

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**  
**ESCOLA DE ADMINISTRAÇÃO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO**  
**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR PARA OBTENÇÃO DE ETANOL  
HIDRATADO NO RIO GRANDE DO SUL: UMA ANÁLISE UTILIZANDO  
DINÂMICA DE SISTEMAS**

**ANDRÉ DEMCZUK**

**Porto Alegre – RS**

**2012**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ADMINISTRAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO  
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR PARA OBTENÇÃO DE ETANOL  
HIDRATADO NO RIO GRANDE DO SUL: UMA ANÁLISE UTILIZANDO  
DINÂMICA DE SISTEMAS**

Dissertação de mestrado apresentada ao programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Administração.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Domingos Padula

Porto Alegre – RS

2012

## RESUMO

O Brasil destaca-se internacionalmente pela utilização do etanol derivado de cana-de-açúcar em sua matriz energética. O crescimento da frota de veículos flex-fuel gera uma demanda potencial crescente de etanol hidratado combustível. Os níveis de consumo deste combustível não são homogêneos em todo país. Longe dos centros de produção de cana-de-açúcar e com uma das maiores alíquotas de ICMS do país, o Rio Grande do Sul é frequentemente apontado como o estado que possui o etanol hidratado mais caro do país. Como o preço nas bombas de combustível raramente atinge um nível para torná-lo competitivo com a gasolina, o Rio Grande do Sul possui também um dos menores consumos de etanol hidratado, já que os proprietários de veículos flex raramente optam pelo abastecimento com este combustível. Um novo zoneamento agrícola, publicado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento em 2009, incluiu 182 municípios do Rio Grande do Sul como aptos para a produção de cana-de-açúcar com fins de produção de etanol. A partir da publicação deste zoneamento iniciou-se uma discussão sobre a possibilidade do aumento da produção de cana-de-açúcar e de etanol combustível no estado. Para auxiliar nesta discussão, este trabalho propõe um modelo de dinâmica de sistemas que aborda o relacionamento entre as principais variáveis que compõem a cadeia de produção do etanol hidratado. Através de simulações, realizadas com o software VENSIM, envolvendo diferentes valores de produtividade de cana-de-açúcar e da alíquota de ICMS para o etanol hidratado, obtemos diferentes cenários para o crescimento da área colhida de cana-de-açúcar no Rio Grande do Sul com base no retorno financeiro dos produtores.

A análise dos cenários levantados mostrou que a produção de cana-de-açúcar no Rio Grande do Sul, com os atuais níveis de produtividade e com a atual alíquota de ICMS para o etanol hidratado combustível não é economicamente viável a longo prazo. As simulações do modelo mostraram que, mesmo no cenário mais favorável, considerando aumento de produtividade, redução na alíquota de ICMS e aumento do preço da gasolina, ainda haveria oscilações e instabilidade para o aumento de área plantada de cana-de-açúcar.

## **ABSTRACT**

Brazilian use of sugar cane ethanol in its energy matrix has been gaining international recognition. With a growing fleet of flex fuel vehicles, Brazil has been building an each year greater demand for ethanol. Nevertheless, consumption levels throughout the country are not homogeneous. Far from sugar cane production centers and with one of the nations higher ethanol selling tax, state of Rio Grande do Sul is frequently pointed as the state that has the higher ethanol selling price in the country. As its price at fuel stations seldom reach a competitive price against gasoline, the demand of fuel ethanol in Rio Grande do Sul is also one of the lowest in the country, as the owners of flex-fuel vehicles rarely chose ethanol to fill their tanks. A new agricultural zoning act, published by Brazil Agriculture Ministry in 2009, included 182 Rio Grande do Sul counties as able to produce sugar cane for ethanol production. The counties listed on the zoning act can apply for official public policies, insurance and financing. Upon the publication of this zoning act a discussion began about the increasing of sugar cane and ethanol production in Rio Grande do Sul. For better understanding and analysis of sugar cane business in Rio Grande do Sul, this work purposes a system dynamics model, involving the relationship among the main variables that constitutes the fuel ethanol supply chain. Using VENSIM software, different arrangements for sugar cane productivity and fuel ethanol sales tax were simulated and different outputs for sugar cane area and ethanol production were obtained.

The analysis of the results showed that considering actual productivity and state tax on ethanol fuel levels, the production of sugar cane in the state of Rio Grande do Sul is not sustainable. Model simulations yielded, even in the most positive scenario, considering productivity increase, tax reduction and gasoline price increase, unstable and swinging behavior for acreage increase.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	7
2 OBJETIVO.....	16
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
3.1 CADEIA DE PRODUÇÃO E CADEIAS DE SUPRIMENTOS.....	17
3.2 PENSAMENTO SISTÊMICO.....	18
3.3 DINÂMICA DE SISTEMAS E MODELAGEM COMPUTACIONAL.....	25
4 MÉTODO.....	29
4.1 IDENTIFICAÇÃO DAS VARIÁVEIS CHAVES.....	29
4.2 TRAÇADO DOS PADRÕES DE COMPORTAMENTO.....	30
4.3 DESENHO DO MAPA SISTÊMICO.....	30
4.4 REALIZAÇÃO DE CENÁRIOS E MODELAGEM EM COMPUTADOR....	31
5 CARACTERIZAÇÃO DO SETOR DE ETANOL.....	32
5.1 PRODUÇÃO DE CANA DE AÇÚCAR PARA OBTENÇÃO DE ETANOL COMBUSTÍVEL.....	33
5.2 PRODUÇÃO DE CANA NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL.....	35
5.3 CUