proveniente da extração do caldo da cana-de-açúcar em terno de moendas e desfibrador é seco, moído e peneirado, separando-se as frações 35/60 e 200/325 Mesch (M) que serão primeiramente adicionadas ao elastômero SBR [poli(estireno-butadieno)] na proporção de 25 partes por cem de borracha (phr), juntamente com os outros ingredientes da composição da borracha, conforme formulação descrita nos Quadros 4.6. e 4.7. Mantendo constante os 25 phr de BC, junta-se a resina fenólica Thor MD 278 (RF) nas proporções 5, 15 e 25 phr, de duas maneiras diferentes: misturando diretamente o BC com RF (BC5 - BC15 - BC25) e dissolvendo a RF em álcool e incorporando o BC na solução resultante (BC5A - BC15A - BC25A).

Os ingredientes são homogeneizados em misturador aberto, sendo o tempo ótimo de cura determinado por curva de reômetro. Os corpos de prova são vulcanizados no tempo ótimo, à temperatura de 165°C, e suas propriedades físico-mecânicas são determinadas pelos métodos descritos no item 4.1.1., assim como as características das cargas.

Quadro 4.6. Formulação da Composição da Borracha

INGREDIENTES	UTILIDADE	phr
SBR 1502	Elastômero	100,0
Ácido Esteárico	Ativador de Vulcanização	2,0
Óxido de Zinco	Ativador de Vulcanização	5,0
Vulcanox HS	Antioxidante	1,0
Sicosil 45	Carga de Reforço	25,0
Polietilenoglicol (PEG-4000)	Ativador da Sílica	2,0
Mercaptobenzotiazol (MBT)	Acelerador de Vulcanização	1,5
Difenil-guanidina (DPG)	Acelerador de Vulcanização	1,5
Enxofre	Agente de Vulcanização	2,0
Total		140,0
Bagaço	Carga de Enchimento	25,0
Resina Fenólica	Plastificante	(i) 5,0 (ii) 15,0 (iii) 25,0

Quadro 4.7. Caracterização das Cargas

PROPRIEDADE/ CARGA	DENSIDADE (25C)	UMIDADE (%)
BC 35/60 Mesch	1,40	6,34
BC 200/325 Mesch	1,44	4,20

4.2.2. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Quadro 4.8. observa-se que a resina fenólica confere maior dureza à composição original, assim como o bagaço de cana (200/325 M), e que esta se acentua quando os dois estão associados. Nesta composição, pela adição direta de 5 phr de resina fenólica, obtém-se melhores resultados quanto a tensão de ruptura, alongamento e deformação permanente à compressão. O tempo de vulcanização aumenta proporcionalmente à adição de carga, porém é menor comparativamente a cargas minerais. Após ter sido submetido ao envelhecimento pelo calor, todas as composições aumentaram a dureza e diminuíram as propriedades de tensão de ruptura e alongamento, dentro dos limites estabelecidos por Babbit[45] e ASTM[56].

Resultados semelhantes se obtém quando se utiliza o bagaço de cana (35/60 M) conforme descrito no Quadro 4.9. Ressalva-se que o material é mais resistente a abrasão e o tempo de vulcanização é ainda menor. Não conseguiu-se obter boa dispersão na composição com 25 phr de resina fenólica dissolvida em álcool, por conseqüência não determinou-se suas propriedades.

Com os resultados obtidos verificou-se que a utilização de bagaço de cana associado a resina fenólica confere a composição de borracha aumento da dureza, tensão de ruptura, resistência a deformação e abrasão que permitem direcionar sua utilização para a indústria do calçado, produção de solado ou tacão, e para a indústria da construção civil em substituição ao aglomerado e assemelhados. As resinas fenólicas são polímeros constituídos de formaldeído e fenol, utilizados na produção de moldes, laminados e adesivos. Confere ao material boa resistência ao calor e a deformação. São utilizadas com cargas de baixo custo como a serragem, asbestos, para diminuir o valor comercial do produto e proporcionar-lhe propriedades específicas[43,50].

Quadro 4.8. Propriedades Mecânicas da Composição da Borracha com BC (200/ 325 M)

Propriedade	Composição Original	BC	RF5	RF15	RF25	BCRF A5	BCRF A15	BCRF A25	BCRF 5	BCRF 15	BCRF 25
Dureza Shore A	57	70	60	63	70	71	74	79	73	76	77
Tensão de Ruptura (MPa)	8,8	6,4	7,9	8,4	6,3	5,2	5,9	4,4	9,8	6,0	6,9
Alongamento (%)	500	500	480	480	460	380	400	340	540	400	460
Deform. Perm. Compressão (%)	12,1	23,5	14,1	15,9	19,5	17,4	18,7	22,8	19,0	23,4	23,7
Densidade Hidrostática (g/cm ³)	1,090	1,130	1,100	1,100	1,115	1,138	1,140	1,148	1,140	1,144	1,148
Abrasão (mm ³ /40m)	169	338	220	198	323	243	407	453	363	382	421
Tempo ótimo de vulcanização (min)	5,1	5,1	6,2	7,0	8,2	5,3	6,5	6,5	6,2	7,0	7,4
Envelhecimento 70 h/ 70°C											
Varição na dureza (pontos)	+ 2	+ 2	+ 3	+ 1	zero	+ 3	+ 2	zero	+ 1	+ 1	+ 1
Varição na tensão de ruptura (%)	- 31,8	- 23,4	- 15,2	- 11,9	- 14,3	- 5,8	- 11,9	- 22,7	- 21,4	- 18,3	- 13,0
Varição no alongamento (%)	- 24,0	- 36,0	- 25,0	- 20,8	- 21,7	- 21,0	- 25,0	- 41,2	- 22,2	- 30,0	- 21,7

**Quadro 4.9 - Propriedades Mecânicas da Composição de Borracha
com BC (35/60 M)**

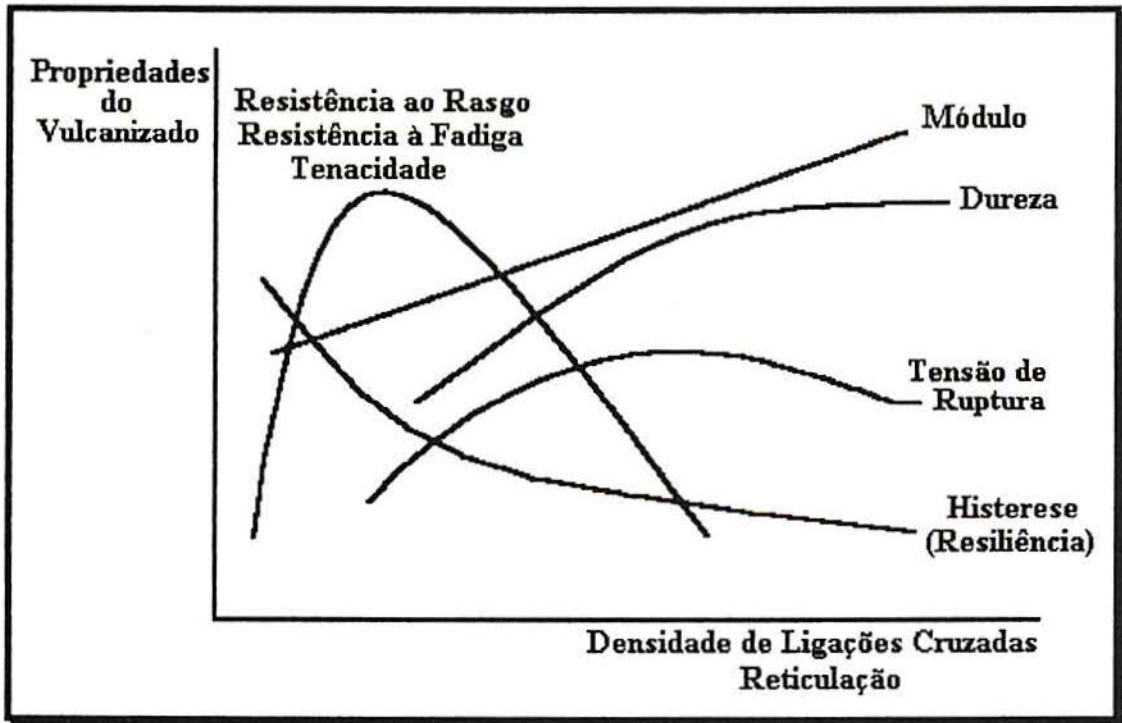
Propriedade	Composição Original	BC	BC5	BC15	BC25	BC5A	BC15A
Dureza Shore A	60	73	75	77	79	73	78
Tensão de Ruptura (MPa)	13,5	9,6	8,8	9,1	8,3	9,5	8,6
Alongamento (%)	520	500	480	500	480	540	560
Deform. Perm. Compressão (%)	17,5	15,0	17,6	12,4	24,5	21,3	22,6
Densidade Hidrostática (g/cm ³)	1,10	1,13	1,13	1,14	1,15	1,14	1,16
Abrasão (mm ³ /40 m)	110	211	219	260	242	204	275
Tempo de Vulcanização (min) (165C)	3,5	3,0	3,0	4,0	4,5	3,0	4,0
ENVELHECIMENTO 70h/ 70°C							
Variação na dureza (pontos)	zero	zero	+ 1	+ 2	zero	+ 2	+ 1
Variação na tensão de ruptura (%)	- 22,10	-12,40	- 3,17	- 5,38	- 8,47	-12,50	- 25,40
Variação no alongamento (%)	- 15,4	- 20,0	- 16,6	- 12,0	- 8,3	- 14,8	- 14,3

Existem interações específicas entre a interface do elastômero-carga, como ligações covalentes e pontes de hidrogênio, que se acentuam pela presença de agentes de vulcanização como o enxôfre, ou de compostos como as resinas fenólicas[46,59]. Estes componentes, assim como as cargas de reforço, tendem a formar redes em cadeia, ocorrendo cruzamento (crosslink) entre as cadeias do polímero. Dependendo do tipo e da quantidade de ligações cruzadas, da natureza do polímero e da carga obteremos valores diferenciados para as propriedades do composto elastomérico, conforme descrito na Figura 4.2.[46].

As propriedades reológicas de um composto elastomérico são grandemente afetadas pela espécie e quantidade dos ingredientes de sua formulação. O uso de reforçantes com estrutura filamentar em artefatos de borracha é bem conhecido. Têm sido usadas fibras não-metálicas, como algodão e rayon, e fibras com asbestos e vidro[60]. Estas, juntamente com outras cargas, conferem à composição da borracha, propriedades mecânicas específicas, melhorando, por exemplo, a resistência a ruptura e a abrasão, e facilitam o processamento industrial, pois interferem na orientação molecular durante a extrusão, calandragem e moldagem[61].Fibras contendo celulose, finamente divididas, têm sido usadas em composições de borracha. Goettler e Shen[62] fazem referência ao uso de celulose de madeira como reforçante de propriedades, como o módulo e tensão de ruptura. Esta apresenta grupos hidroxila que atuam como locais de ligação com os outros ingredientes da composição da borracha. As condições de produção da polpa de celulose e sua umidade influenciam diretamente sobre as propriedades acima citadas.

Minoura[63], estudando os processos de vulcanização da borracha, verificou que estes ocorrem por mecanismos envolvendo radicais livres ou íons. As ligações cruzadas envolvem grupos carbonila (aldeídos) em meio ácido, que interagem em locais específicos do elastômero, constituído de olefinas, como o SBR.

Figura 4.2. Relação entre Propriedades do Vulcanizado e Intensidade de Reticulação



4.3. EXPERIMENTO 3 - COMPOSIÇÕES DA BORRACHA PARA A PRODUÇÃO DE ARTEFATOS DE BORRACHA PARA A INDÚSTRIA DO CALÇADO E DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Sendo conhecidas as propriedades mecânicas das composições de borracha contendo bagaço de cana ou caulim e resina fenólica, a etapa seguinte do trabalho é orientada para a determinação de propriedades específicas que permitam avaliar a viabilidade de produção de artefatos de borracha para a indústria do calçado e da construção civil, pois propriedades mais gerais, como abrasão, densidade, resistência a deformação e tensão de ruptura já evidenciam a possibilidade da produção de artefatos de borracha para as indústrias citadas acima.

4.3.1. MATERIAL E MÉTODOS

O bagaço de cana, depois de seco e moído, é peneirado resultando as frações de granulometria 35/60 e 60/100 Mesch que primeiramente foi adicionada ao elastômero SBR [poli(estireno-butadieno)] na proporção de 25 e 200 partes por cem de elastômero (phr) juntamente com outros ingredientes da composição da borracha, conforme formulação descrita no Quadro 4.10.

Quadro 4.10 - Formulações das Composições de Borracha

INGREDIENTES	SOLADO (phr)		ELASTÔME- RO/ BC(phr)
	BC 5	CAULIM	
SBR 1502	100,0	100,0	100,0
Ácido Esteárico	2,0	2,0	2,0
Óxido de Zinco	5,0	5,0	5,0
Vulcanox HS	1,0	1,0	1,0
Sicosil 45	30,0	30,0	-
Polietilenoglicol (PEG-4000)	3,0	3,0	-
Mercaptobenzotiazol (MBT)	1,5	1,5	1,0
Difenil-guanidina (DPG)	1,5	1,5	1,0
Enxofre	2,0	2,0	2,0
Resina Fenólica	5,0	5,0	20,0
Bagaço de Cana (BC 35/60)	-	-	200,0
Bagaço de Cana (BC 60/100)	25,0	-	-
Caulim	-	25,0	-
TOTAL	176,0	176,0	332,0

Os ingredientes foram homogeneizados em misturador aberto. Os corpos de prova são vulcanizados, no tempo ótimo, à temperatura de 165°C, e suas propriedades físico-mecânicas são determinadas pelos métodos descritos no item 4.1.1., assim como as características das cargas. Testes específicos para calçados e aglomerados seguem os métodos: 53.507, para Rasgamento Progressivo; 53.543, para Flexão; PFI, para Abrasão Especial; MB 26 para, Tensão de Flexão. Testes de campo também foram realizados, utilizando as composições de borracha em solado de sapato usados por carteiros no seu ofício, durante um período de 25 dias. Realiza-se uma análise comparativa entre solados com bagaço de cana e caulim, compensado, aglomerado e aglomerado elastomérico com bagaço de cana.

4.3.2. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As propriedades mecânicas obtidas são equivalentes àquelas descritas para outras formulações utilizadas neste trabalho.

Verifica-se que a composição de borracha com bagaço de cana apresenta, comparativamente ao caulim, propriedades como dureza mais elevada, menor densidade hidrostática, menor abrasão, resistência a flexão e maior resistência ao rasgamento progressivo, conforme descrito nos Quadros 4.11. e 4.12. Apresentando desta forma características necessárias para sua utilização na produção de solado de sapatos. Os testes de campo também mostram que os solados dos sapatos dos carteiros, constituídos de composições elastoméricas com bagaço de cana se mostraram resistentes ao teste.

Comparativamente a materiais usados comercialmente, como o compensado e o aglomerado, o aglomerado elastomérico com bagaço de cana tem maior flexibilidade, o que permite sua deformação a uma tensão de flexão de 1,5 MPa, sem rompimento, retornando a posição inicial quando concluído o ensaio. Os outros materiais utilizados neste teste, rompem nas tensões de flexão especificados no Quadro 4.13. O aglomerado elastomérico pode ser serrado,

pregado ou parafusado, com desempenho equivalente ao da madeira. A sua dureza depende da quantidade de resina fenólica e bagaço de cana presente na composição, podendo-se elevar a dureza Shore D de 40, do aglomerado elastomérico, para valores obtidos para compensados e aglomerados.

Quadro 4.11. Propriedades Mecânicas da Composição de Borracha

Propriedade	Composição	Valor Obtido
Dureza Shore A	BC	75
	Caulim	68
Alongamento(%)	BC	520
	Caulim	600
Tensão de Ruptura (MPa)	BC	9,3
	Caulim	13,6
Densidade Hidros- tática (g/cm ³)	BC	1,15
	Caulim	1,21
Abrasão (mm ³ /40m)	BC	232
	Caulim	262

Quadro 4.12. Propriedades Específicas Avaliadas para Calçados

Método de ensaio	Especificação	Composição	Valor Obtido
Rasgamento Progressivo	8,0 N/mm	BC	14,4 N/mm
		Caulim	10,2 N/mm
Flexão	Progressão máxima 4 mm	BC	suporta o teste
		Caulim	suporta o teste
Abrasão Especial PFI	Parâmetro para calçado de rua 0,8 mm	BC	0,33 mm
		Caulim	0,42 mm

Quadro 4.13. Propriedades Mecânicas do Aglomerado

Método de Ensaio	Compensado Comercial	Aglomerado Comercial	Elastômero Bagaço de Cana
Tensão de flexão (MPa)	6,1	2,0	1,5
Dureza Shore D	60	60	40

4.4. SÍNTESE DAS CONCLUSÕES DESTE TRABALHO

1. O bagaço de cana é um material polimérico de característica ligno-celulósica que pode ser utilizado como carga inerte em artefatos de borracha contendo o elastômero SBR.

2. A baixa densidade do bagaço de cana, comparativamente a outras cargas inertes, proporciona maior rendimento em número de peças industrializadas, bem como a confecção de materiais mais leves.

3. O bagaço de cana confere maior dureza às composições de borracha, que é acentuada pela adição de resina fenólica.

4. Comparativamente às composições de borrachas com cargas minerais, aquelas com bagaço de cana tem menor tempo ótimo de vulcanização, fator que aumentará a produção.

5. A adição de resina fenólica às composições de borracha com bagaço de cana melhora propriedades como tensão de ruptura, alongamento, deformação permanente à compressão e abrasão, requisitos básicos para confecção de artefatos de borracha na indústria do calçado, construção civil, entre outras.

6. Os artefatos de borracha direcionados para indústria do calçado, para a confecção de tacão ou solado, são resistentes a testes específicos de qualidade, como resistência a flexão, abrasão especial e rasgamento progressivo.

7. Comparativamente aos materiais usados comercialmente, como o compensado e o aglomerado, o aglomerado elastomérico com bagaço de cana tem maior flexibilidade e dureza

equivalente, conforme a quantidade de resina fenólica presente nesta mistura. Pode ser serrado, pregado ou parafusado, com desempenho equivalente ao da madeira.

8. Os resultados obtidos neste trabalho mostra outras possibilidades de utilização do bagaço de cana ou outros materiais similares, nesta área industrial, quais sejam:

- utilizar outros materiais de composição química lignocelulósica, como carga em composições elastoméricas.
- desenvolver formulações usando outros tipos de elastômeros e de resinas.
- produzir materiais esponjados ou expandidos.

BAGAÇO DE CANA NA INDÚSTRIA AVÍCOLA

4.5. EXPERIMENTO 4 - UM EXPERIMENTO PILOTO PARA AVALIAR A PERFORMANCE DO BAGAÇO DE CANA COMO CAMA DE AVIÁRIO

Com o objetivo de determinar, inicialmente, se o bagaço de cana correspondia aos requisitos básicos para sua utilização como cama de aviário, desenvolveu-se um experimento piloto, onde se determina sua capacidade de absorção de água e o crescimento de microorganismos, relacionando com o desenvolvimento das aves.

4.5.1. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento piloto se desenvolveu utilizando pintos com um dia de idade, de ambos os sexos, especializados para corte e criados até completarem sete semanas num aviário situado no município de Taquara-RS, durante o período de 01/06/89 a 20/07/89. A lotação usada foi de 10 aves por metro quadrado, todas recebendo o mesmo tipo de alimentação, fornecida *ad libitum*. As aves foram distribuídas aleatoriamente em cinco boxes, cujo piso foi revestido com uma camada de 20 cm de bagaço de cana, maravalha ou uma mistura de ambos, conforme descrito no Quadro 4.14.

Quadro 4.14. Composição da Cama

NÚMERO DO BOX	COMPOSIÇÃO	
	Bagaço de Cana	Maravalha
1	0	100
2	100	0
3	25	75
4	50	50
5	100	0

* Tratado com $\text{Cu SO}_4(s)$ (160 g/ton cama) e Formol 10% (V/V).

No início do experimento, determina-se o teor de glicídios redutores totais[64] no bagaço de cana, a umidade[49] e o número de colônias de microorganismos desenvolvidos[65] em cada tipo de cama, o peso e o índice de mortalidade dos animais. Estes parâmetros foram determinados ao longo do experimento, em intervalos conforme descritos nos quadros apresentados nos resultados.

4.5.2. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A determinação da umidade inicial da cama, descrita no Quadro 4.15., e do teor de glicídios, que foi de 0,61% em massa, é fundamental para análise dos resultados, uma vez que estes fatores são apontados na literatura científica, a seguir citada, e pelos avicultores, como facilitadores do desenvolvimento de fungos causadores de doenças características da espécie e, conseqüentemente, pelo alto índice de mortalidade das aves. Verifica-se, inicialmente, que o bagaço de cana tem capacidade de absorção de água equivalente à maravalha, conferindo à cama consistência adequada para que não interfira no desenvolvimento dos animais, não causando deformações anatômicas ou perda de peso.

Experimentos desenvolvidos por Ruzler e Carson[66], onde determinam propriedades físicas de camas constituídas por casca de amendoim, maravalha de madeira, sabugo de milho e bagaço de cana, mostram que este último tem a maior capacidade de absorção de água e posterior evaporação da mesma.

Popolizio et alli[53] comparando diferentes tipos de cama, verificaram que o bagaço de cana apresentou maior percentagem de umidade, bem como maior compactação. Descreve ainda que as variações de umidade na cama também são dependentes das condições atmosféricas, como temperatura e umidade do ambiente. Observou acentuada proliferação de insetos nas camas contendo palha e bagaço, e a fermentação ocorrida com este último levou a um aumento na temperatura da cama.

Quadro 4.15. Umidade da Cama

COMPOSIÇÃO DA CAMA - Nº DO BOX					
UMIDADE (%)	Maravalha 1	BC Tratado 2	BC 25% 3	BC 50% 4	BC 100% 5
inicial	19,82	17,86	17,58	17,33	14,11
após 10 dias	11,95	11,61	11,57	11,35	7,75
após 20 dias	24,08	30,24	14,74	13,81	22,07
após 30 dias	50,09	48,81	39,32	34,72	36,08
após 40 dias	56,89	63,15	59,74	65,94	46,84
após 50 dias	54,19	59,72	56,53	55,84	38,09
variação (%)	173,4	234,4	221,5	222,2	170,0

Pinello et alli[55] e também Bacon e Burdick[67] relacionam as variações no número de colônias de microorganismos às condições externas, como a temperatura ambiente, umidade relativa do ar, poeira gerada pela cama. Seus resultados mostram, por exemplo, que a temperatura de 22 a 26°C se obtém grande crescimento de microorganismos. Quando a temperatura atinge valor superior a 34°C há um decréscimo significativo. Não detectaram presença de fungos nas

estruturas de sustentação do local de criação de frangos, devido ao baixo conteúdo de umidade. No entanto, o crescimento das espécies *Malbranchea pulchella* e *Aspergillus fumigatus* foi facilitada na cama de aviário quando determinações foram realizadas em dias úmidos de verão.

Lima et alli[68] ao descreverem as fases de crescimento dos microorganismos, lag, exponencial, estacionária e de declínio, colocam como causas da fase estacionária, o acúmulo de metabólitos tóxicos, o esgotamento de nutrientes e de oxigênio. Particularmente evidenciam que substratos contendo glicídios fermentáveis geram substâncias tóxicas, como o acúmulo de ácidos orgânicos.

Diener e Davis[69] utilizando amendoim como substrato para o crescimento de *Aspergillus flavus* e produção de aflatoxinas, verificaram existir correlação entre produção de ácidos graxos livres e crescimento do fungo, mas não existe necessariamente com a produção de aflatoxinas.

A análise anatômica da carcaça e órgãos internos, de 15% das aves de cada box, revelou um número reduzido de problemas de locomoção ou de Síndrome de Ascite, com excessão do box nº 5, onde ocorreu um alto índice de mortalidade, resultante predominantemente desta doença. Isto se deve as condições ambientais que exigem a utilização de aquecedores e ambiente com pouca ventilação, facilitando a ocorrência desta síndrome que se caracteriza por insuficiência respiratória e/ou cardiovascular na aves. Verifica-se no Quadro 4.16. que o tipo de cama utilizado não interfere no ganho de peso dos animais.

Quadro 4.16. Peso Médio dos Animais

PESO MÉDIO (g)	COMPOSIÇÃO DA CAMA - Nº DO BOX				
	Maravalha 1	BC Tratado 2	BC 25% 3	BC 50% 4	BC 100% 5
Inicial	53,3 ± 0,6	54,5 ± 0,9	54,3 ± 0,9	53,2 ± 0,7	52,9 ± 0,7
após 10 dias	197,5 ± 3,2	196,7 ± 5,0	203,9 ± 2,9	196,6 ± 3,7	189,1 ± 3,7
após 20 dias	672,6 ± 11,0	632,1 ± 12,7	709,1 ± 7,9	688,9 ± 13,7	632,2 ± 13,1
após 30 dias	1106,3 ± 32,6	854,0 ± 27,6	925,0 ± 25,2	939,0 ± 36,4	1086,1 ± 43,5
após 40 dias	1958,9 ± 58,4	1988,9 ± 46,3	2121,7 ± 37,8	2154,7 ± 45,1	2107,1 ± 61,3
após 50 dias	2239,7 ± 77,2	2298,6 ± 48,3	2533,3 ± 53,3	2500,0 ± 51,7	2521,2 ± 78,6

O tratamento preventivo contra a proliferação de fungos, aplicado a cama do box número 2, mostrou-se eficiente como repressor da proliferação das colônias de microorganismos patogênicos, com reflexos positivos sobre o índice de mortalidade, conforme descrito nos Quadros 4.17. e 4.18.

Fate et alli[70] mostraram a eficiência da utilização de inibidores do crescimento de fungos e o reflexo positivo quanto à prevenção de doenças causadas pela presença de espécies patogênicas de *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium*. Observa-se ainda que a utilização do bagaço de cana "in natura" na cama tem uma relação direta com o crescimento de microorganismos e o índice de mortalidade.

Quadro 4.17. Contagem de Microorganismos

TEMPO (Dias)	N° DE COLÔNIAS DE FUNGOS*				
	BOX 1	BOX 2	BOX 3	BOX 4	BOX 5
0	2,45	0,00	2,95	4,25	2,07
10	6,50	4,50	5,25	4,25	9,00
30	10,00	0,00	17,50	20,00	17,50
50	1,75	4,75	2,25	4,00	3,25
Variação (%)	- 28,60	+ ∞	- 23,70	- 5,90	+ 56,60

* x 10⁶/g de cama

Quadro 4.18. Mortalidade Total

Cama - n° Box	Maravalha 1	BC Tratado 2	BC 25% 3	BC 50% 4	BC 100% 5
Mortalidade (%)	8	5	19	14	32

Veloso et alii[71] utilizaram formaldeído em flocos na concentração de 1 a 3% em massa na cama de aviário e verificaram que o tratamento não tem efeito significativo sobre o crescimento, a conversão alimentar e a mortalidade dos animais. Há uma redução em torno de 10% na quantidade de bactérias e 1% de fungos, comparativamente ao grupo controle.

A análise dos resultados, referente aos aspectos enfocados, mostra a viabilidade de se investir no aprofundamento de estudos visando otimizar as condições de uso do bagaço de cana como cama de aviário.

4.6. EXPERIMENTO 5 - UM DELINEAMENTO EXPERIMENTAL PARA UTILIZAÇÃO DO BAGAÇO DE CANA COMO CAMA DE AVIÁRIO E ANÁLISE ESTATÍSTICA DE RESULTADOS.

Este experimento foi realizado com o objetivo de ampliar informações sobre a viabilidade técnica do uso do bagaço de cana como cama de aviário. Introduz-se nesta etapa o fator repetição para cada tipo de cama utilizada, o que nos permitirá um tratamento estatístico dos resultados, possibilitando tirar conclusões abrangentes e fidedignas.

4.6.1. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido utilizando aves e as instalações conforme descrito em 4.5.1. Teve duração de 6 semanas, no período de 14/5/90 a 24/6/90. O delineamento experimental está descrito no Quadro 4.19., tendo cada tratamento quatro repetições, envolvendo 50 animais cada uma.

Quadro 4.19. Composição da Cama

TRATAMENTO	COMPOSIÇÃO (%)	
	BAGAÇO DE CANA	MARAVALHA
I	100	0
II	0	100
III	50	50
IV*	100	0
V**	100	0

* Tratado com uma aplicação de formol 10% (V/V) e duas aplicações de $\text{CuSO}_4(\text{s})$ (160 g/tonelada cama);

** Tratado com uma aplicação de formol 10% (V/V) e $\text{CuSO}_4(\text{s})$ (160 g/ton cama).

Durante o experimento foram estudadas as variáveis: umidade, teor de açúcar e produção de aflatoxinas na cama, ganho de peso e mortalidade dos animais. O teor de açúcar é determinado no bagaço de cana no início do experimento, aflatoxinas[72] no início e término, a umidade em intervalos de 15 dias e o ganho de peso e mortalidade semanalmente. A análise de variância foi

conduzida no sentido de verificar a influência das camas sobre as variáveis citadas acima, conforme programa Epistat Statistical Package for IBM Personal Computer Ver. 3.3.

4.6.2. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise estatística comparando a capacidade de absorção de água entre o bagaço de cana e a maravalha, mostra que não há diferença significativa nos resultados obtidos. Relacionando os resultados descritos no Quadro 4.15. relativos ao experimento descrito em 4.5., com os do Quadro 4.20. relativo ao experimento descrito em 4.6., identificamos semelhanças que nos permitem inferir que o bagaço de cana tem capacidade de absorção de água equivalente a maravalha, e que, nesta propriedade, o bagaço se qualifica para ser utilizado como cama em aviário. O teor de glicídios redutores totais é 0,12% em massa, um valor reduzido em função de que o bagaço utilizado estava armazenado por um período longo de tempo, o que propiciou a fermentação do açúcar residual do processo de extração. A fermentação do açúcar se caracteriza por ser um processo exotérmico, elevando a temperatura numa dorna de fermentação, e exigindo resfriamento para manter a temperatura ótima de atividade dos microorganismos, que se situa em torno de 30°C[68,73]. O processo fermentativo favorece o abaixamento do teor de glicídios pela atividade dos microorganismos, e da umidade pela elevação da temperatura. Este fato associado ao manejo adequado dos animais e das camas, redundou na diminuição da mortalidade comparativamente ao experimento descrito em 4.5. Novamente nos boxes onde aplicou-se sulfato de cobre II e formol houve diminuição no índice de mortalidade, conforme descrito no Quadro 4.21. Os testes para detecção de aflatoxinas revelam ausência destas toxinas nas camas.

Quadro 4.20. Umidade da Cama

PERÍODO (dias)	TRATAMENTO				
	I	II	III	IV	V
0	18,8 ± 7,8	16,2 ± 0,7	15,9 ± 0,6	16,3 ± 1,2	16,5 ± 1,6
14	27,0 ± 5,5	18,9 ± 1,0	23,9 ± 4,1	20,6 ± 4,5	22,9 ± 1,4
28	52,0 ± 5,4	35,8 ± 2,9	40,2 ± 7,7	41,6 ± 6,9	40,4 ± 4,8
42	51,4 ± 14,9	51,8 ± 9,5	60,2 ± 6,6	56,7 ± 6,4	47,4 ± 10,8
Variação Total (%)	184,0	219,8	278,6	247,8	187,3

Quadro 4.21. Mortalidade Total

Tratamento	I	II	III	IV	V
Mortalidade (%)	5,8 ± 2,5	4,0 ± 1,6	7,7 ± 4,7	3,5 ± 1,2	3,5 ± 1,2

Estes resultados justificam a diminuição do índice de mortalidade, cujo fator causador da morte não está aliado a disfunções fisiológicas associadas a presença destas toxinas. A produção de toxinas é dependente de condições especiais, como umidade elevada, temperatura entre 25 e 35°C, tipo de substrato[69]. Condições que favorecem o crescimento de fungos produtores de toxinas, como *A. flavus*, *A. parasiticus*, *P. puberulum*, *Rhizopus sp*[72]. Entre elas pode-se citar aflatoxinas, que causam enfermidades ao homem e aos animais, como aflatoxicose e aspergilose[54,74].

Verifica-se também que as diferentes composições da cama não interferem no desenvolvimento dos animais, não ocorrendo diferença significativa no peso final destes, conforme descrito no Quadro 4.22.

Quadro 4.22. Peso Médio dos Animais

Tratamento	I	II	III	IV	V
Peso Final (g)	1435,8 ± 412,8	1347,3 ± 445,3	1449,8 ± 327,3	1457,0 ± 394,0	1463,2 ± 360,8

4.7. EXPERIMENTO 6 - UTILIZAÇÃO DE BAGAÇO DE CANA FERMENTADO COMO CAMA DE AVIÁRIO.

A partir dos resultados descritos no item 4.6., desenvolvemos um delineamento experimental com o objetivo de verificar a influência da utilização de bagaço de cana *in natura* e fermentado como cama de aviário, sobre o desenvolvimento dos animais.

4.7.1. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido utilizando aves e as instalações conforme descrito em 4.5.1. Teve duração de 6 semanas, no período de 02/12/91 a 13/01/92. Durante este período a temperatura média ambiental foi de 24,6°C e a mínima e a máxima oscilaram entre 13,2°C e 36,8°C. O delineamento experimental está descrito no Quadro 4.23., tendo cada tratamento quatro repetições, envolvendo 20 animais cada uma.

O bagaço de cana *in natura* foi armazenado num galpão a fim de que ocorresse o processo de fermentação natural, resultando bagaço de cana fermentado. Inicialmente foi determinado o teor de umidade no bagaço e na maravalha[49], e o teor de glicídios redutores totais no bagaço[64]. O ganho de peso e a mortalidade são determinados semanalmente, o número de colônias de microorganismos na cama quinzenalmente[65], e a presença de aflatoxinas na cama é determinada no final do experimento[72]. Fez-se análise de variância dos resultados conforme descrito em 4.6.1.

Quadro 4.23. Composição da Cama

COMPOSIÇÃO (%)	TRATAMENTO			
	I	II	III	IV
Maravalha	0	0	50	100
Bagaço de cana fermentado	100	0	50	0
Bagaço de cana <i>in natura</i>	0	100	0	0

4.7.2. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As características iniciais das camas usadas nos diferentes tratamentos são bastante diferenciadas, conforme descrito no Quadro 4.24., pois o bagaço de cana *in natura* por não ter sido submetido ao processo de fermentação, apresenta um teor de umidade elevado comparativamente aos outros materiais, e contém na sua composição açúcares residuais do processo de extração do caldo de cana, em concentração de 15,6% em massa. Hoffmann[11], em sua dissertação de mestrado, apresenta valores de 16% em massa. O bagaço fermentado contém 0,17% em massa. Estes resultados, numa análise preliminar, mostram que o processo de armazenamento do bagaço é vantajoso, pois simultaneamente diminui a umidade e o teor de açúcar, fatores que poderão beneficiar o desenvolvimento de microorganismos, com presença de espécies patogênicas causadoras de enfermidades nas aves. A contagem de microorganismos evidencia isto, pois o número de colônias de fungos desenvolvidos na cama com bagaço *in natura* é superior àquela com bagaço fermentado.

Os fungos são microorganismos que necessitam menos umidade do que as bactérias e leveduras. A água de um alimento, sua localização e disponibilidade, é um fator importantíssimo para o crescimento microbiano. O equilíbrio entre a água de constituição do alimento e da umidade do ar também é um fator que influencia na velocidade de crescimento de microorganismos. Este, praticamente não ocorre em concentrações de água inferior a 8%. A

maioria é mesófilo, cuja temperatura ótima de crescimento é 25-30°C. *Aspergillus* pode crescer a 35-37°C. Necessitam de oxigênio e se desenvolvem melhor em meio ácido. Possuem grande quantidade de enzimas hidrolíticas.

Os microorganismos utilizam vários substratos como fonte de carbono, nitrogênio e minerais. Os glicídios são preferidos a qualquer fonte de energia. O gênero *Aspergillus* e *Penicillium* são muito abundantes, tendo bom desenvolvimento em alimentos ricos em açúcares e sal, e com baixo conteúdo de água[75]. O caldo de cana (rico em açúcar e substâncias nutritivas) apresenta um conteúdo microbiano proveniente da cana e do solo[75].

Estudos de laboratório, utilizam meios de cultura para crescimento de fungos, que contém em média 2% de glicose, 1% de peptona e 2% de agar. Um dos meios semi-sintéticos mais usados para o cultivo de fungos é o meio Czapek-Dox Agar (modificado) cuja composição contém minerais, 30g de sacarose, 12g de agar por litro de água destilada, em pH 6,8. Outro meio muito usado é o Sabouraud Glicose Agar, que contém 40g de glicose, 10g de peptone e 20g de agar por litro de H₂O destilada, em pH 5,4[76], o que demonstra a importância dos glicídios no crescimento de fungos.

Os testes para detecção de aflatoxinas revelam a ausência destas, pois não há uma correlação direta entre o crescimento de fungos e a presença de espécies patogênicas, assim como a produção de toxinas. Lovett e colaboradores[77], estudando a microflora de camas de aviário constituídas de maravalha, concluíram que a reutilização contínua da cama aumenta a população de bactérias e fungos e que ambos atingem um máximo de crescimento em um mês de utilização, após declinam e permanecem aproximadamente constante. Lovett[78] estudando a toxigenicidade de fungos em alimentos e cama na criação de frangos, verificou que, das espécies isoladas, 13% eram toxigênicas.

As diferentes composições das camas não influenciaram no desenvolvimento dos animais, pois não há diferença significativa no ganho de peso e no índice de mortalidade. Quanto à mortalidade, valores diferenciados, por exemplo, para os tratamentos I e II ou IV podem ser

atribuídos a variáveis externas ao controle do experimento, como a qualidade dos pintos, pois não há relação entre a composição da cama e a causa da morte dos animais. Observe-se, ainda, no tratamento I o alto valor do desvio padrão, ocasionado por grandes diferenças nos valores obtidos nas repetições, como zero e 30%. Deve-se salientar que experimentos com as características técnicas apresentadas neste trabalho, associada às condições de manejo, favorecem a obtenção dos resultados apresentados. O acompanhamento clínico dos animais, sob experimentação, pertencentes aos diferentes tratamentos, não evidenciou alterações locomotoras ou o aparecimento das lesões tipo "calo de peito", decorrente da compactação da cama. Aquelas que tem bagaço de cana em sua composição, apresentam maior emplastamento, mas este não interfere no desenvolvimento dos animais.

Conclui-se que não houve diferença significativa entre as variáveis estudadas nos diferentes tratamentos, não havendo influência negativa no desenvolvimento das aves, o que nos leva a indicar o bagaço de cana como matéria-prima com potencial para substituir total ou parcialmente a maravalha na indústria de produção de frangos e ovos. Salientamos que a preparação do bagaço é fundamental para garantir êxito na sua utilização como cama de aviário. O processo de fermentação prévia é condição essencial para baixar o teor de umidade e de açúcar, e assim, evitar que estes fatores promovam o desencadeamento de doenças nas aves.

Mercadante e colaboradores[79] estudando a influência do material da cama na produção de frangos, verificaram que não há diferença significativa quanto ao peso vivo, conversão alimentar e incidência de calo de peito, concluindo que maravalha de madeira, bagaço de cana e sabugo de milho desintegrado, se equivalem como cama de aviário.

Oliveira e colaboradores[51], comparando tipos de cama de aviário, mostraram que o bagaço de cana é um bom material para cama com bom poder de absorção de água, limpo e praticamente sem produção de poeira. Não observaram produção de fungos e toxidez dos materiais empregados. Concluíram que os diferentes tipos de cama usados não influenciaram no desenvolvimento dos animais.

Quadro 4.24. Síntese dos Resultados obtidos nos Diferentes Tratamentos

ANÁLISES		TRATAMENTO			
		I	II	III	IV
Índice de Mortalidade (%)		11,2 ± 14,3	3,8 ± 2,5	2,5 ± 2,8	16,5 ± 5,0
Peso final (g)		2139 ± 44	2143 ± 67	2143 ± 91	2063 ± 70
Crescimento de microorganismos log(nº de colônias)x10 ³	14*	4,69	9,57	5,56	2,32
	28*	7,30	9,77	3,91	3,72
	42*	2,25	6,44	5,32	1,75
Análise de aflatoxinas		não detectado	não detectado	não detectado	não detectado
Umidade Inicial (%)		9,3	40,2	13,2	16,2

* em dias

4.8. SÍNTESE DAS CONCLUSÕES DESTE TRABALHO

1. O bagaço de cana apresenta capacidade de retenção de água e manutenção das propriedades físicas da cama, equivalentes a maravalha.

2. O bagaço de cana como cama de aviário não interfere negativamente no desenvolvimento dos animais, não sendo constatado problemas locomotores, calosidade de peito, entre outros.

3. O processo de fermentação do bagaço de cana é fundamental para garantir o êxito de sua utilização como cama de aviário.

4. O processo fermentativo baixa a umidade do bagaço de cana, diminuindo o emplastamento da cama, assim como o teor de açúcares, o que dificulta o crescimento de microorganismos patogênicos causadores de doenças características nas aves.

5. Testes de detecção de aflatoxinas revelam ausência destas, pois não há uma correlação direta entre o crescimento de fungos e a presença de espécies patogênicas, assim como a produção de toxinas.

6. Aos valores diferenciados para a mortalidade nos diferentes tipos de cama, podem ser atribuídos, também, a variáveis externas ao controle do experimento, como a qualidade dos pintos, pois nem sempre há relação entre a composição da cama e a causa da morte dos animais.

7. Experimentos com as características técnicas apresentadas neste trabalho, associadas às condições de manejo, favorecem a obtenção dos resultados apresentados. Isto significa que produção de frangos de corte em grande escala, deve manter estes cuidados na preparação e manutenção dos galpões de confinamento dos animais, e o controle permanente das características físicas das camas.

V. ANÁLISE ECONÔMICA PARA COMERCIALIZAÇÃO DO BAGAÇO DE CANA

A análise econômica, que se pretende apresentar neste trabalho, objetiva criar um referencial para o preço mínimo de venda do bagaço de cana. Algumas simplificações serão adotadas em função das peculiaridades da produção do bagaço de cana na indústria sucroalcooleira e de sua utilização em áreas de produção industrial específicas, como as referenciadas neste trabalho, quais sejam: calçado, construção civil e avícola.

Considera-se nesta análise, duas fases:

- * A Produção de Bagaço de Cana na Destilaria.
- * A Utilização do Bagaço de Cana na Indústria.

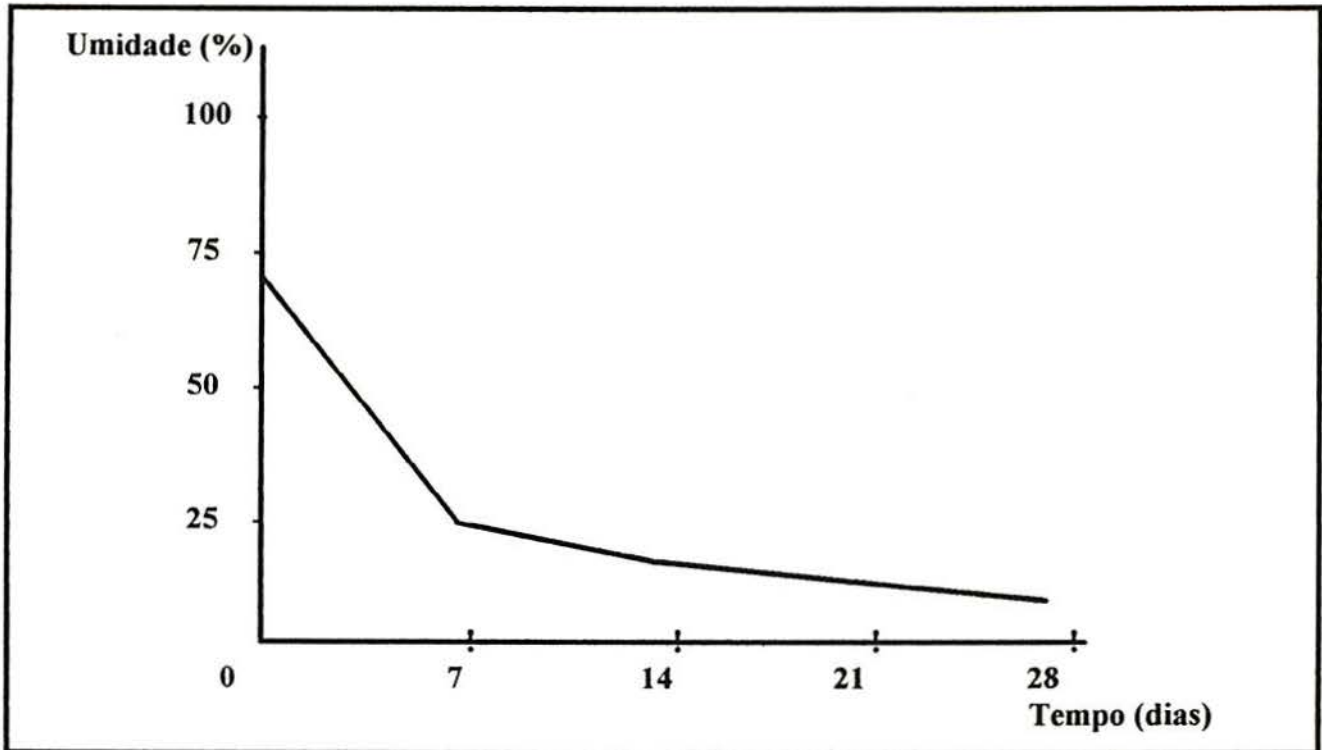
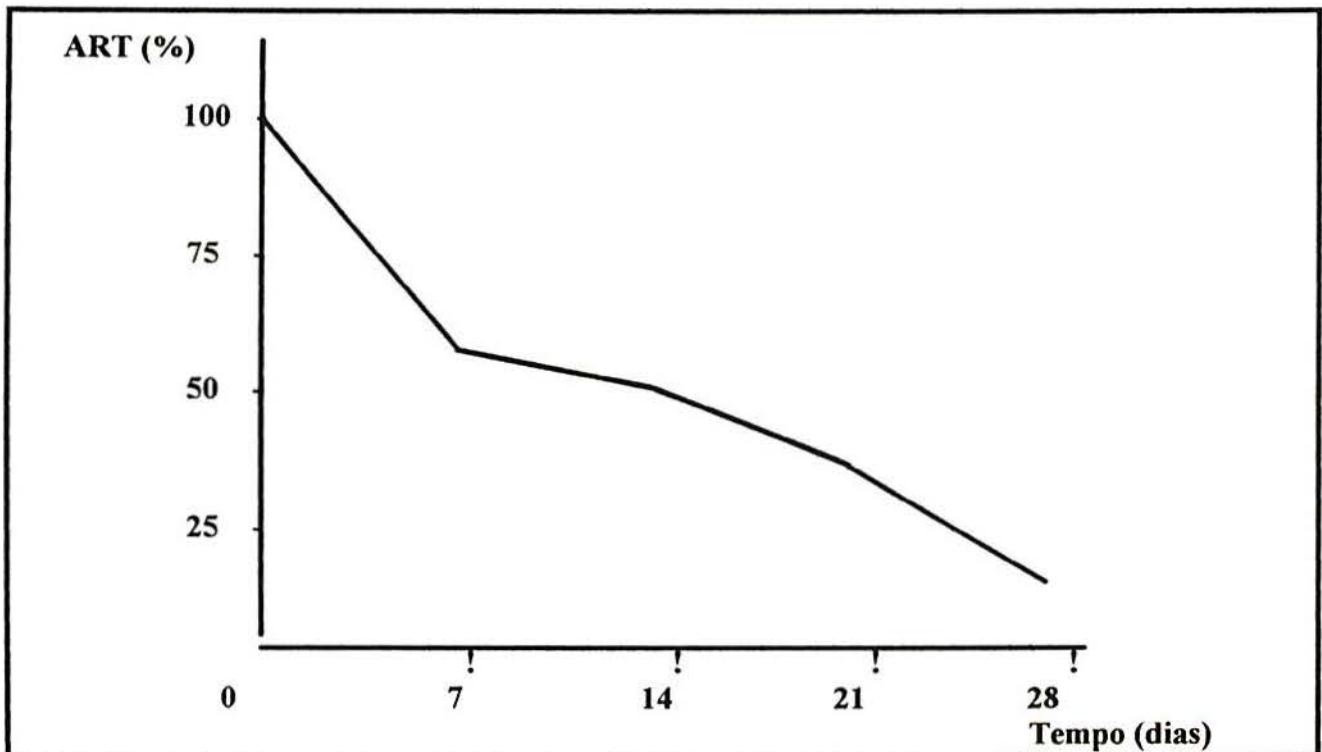
5.1. A PRODUÇÃO DO BAGAÇO DE CANA NA DESTILARIA

Na fase industrial de extração do caldo da cana, obtém-se como subproduto o bagaço de cana. Diferentes equipamentos utilizados neste processo tem dispositivos que permitem a diminuição da umidade do bagaço. É quase desnecessário informar que a eficiência da extração é fundamental. Equipamentos para extração por prensagem, como os que eram utilizados pela Açúcar Gaúcho S.A., ou por difusão, comercializados pela A.B. Equipamentos Industriais Ltda., permitem obter o bagaço de cana com 4% de açúcares residuais e 50% de umidade, conforme informações obtidas com o fabricante do equipamento, ou do usuário na planta industrial. Estes dados estão de acordo com resultados da Avaliação do Bagaço de Cana-de-Açúcar obtidos pela Sociedade de Produtores de Açúcar e Alcool[27].

Dispositivos adicionais como prensagem em rolos, aquecimento, fermentação e aeração tem permitido baixar a umidade até 20%[27]. Este valor ainda é muito superior àquele que é necessário chegar-se para dotar o bagaço de condições que permitam o seu uso em aplicações industriais descritas neste trabalho.

O bagaço não utilizado para geração de calor na caldeira, é transportado por esteiras ou máquina agrícola, até galpões de armazenamento ou a locais a céu aberto. O que se propõe neste trabalho é o armazenamento do bagaço por um período que permita reduzir os níveis de açúcar a valores inferiores a 1%, e os de umidade a 10%, por processo de fermentação natural. Os custos de preparação do bagaço de cana, envolvem a construção de um galpão para armazenamento, e o transporte da destilaria até o local de sua utilização.

Para o dimensionamento do galpão considerou-se 30 dias como tempo de armazenamento, em função do que verificou-se experimentalmente, que este é o tempo necessário para que se tenha redução da umidade e açúcares, aos níveis descritos anteriormente. O bagaço de cana foi armazenado e amostras foram coletadas em intervalos de sete dias. Determinou-se a umidade inicial da amostra, e a umidade em cada intervalo de tempo descrito acima. Os açúcares redutores foram determinados no início do experimento e considerou-se este valor equivalente a 100%. As determinações seguintes, em intervalos de sete dias, correspondem a uma percentagem do total. Observa-se, por exemplo, na figura 5.2. que a quantidade de açúcares no bagaço de cana se reduz a 10% do total inicial presente na amostra sob análise. Os resultados estão apresentados nas figuras 5.1. e 5.2.

Figura 5.1. Variação da Umidade no Bagaço de Cana sob Fermentação**Figura 5.2.** Variação dos Açúcares Redutores Totais (ART) no Bagaço de Cana sob Fermentação

O galpão tem dimensões de 10 m de largura por 40 m de comprimento e altura de 6 m, com paredes até 3 m. É constituído de quatro divisões internas (box 1,2,3,4) para permitir o armazenamento por 30 dias, com retiradas do bagaço fermentado em períodos de 10 dias. O bagaço vai sendo adicionado ao box 1, durante 10 dias, após estes 10 dias não se acrescenta mais bagaço ao box e deixa-se o que já existe em repouso por 30 dias.

Para que a produção de bagaço fermentado continue sendo armazenada, passa-se a mais uma vez, adicionar este ao box 2, durante 10 dias, após este período deixa-se o bagaço em repouso por 30 dias.

O bagaço passa então a ser colocado no box 3 e segue-se o mesmo procedimento até o box 4. Quando parou-se de adicionar bagaço no box 4, o box 1 já teve o seu tempo de 30 dias de descanso, então o material deste deve ser retirado, abrindo espaço para reiniciar o procedimento de armazenamento para fermentação natural.

O custo de construção deste galpão é de US\$ 30.000 (valor obtido por consulta a empresas da área de construção civil, em janeiro de 1994) e sua capacidade de estocagem é de 1200 m³, suficiente para abrigar 30% do bagaço de cana produzido numa destilaria de 5.000 l/dia, durante 30 dias, que corresponde a 945 m³. Este valor é obtido da seguinte forma:

Parâmetros utilizados:

- Capacidade da microdestilaria: 5000 l/dia
- Período de industrialização: 30 dias
- Produção de cana: 70 t/ha/ano
- Produção de álcool: 70 l/t cana
- Produção de bagaço de cana: 250 Kg/t cana
- Bagaço excedente: 30% do total industrializado
- Densidade média do bagaço: 0,17 t/m³

Cálculos utilizados:

- Produção total de Cana: $\frac{5.000 \text{ l/dia} \times 30 \text{ dias}}{70 \text{ l/t cana}} = 2.143 \text{ t cana}$
- Produção total de bagaço: $2.143 \text{ t cana} \times 0,250 \text{ t bagaço / t cana} = 536 \text{ t bagaço}$
- Bagaço excedente: $536 \text{ t bagaço} \times 30 / 100 = 161 \text{ ton}$ correspondente a 945 m^3 bagaço

Quanto ao transporte do bagaço de cana até a indústria, considera-se, por razões econômicas, que esta deva se localizar próximo a destilaria, conforme já descrito por Mundstock et alii[80] e Soares et alii[81]. No entanto admitiremos ter situações onde a distância varia entre 10 e 30 Km, sendo o custo de transporte igual a US\$ 1,40 /Km (valor obtido por consulta a empresas da área de transporte de cargas). Considera-se ainda que um caminhão tenha capacidade para transportar 20 m^3 de bagaço (valor obtido por consulta a empresas da área de transporte de cargas e a empresa Açúcar Gaúcho SA). Não há carga tributária sobre a comercialização do bagaço de cana pois esta é diferida, ou seja, é transferida para uma etapa posterior que incidirá sobre o produto industrializado. O investimento total para a comercialização do bagaço de cana está descrito no quadro 5.1., e os dados apresentados foram obtidos da seguinte forma:

Período de industrialização: 180 dias

Quantidade total de bagaço a ser transportado: $945 \text{ m}^3 \times 6 \text{ meses} = 5670 \text{ m}^3$ bagaço

Capacidade de transporte de um caminhão: 20 m^3

Número de viagens: $5670 \text{ m}^3 \text{ bagaço} / 20 \text{ m}^3 = 284$ viagens

Custo de transporte (US\$ de janeiro de 1994):

para 10 Km: $1,40 \text{ US\$/Km} \times 10 \text{ Km} \times 284 \text{ viagens} = 3.976$

20 Km: $1,40 \text{ US\$/Km} \times 20 \text{ Km} \times 284 \text{ viagens} = 7.952$

30 Km: $1,40 \text{ US\$/Km} \times 30 \text{ Km} \times 284 \text{ viagens} = 11.928$

Quadro 5.1. Investimento Total para Comercialização do Bagaço de Cana

Tipo de Investimento		Custo (US\$)		
Construção do Galpão		30.000		
Transporte	10 Km	3.976		
	20 Km		7.952	
	30 Km			11.928
Total		33.976	37.952	41.928

Em função do custo de produção e comercialização do bagaço de cana e do tipo de utilização industrial, será estipulado um valor de mercado.

Deve-se salientar que esta é uma receita adicional àquela conseguida com a comercialização do álcool combustível, e que 70% do bagaço de cana já foi utilizado como fonte energética na destilaria.

5.2. A UTILIZAÇÃO DO BAGAÇO DE CANA NA INDÚSTRIA

5.2.1. INDÚSTRIA AVÍCOLA

Neste tipo de atividade industrial, a maravalha constitui-se um elemento essencial para criação de frangos, utilizado como revestimento do piso dos galpões de alojamento dos animais.

Ao admitir-se que todo o excedente de bagaço de cana na destilaria seja utilizado na produção de frangos, ter-se-á disponível 945 m³ de bagaço de cana/mês, e que necessita-se de 0,02 m³ de cama/ave, pode-se criar 47.250 frangos/mês.

Utilizando o preço do metro cúbico de maravalha, como referência, oferecida no mercado a 2,50 a 3,00 dólares, e considerando o custo de armazenamento e transporte pode-se oferecer o bagaço de cana a um preço variável de 2,00, 2,50 e 3,00 dólares/m³ e a partir destes valores verificar a rentabilidade do empreendimento, através da determinação do lucro e do tempo de

amortização do investimento. O resultado deste estudo, está descrito no quadro 5.2., e os dados apresentados foram obtidos da seguinte forma:

Manutenção: considera-se o valor de 10% do investimento total, seguindo parâmetros utilizados em outros trabalhos, como os de Gemente et alii[18] e Silva et alii[19];

Receita: bagaço de cana produzido X valor de comercialização

$$(5670\text{m}^3) \quad X \quad (\text{US\$ } 2,0/2,5/3,0)$$

Lucro: receita - custo

Tempo de amortização do investimento: investimento/ lucro

Quadro 5.2. Rentabilidade da Comercialização do Bagaço de Cana para a Indústria Avícola

		Alternativa I	Alternativa II	Alternativa III
Distância (Km)		10	20	30
Investimento (US\$)*		30.000,00	30.000,00	30.000,00
CUSTOS (US\$)	Transporte	3.976,00	7.952,00	11.928,00
	Manutenção	3.000,00	3.000,00	3.000,00
RECEITA (US\$)*	2,00	11.340,00	11.340,00	11.340,00
	2,50	14.175,00	14.175,00	14.175,00
	3,00	17.010,00	17.010,00	17.010,00
LUCROS (US\$)*	2,00	4.364,00	388,00	-
	2,50	7.199,00	3.225,00	-
	3,00	10.034,00	6.058,00	2.082,00
TEMPO DE AMORTIZAÇÃO (ANOS)	2,00	6,8	77	-
	2,50	4,1	9,3	-
	3,00	3,0	4,9	14,4

* US\$ (dólar americano) de janeiro de 1994.

A análise dos resultados mostra que a alternativa III, onde transporta-se o bagaço por 30Km, é pouco viável, pois há lucro apenas quando o preço do bagaço é de US\$ 3,00, com um tempo de investimento de 14 anos. A melhor alternativa, economicamente, é aquela onde se transporta o bagaço por 10Km. O preço desta matéria-prima para a criação de frangos será definido pelo mercado.

5.2.2. INDÚSTRIA DA BORRACHA

Conforme descrito neste trabalho, pretende-se dar às composições de borracha, dois destinos: a) utilizá-las na indústria do calçado para confecção de solados; b) na indústria moveleira e construção civil para confecção de chapas para serem utilizadas como pisos, divisórias, formas para concreto, entre outros. Analisar-se-ão os custos de produção e o preço de mercado para cada situação em separado.

Para produção de solados de sapatos ou do aglomerado elastomérico será utilizada a formulação básica descrita no quadro 5.3.

Observa-se neste Quadro que há apenas uma substituição da carga inerte caulim por bagaço de cana na composição de borracha para confecção de solados para sapatos. Além disso, deve-se considerar que a composição de borracha com bagaço de cana tem densidade 5 a 15% menor do que com caulim, proporcionalmente a 25, 50 e 100 phr de bagaço presente na mistura. Isto permite produzir também 5 a 15% a mais de peças, pois as mesmas são comercializadas em função do volume. Sendo assim, a composição com bagaço de cana pode ter seu custo reduzido a valores entre US\$ 0,93 e US\$ 0,83, conforme a quantidade presente na composição de borracha.

Quadro 5.3. Formulações das composições de borracha

INGREDIENTES	SOLADO (phr)		ELASTÔ- MERO/ BC (phr)	VALOR DE MERCADO (US\$ / Kg)*
	BC 5	CAULIM		
SBR 1502	100,0	100,0	100,0	0,88
Ácido Esteárico	2,0	2,0	2,0	0,86
Óxido de Zinco	5,0	5,0	5,0	1,02
Vulcanox HS	1,0	1,0	1,0	4,71
Sicosil 45	30,0	30,0	-	0,97
Polietilenoglicol (PEG-4000)	3,0	3,0	-	1,85
Mercaptobenzotiazol (MBT)	1,5	1,5	1,0	6,20
Difenil-guanidina (DPG)	1,5	1,5	1,0	6,18
Enxôfre	2,0	2,0	2,0	0,20
Resina Fenólica	5,0	5,0	20,0	3,77
Bagaço de Cana (BC 35/60)	-	-	200,0	0,05
Bagaço de Cana (BC 60/100)	25,0	-	-	0,05
Caulim	-	25,0	-	0,15
TOTAL	176,0	176,0	332,0	
CUSTO TOTAL (US\$ / Kg)*	0.98	1.00	0.60	

* Dólar de janeiro de 1994.

Utilizando o preço de mercado do caulim, como referência, que é de US\$ 0,15 / Kg (em janeiro de 1994), e considerando o custo de produção do bagaço de cana que será utilizado

totalmente para este fim, pode-se comercializá-lo por um preço variável de 0,05, 0,10 e 0,15 US\$/Kg, e a partir destes valores verificar a rentabilidade do empreendimento, através da determinação do lucro e do tempo de amortização do investimento. O resultado deste estudo está descrito no quadro 5.4., e os dados apresentados foram obtidos de forma semelhante aos do quadro 5.2., apenas alterando-se a quantidade de bagaço de cana, de m³ para Kg, correspondente a 161.000 Kg.

Quadro 5.4. Rentabilidade da Comercialização do Bagaço de Cana para a Indústria da Borracha

		Alternativa I	Alternativa II	Alternativa III
Distância (Km)		10	20	30
Investimento (US\$)*		30.000,00	30.000,00	30.000,00
CUSTOS (US\$)	Transporte	3.976,00	7.952,00	11.928,00
	Manutenção	3.000,00	3.000,00	3.000,00
RECEITAS (US\$)*	0,05	48.300,00	48.300,00	48.300,00
	0,10	96.600,00	96.600,00	96.600,00
	0,15	144.900,00	144.900,00	144.900,00
LUCROS (US\$)*	0,05	41.324,00	37.348,00	33.372,00
	0,10	89.624,00	85.648,00	81.672,00
	0,15	137.924,00	133.948,00	129.972,00
TEMPO DE AMORTIZAÇÃO (ANOS)	0,05	0,7	0,8	0,9
	0,10	0,3	0,3	0,4
	0,15	0,2	0,2	0,2

* US\$ (dólar americano) de janeiro de 1994.

A análise dos resultados mostra inicialmente que a comercialização do bagaço de cana para a indústria da borracha gera maior rentabilidade e menor tempo de amortização. Em quaisquer das alternativas I, II ou III, a produção de cana para este fim é viável, apresentando um tempo de amortização do investimento inferior a um ano. Nesta situação a distância a ser transportado o bagaço, não é mais um fator limitante para sua produção e comercialização.

Em relação a produção de chapas constituídas pelo elastômero/bagaço-de-cana, cuja composição está descrita no quadro 5.3., tem um custo de formulação de US\$ 0.60 /Kg.

Considerando os parâmetros descritos a seguir, obtidos pela análise das etapas de industrialização e comercialização junto a uma indústria de chapas de borracha tem-se::

- 53% do preço total da chapa é matéria-prima;
- 37% do preço total da chapa é mão-de-obra e despesas operacionais;
- Há quebras e perdas avaliadas em 10% do preço total da chapa;
- Custo de vendas e impostos representam 23,4% de acréscimo sobre o preço de comercialização da chapa;
- 20% de lucro que deve ser acrescido sobre o preço de comercialização da chapa.

Em função dos parâmetros descritos acima, podemos oferecer ao mercado de chapas, um produto ao custo final de US\$ 2,00 /Kg (dólar de janeiro de 1994). Este valor é obtido da seguinte forma:

Custo de produção para 1Kg de chapa:

- Matéria-prima (53% do custo total de produção): US\$ 0,60
- Mão-de-obra e despesas operacionais (37% do custo total de produção): US\$ 0,42
- Quebras e perdas (10% do custo total de produção): US\$ 0,11

CUSTO TOTAL DE PRODUÇÃO: US\$ 1,13

Custo de comercialização:

- Vendas e impostos (23,4% do custo total de comercialização): US\$ 0,47
- Lucro (20% do custo total de comercialização): US\$ 0,40

CUSTO TOTAL DE COMERCIALIZAÇÃO: US\$ 0,87

CUSTO TOTAL: US\$ 2,00

Utilizando esta chapa para produzir, por exemplo, uma janela com veneziana, que tenha 1 m² e pese 65 Kg, o custo para comercialização é de US\$ 130,00. Uma janela de madeira (canela ou peroba), nas mesmas dimensões tem custo de comercialização de US\$ 120,00

5.3. SÍNTESE DAS CONCLUSÕES DESTE TRABALHO

1. O bagaço de cana para ser utilizado na indústria da borracha ou avícola, necessita ser armazenado por um período de 30 dias, para reduzir os teores de açúcar e umidade a valores inferiores a 1 % e 10%, respectivamente.

2. Para abrigar 30% do bagaço de cana produzido excedente numa destilaria de 5000 l/dia, durante 30 dias, que corresponde a 945 m³, é necessário construir um galpão de dimensões de 10 m de largura por 40 m de comprimento e altura de 6 m.

3. O valor de comercialização do bagaço de cana foi definido em função do preço de mercado da maravalha, na indústria avícola, e caulim na indústria da borracha, que são respectivamente US\$ 2,50 ou US\$ 3,00 e US\$ 0,15.

4. Considerando as alternativas de venda do bagaço para a indústria avícola, nos valores de US\$ 2,00, 2,50 e 3,00, e a distância de seu transporte, de 10, 20 e 30 Km, esta última praticamente inviabiliza sua comercialização. A primeira constitui-se a melhor opção. O preço desta matéria-prima para a criação de frangos será definida pelo mercado.

5. A comercialização do bagaço de cana para a indústria da borracha gera maior rentabilidade e menor tempo de amortização do investimento, comparativamente a alternativa

expressa no item anterior. A venda do bagaço a US\$ 0,05, para indústria de solados de sapatos ou de chapas aglomeradas, traz um bom retorno de investimento. Novamente este valor de comercialização fica regulado pelo mercado, sendo perfeitamente possível aumentá-lo, melhorando a lucratividade.

6. Composições de borracha com bagaço de cana para confecção de solados de sapato, tem um custo de produção de US\$ 0,83 a 0,93 /Kg, dependendo da quantidade em que esta carga se apresenta. Uma composição com caulim tem custo de produção de US\$ 1,00 / Kg.

7. Composições de borracha com bagaço de cana para confecção de chapas aglomeradas tem um custo de produção e comercialização de US\$ 2,00 /Kg. Uma janela produzida com este material, que tenha 1 m² e pese 65 Kg, tem custo de US\$ 130,00. Uma janela de madeira (cana ou peroba) nas mesmas dimensões, tem custo de US\$ 120,00.

8. Finalmente, deve-se salientar ainda, que esta é uma receita adicional àquela conseguida com a comercialização do álcool combustível, e que 70% do bagaço de cana já foi utilizado como fonte energética na destilaria.

VI. APÊNDICE I - POTENCIAL NUTRICIONAL DA CAMA DE AVIÁRIO COMO FERTILIZANTE E RAÇÃO ANIMAL

Conforme foi descrito no item 3.5., o bagaço de cana *in natura* não se constitui uma boa fonte de nutrientes para a produção agrícola ou animal, necessitando ser transformado, utilizando-se processos de compostagem, humificação, hidrólise. Estes procedimentos visam aumentar a quantidade de matéria inorgânica (NPK) e facilitar a digestibilidade da matéria orgânica. Outra alternativa de enriquecimento nutricional do bagaço de cana, é utilizá-lo como cama de aviário, e, após, usar esta na composição de rações e fertilizantes.

A composição química da cama de aviário varia de acordo com a proporção de excrementos, com a natureza da cama escolhida e, ainda, de acordo com a duração do período de estocagem no aviário[82]. Andrews e McPherson[83] analisando camas de seis meses de utilização, obtiveram valores de 2,79% de N, 2,84% de P_2O_5 e 1,48% de K_2O .

Verificou-se, ainda, que a cama constituída de bagaço de cana apresentava boas características físicas e um valor razoavelmente alto como fertilizante, comparativamente a camas constituídas de palha, maravalha, casca de arroz e argila.

Miele e Milan[84], analisando camas constituídas de esterco de frango de corte e maravalha, determinaram os teores médios dos elementos químicos descritos no Quadro 5.1. A umidade foi de 51,6% e o pH 7,7. Utilizaram, então, a cama de aviário como fertilizante em regiões de vinhedos. Consideraram que a quantidade de cama incorporada ao solo varia muito, sendo de 2 a 10 t/ha a faixa mais utilizada, e sua frequência de incorporação anual ou bianual.

A aplicação de matéria orgânica ocasiona modificações físicas, químicas e biológicas nos solos. As principais mudanças verificadas relacionam-se ao aumento da disponibilidade de nutrientes, à melhora da agregação e estrutura do solo e à melhora das propriedades coloidais dos solos, através de um aumento da capacidade de troca de cátions, do poder tampão e da formação de quelatos. Concluíram que este material se constitui uma fonte considerável dos

elementos citados no Quadro 6.1., tornando-se num apreciável fertilizante para os vinhedos da região.

Quadro 6.1. Teores Médios de Elementos Químicos em Cama de Aviário Constituída de Maravalha e Esterco de Frango

Elemento Químico	Teores Médios (%)	Elemento Químico	Teores Médios (%)
N	3,02	Fe	0,33
P	1,32	Na	0,89
K	2,38	Elemento Químico	Teores Médios(ppm)
Ca	2,19	Mn	299
Mg	0,52	Zn	228
		Cu	80

Segundo Zanette e Nunes[85] a composição da cama de aviário apresenta 25 a 30% de proteína bruta, e esta contém cerca de 1/3 de ácido úrico e outras substâncias do metabolismo; 17 a 23% de fibra bruta; 2 a 3% de gordura; 15 a 23% de cinzas; 28 a 34% de extrativos não nitrogenados. A cama de aviário é rica em vitamina B-12, K e riboflavina. Zanette e Nunes[85] utilizaram rações balanceadas contendo 0, 10 e 20% de cama de aviário para a criação de ovinos. Verificaram que não há diferenças significativas na produção dos animais para abate, quanto à velocidade de crescimento e conversão alimentar. Cada ração, isoladamente, produziu animais com bom rendimento industrial, qualitativa e quantitativamente.

Abrahão e Freitas[86] utilizaram cama de aviário como suplemento nitrogenado para a criação de novilhos, mantidos em pastagem nativa. Verificaram que há vantagens na suplementação de bovinos a campo com este material, principalmente em períodos de carência de pastagens. Além de fonte nitrogenada, a cama de frango se constitui em fonte mineral de cálcio e fósforo.

Outras composições de ração podem ser obtidas, conforme descrito a seguir. Thiago e colaboradores[87] utilizaram para a criação de novilhos confinados, ponta e bagaço de cana nas proporções de 8:2 e 6:4, e panícula de sorgo. O melhor ganho de peso foi obtido quando se utilizou a relação 6:4 e 3 kg de panícula de sorgo.

Vaz e colaboradores[88] utilizaram uma ração composta de 40% de sorgo moído, 40% de esterco de galinha e 20% de feno moído. Pastori e colaboradores[89] desenvolveram um estudo de ingestão voluntária e digestibilidade aparente de rações contendo diferentes relações de cana-de-açúcar e cama-de-frango e milho. Verificaram que a proporção cana:cama pouco influencia o valor nutritivo das rações. Este é aumentado pela adição de milho.

Com o objetivo de determinar o valor nutricional da cama de aviário constituída de bagaço de cana, coletamos amostras de quatro box e determinamos sua composição química com vistas a sua utilização como fertilizante e ração animal. Os quadros 6.2. e 6.3. apresentam os resultados destas análises, cujos valores se encontram em níveis relatados em outros trabalhos, conforme descrito na revisão bibliográfica apresentada, mostrando o potencial da utilização da cama de aviário como fonte de nutrientes para a produção animal e vegetal. A procura deste material por produtores rurais é bastante grande, constituindo-se assim em mais uma fonte de rendimento financeiro pela comercialização do bagaço de cana.

Quadro 6.2. Composição Química da Cama de Aviário com o Bagaço de Cana para Uso como Fertilizante*

Determinação	Quantidade (%)
Umidade a 75 °C	48,20 ± 6,92
Nitrogênio total	3,06 ± 0,41
Carbono orgânico	29,50 ± 1,72
Fósforo total	0,54 ± 0,06
Potássio total	2,08 ± 0,22
Cálcio total	1,54 ± 0,04
Magnésio total	1,02 ± 0,32
pH em água (2:1)	9,30 ± 0,30

* Análise realizada no Laboratório de Análises do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia - UFRGS

Quadro 6.3. Composição Química da Cama de Aviário com Bagaço de Cana para Uso em Ração Animal*

Determinação	Matéria seca (%)	Seco ao ar (%)
Matéria seca	100,0 ± 0,00	42,30 ± 2,96
Umidade	0,00 ± 0,00	57,70 ± 2,97
Matéria orgânica	70,36 ± 5,88	29,66 ± 0,40
Proteína bruta	18,90 ± 0,35	7,99 ± 0,41
Fibra bruta	18,75 ± 2,70	7,89 ± 0,58
Extrato etéreo	1,54 ± 0,29	0,64 ± 0,08
Extrato não-nitrogenado	31,16 ± 2,54	13,15 ± 0,16
Cinzas	29,64 ± 5,88	12,62 ± 3,36

* Análise realizada no Laboratório de Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia da Faculdade de Agronomia - UFRGS

VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Carioca, J.O.B; Arora, H.L. *Biomassa-Fundamentos e Aplicações Tecnológicas*. Fortaleza: Departamento de Química Analítica e Físico-Química e Núcleo de Fontes Não Convencionais de Energia da Universidade Federal do Ceará, 1984.
2. Bristoti, A. *Energia, Economia e Ecologia, Influência da Integração do Cone Sul*. In: Temas de Integração Latino Americana, Porto Alegre: Editora da Universidade, 1990.
3. Menezes, T.J.B. *Etanol. O Combustível do Brasil*. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda, 1980.
4. Sassin, W. Perspectivas da Mudança. *O Correio da Unesco* Rio de Janeiro, ano 9, n. 9, p.9-12, 1981.
5. Brito, S. S. *Energia da Biomassa: Alavanca de uma Nova Política Industrial*. Brasília: Publicação da STI/MIC, 1986, 52p.
6. Motta, S.R.V. O Uso Energético da Biomassa Vegetal. *Atualidades*. Brasília, v. 15, n. 85, p.7-11, 1983.
7. Bristoti, A. Crise Energética, Projeções para o Ano 2000. *Correio do Povo*. Porto Alegre: 31/07/1983, Caderno de Domingo.

8. Anciães, A. W. *Avaliação Tecnológica do Álcool Etilico*. 2a. ed. Brasília: CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO (CNPq), 1980, 513p.
9. Westphalen, S.L.; Maluf, J.R. Zoneamento Agroclimático da Cana-de-açúcar para o Estado do Rio Grande do Sul. *Agronomia Sulriograndense*. Porto Alegre, v.16, n. 1, p.119-129, 1980.
10. SECRETARIA DA INDÚSTRIA E COMÉRCIO/RS. *Estudo de Viabilidade de Destilarias de Álcool a partir de Cana-de-açúcar, nas Escalas de Produção 10,20,30,40,60,90,120 e 150 mil litros/dia*. 5 ed. Porto Alegre: SIC/RS, 1984. 170p.
11. Hoffmann, R. *Análise do Desempenho de uma Microdestilaria Anexa para a Região das Encostas Basálticas do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Dissertação Mestrado Engenharia - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1985, 118p.
12. Dariva, T. *Álcool - Produza a sua Energia*. Programa de Fontes Alternativas de Energia, Projeto 02 - Álcool. Documento 01. Santa Maria: PRORAD/UFSM, 1980, 14p.
13. Kichel, A.N. et alli. *Introdução da Cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) na Encosta Sudeste do Rio Grande do Sul*. Pelotas: EMBRAPA/UEPAE de Pelotas, 1984, 6p.
14. Valsechi, O. A Cana-de-açúcar como Matéria-prima para a Indústria. *Brasil Açucareiro*. Piracicaba, v.72, n.4, p.23-39, 1968.

15. Paul, J.K. *Ethyl Alcohol Production and Use a Motor Fuel*. New Jersey: Noyes Data Corporation, 1979, 373p.
16. Goldenberg, J.; Moreira, J.R. O Programa Nacional do Álcool em 1988. *Revista Brasileira de Energia*. São Paulo, v.1, n.1, p.25-44, 1989.
17. Motta, R.S.; Ferreira, L.R. Proálcool: Reavaliação Econômica e Ajustes de Demanda. In: Congresso Brasileiro de Energia, 4. Rio de Janeiro, 1987. *Anais*. Rio de Janeiro, 1987, p.987-996.
18. Gemente, A.C. et alli. Microdestilaria: Viabilidade Técnica-econômica. *Brasil Açucareiro*. Piracicaba, v.04, p.25-72, 1982.
19. Silva, J.G. et alli. Balanço Energético Cultural da Produção de Álcool Etílico de Cana-de-açúcar, Mandioca e Sorgo Sacarino - Fase Agrícola e Industrial. *Brasil Açucareiro*. Piracicaba, v.6, p.452-465, 1976.
20. Fernandes, M. P. et alii. *Estudo-da-arte da Produção de Etanol a partir da Madeira. Tecnologia da Produção de Etanol a partir de Materiais Celulósicos*. Brasília: MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA E DO COMÉRCIO- STI - CETEC, 1981. 190p. 1v.
21. A questão do Álcool Combustível no Rio Grande do Sul. 5ª ed. Porto Alegre: BRDE/RS. 1987.

22. Bristoti, A. et alii. Análise Econômica de um Modelo de Microdestilaria Simplificado. In: Congresso Brasileiro de Energia, 4. Rio de Janeiro, 1987. *Anais*. Rio de Janeiro, 1987, p.1145-1150.
23. Tolmasquim, M.T. Análise Comparativa entre Grandes Destilarias de Álcool e Sistemas Integrados de Produção de Energia e Alimentos (SIPEAS). In: Congresso Brasileiro de Energia, 4. Rio de Janeiro, 1987. *Anais*. Rio de Janeiro, 1987, p.1159-1166
24. McCabe, M.R. et alii. *Unit Operations of Chemical Eng.* New York: McGraw-Hill, 1967, 945p.
25. Ladish, M.R. et alii. Dehydration of Ethanol: New Approach Gives Positive Energy Balance. *Science*, v.205, p.898-900, 1979.
26. Stumpf, U.E. Aspectos Técnicos de Motores a Álcool. *Ciência e Cultura*, v. 30, n. 4, p.428-435, 1978.
27. Lonza, F. et alii. *Avaliação do Bagaço de Cana-de-açúcar*. São Paulo: SOCIEDADE DE PRODUTORES DE AÇÚCAR E ÁLCOOL/ SOPRAL. 1983, 101p.
28. Sayeg Jr., D.; Neto, A.J. Co-geração a partir do Bagaço de Cana. In: Congresso Brasileiro de Energia, 4. Rio de Janeiro, 1987. *Anais*. Rio de Janeiro, 1987, p.1174-1183.
29. Filgueiras, G. Etanol, Adubo e Energia Elétrica. Produção Simultânea a partir da Cana-de-açúcar. *Revista de Química Industrial*. Rio de Janeiro, v.48, n.567, p.10-2, 1979.

30. Netto, A.G.; Dias, J.M.C.S. *Sistemas de Produção de Álcool em Microdestilarias*. Brasília: EMBRAPA, 1983, 38p.
31. Dantas, B. Contribuições do Setor Agropecuário para a Solução da Crise Energética. Parte II. *Brasil Açucareiro*. Piracicaba, v.95, n.4, p.39-53, 1980.
32. Bagaço Também Gera Álcool. *Química e Derivados*. v.17, n.196, p.34-5, 1982.
33. O Bagaço como Adubo. *Brasil Açucareiro*. Piracicaba, v.3, n.5, p.367-8, 1984.
34. Bagaço de Cana e Vinhoto Servem como Alimento do Gado. *Dirigente Rural*, v.21, n.10, p.31-34, 1982.
35. Coleti, J.T. et alii. Compostagem Obtida com Resíduos da Fabricação de Açúcar e Álcool. *Saccharum Stab*, v.5, n.19, p.36-40, 1982.
36. Humbert, R.P. Novo Processo de Compostagem de Bagaço e Torta de Filtro para Aumentar a Produção de Cana. *Brasil Açucareiro*. Piracicaba, v.86, n.2, p.45-7, 1975.
37. Schuchardt, U.; Joekes, I. Sacarificação de bagaço de Cana: Inovações no Processo Bergius. In: Congresso Brasileiro de Energia, 4. Rio de Janeiro, 1987. *Anais*. Rio de Janeiro, p.307-316, 1987.
38. Thiemann, J.E. Produção de Enzimas: Celulases e Amilases. In: Seminário Brasil/ Europa de Energia da Biomassa e Resíduos. Belo Horizonte: 1988, 17p.

- 39.Morganti, H. A Cana-de-açúcar, seus Produtos e Sub-produtos. *Revista de Química Industrial*. Rio de Janeiro, p.18-20, 1952.
- 40.Agrawal, G.D. Possible Utilization of Sugar-cane Bagasse. *Indian J. Environ HLTH*. Índia, v.16, n.2, p.159-167, 1974.
- 41.Plásticos de Bagaço de Cana. *Brasil Açucareiro*. Piracicaba, p.19, n.2, p.7, 1942.
- 42.Joshi,U.S. et alii. Studies on the Utilization of Agricultural Residues in the Manufacture of Pulp, Paper and Industrial Chemicals. IPPTA, Índia, v.18, n.3, p.1-4, 1981.
- 43.Usmani, A.M. et alii. Alternative Low Cost Roofing Material Candidates Based on Bagasse Filled Compositives. *Journal of Elastomers and Plastics*. Ohio, v.12, p.18-44, 1980.
- 44.Nagy,V. Some Knowledge Gained from the Research of Agglomerated Fibreboard Production Applicable for Developing Countries. *Silvae Cultura Tropica et Subtropica*. Tchecoslováquia, v.5, p.127-34, 1976.
45. Rai, J.S.P. et alii. Evaluation of Rice-hull and Bagasse Ash as Reinforcing Filler for Rubbers. *Popular Plastics & Rubber*, v.26, n.3, p.3-5, 1981.
- 46.Babbit, R.O. *The Vanderbilt Rubber Handbook*. Los Angeles: R.T. Vanderbilt Company, Inc., 1978. 950 p.
- 47.Eirich, F.R. *Science and Technology of Rubber*. New York: Academic Press, Inc., 1978. 670p.

48. Powers, P.O. Resins Used in Rubber. *Rubber Chemistry and Technology*, v. 36, n. 5, p.1558-70, 1963.
49. Rocha, E. C. Polígrafo do Curso Tecnologia dos Elastômeros. Porto Alegre: SUPERINTENDÊNCIA DA BORRACHA/MIC, 1987.
50. Billmeyer Jr., F.W. *Textbook of Polymer Science*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2ª ed., 1962, 598p.
51. Oliveira, S.C. et alii. Comparación entre Tipos de Cama en la Criación de Pollos de Engorda en Rio Grande do Sul, Brasil. In: World Poultry Congress, 4. New Orleans. *Anais*, New Orleans, 1974. p.342-343.
52. Cavalheiro, A.C.L. et alii. *Estudo Comparativo entre "Camas" Novas e Usadas na Criação de Frangos de Corte*. Boletim Técnico nº 21. Secretaria da Agricultura. 1973. 13p.
53. Popolizio, E.R. et alii. Empleo de Distintos Materiales como Cama para Aves. Facultad de Agronomía y Zootecnia de la Universidad Nacional de Tucumán. *Miscelanea nº 75*. 1979. 11p.
54. Salle, C.T.P. *As Aflatoxinas como Fatores Immunodepressores*. Boletim IPUDF. Guaíba, v.09, p.73-82, 1986.
55. Pinello, C.B. et alii. Mycoflora of a Turkey Confinement Brooder House. *Poultry Science*, v.56, p.1920-1926, 1977.

56. Annual Book of ASTM Standards. Part 37. Philadelphia: AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 1979. 888p.
57. Polmanteer, K. E.; Lentz, C. W. Reinforcement Studies - Effect of Silica Structure on Properties and Crosslink Density. *Rubber Chemistry and Technology*, v.48, n.5, p.795-809, 1975.
58. Bras, J. L. The Filler - Elastomer Chemical link and the Reinforcement of Rubber. *Rubber Chemistry and Technology*, v.52, n.1, p.43-49, 1979.
59. Deanin, R.D. *Polymer Structure, Properties and Applications*. Boston: Cahners Publishing Company, Inc. 1972. 496p.
60. Foldi, A. P. Reinforcement of Rubber Trough Short Individual Filaments. *Rubber Chemistry and Technology*, v.49, n.2, p.379-389, 1976.
61. Moghe, S. R. Short Fiber Reinforcement of Elastomers. *Rubber Chemistry and Technology*, v.47, n.5, p.1074-1081, 1974.
62. Goettler, L. A.; Shen, K. S. N. Short Fiber Reinforced Elastomers. *Rubber Chemistry and Technology*, v.56, n.3, p.619-623, 1983.
63. Minoura, Y. Crosslinking Reaction of Rubber with Aldehydes. *Rubber Chemistry and Technology*, v.43, n.2, p.188-209, 1970.

64. Summer, J.B. The Determination of Sugar in Diabetic Urine, Using Dinitrosalicylic Acid. *Jour. Biol. Chem.*, v.62, p.287-298, 1925.
65. Wyatt, R. Evaluacion Bacteriologica y Micologia de la Cama. *Avicultura Profesional*, v.2, n.2, p.47-49, 1984.
66. Ruzler, P. L., Carson, J. R. Physical and Biological Evaluation of Five Litter Materials. *Poultry Sci.*, v.47, p.1712, 1968.
67. Bacon, C. W., Burdick, D. Growth of Fungi in Broiler Houses. *Poultry Sci.*, v.56, p.653-661, 1977.
68. Lima, U. A. et alli. *Biotechnologia - Tecnologia das Fermentações*. São Paulo; Edgard Blücher, 1975. 285p., 1v.
69. Diener, U. L., Davis, N. D. Limiting Temperature and Relative Humidity for Growth and Production of Aflatoxin and Free Fatty Acids by *Aspergillus flavus* in Sterile Peanuts. *The Journal of the American Oil Chemists Society*, v.44, p.259-263, 1967.
70. Fate, M. A. et alli. Efficacy of Thiabendazole (Mutect 340-F) in Controlling Mold in Turkey Confinement Housing. *Avian Diseases*, v.31, n.1, p.145-148, 1987.
71. Veloso, J. R. et alli. The Use of Formaldehyde Flaks as an Antimicrobial Agent in Built-up Poultry Litter. *Poultry Sciense*, v.53, p.78-83, 1974.

72. Soares, L.M.V. *Micotoxinas: um Método para Análise Simultânea e Incidência em Alimentos Comercializados na Região de Campinas*. Tese de Doutorado Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola. Universidade Estadual de Campinas, 1987. 129p.
73. Shreve, R.N.; Brink, JR., J.A. *Indústrias de Processos Químicos*. 4ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1980. 717p.
74. Salle, C. T. P. Aflatoxicose das Aves. Seminário Técnico Sobre Manejo, Nutrição e Doenças das Aves, 1. Belo Horizonte, 1982. *Anais*. Promovido pela PFizer S.A.
75. Frazier, W. C. *Microbiologia de los Alimentos*. Zaragoza: Acribia, 1981. 512p.
76. Soltys, M. A. *Bacteria and Fungi Pathogenic to Man and Animals*. Baltimore: The Williams and Wilkins Company, 1963. 540p.
77. Lovett, J. et alli. The Microflora of Southern Ohio Poultry Litter. *Poultry Sci.*, v.59, p.746-751, 1971.
78. Lovett, J. Toxigenic Fungi from Poultry Feed and Litter. *Poultry Sci.*, v.51, p.309-313, 1972.
79. Mercadante, et alli. Influência do Material de Cama na Produção de Frangos. *Anais*. Congresso Brasileiro de Avicultura, 3. p.51-3, 1973.
80. Mundstock, C. et alii. Análise do Custo Energético de Produção de Cana-de-Açúcar: Lavoura Mecanizada e Não-Mecanizada. *Pesq. Agropec. Bras.*, v.21, n.5, p.501-507, 1984.

81. Soares, R. et alii. Avaliação do Funcionamento de Microdestilaria. MINISTÉRIO DE AGRICULTURA, 1984.
82. Bellaver, C. et alii. Cama de Aviário em Rações para Suínos em Terminação. *Pesq. Agropec. Bras.*, v.18, n.7, p.797-804, 1983.
83. Andrews, L.D.; McPherson, B. N. Comparison of Different Types of Materials for Broiler Litter. *Poultry Sci.*, v.42, p.250-254, 1963.
84. Miele, A.; Milan, P. A. Composição Mineral de Cama de Aviário de Frangos de Corte e sua Utilização na Adubação de Vinhedos. *Pesq. Agropec. Bras.*, v.18, n.7, p.729-733, 1983.
85. Zanette, N. H.; Nunes, R. V. O. Observações Preliminares do Uso de Cama de Aviário em Rações de Recria e Terminação de Suínos da Raça Duroc. *Anuário Técnico do IPZFO*, v.4, p.83-96, 1977.
86. Abrahão, J. S.; Freitas, E. A. G. Cama de Aviário como Suplemento Nitrogenado para Bovinos. *Pesq. Agropec. Bras.*, v.22, n.5, p.521-525, 1987.
87. Thiago, L. R. L. S. et alii. Engorda de Novilhos em confinamento Utilizando Subprodutos de Microdestilarias de Álcool. *Pesq. Agropec. Bras.*, v.19, n.5, p.657-663, 1984.
88. Vaz, G.L. et alii. Emprego de Sorgo e Esterco de Galinha no Arroçoamento de Novilhos em Confinamento. *Anuário Técnico do IPZFO*, v.4, p.445-451, 1977.

89. Pastori, A. M. et alli. Valor Nutritivo de Rações Contendo Cana-de-açúcar, Cama de Frango e Milho. *Pesq. Agropec. Bras.*, v.21, n.2, p.211-214, 1956.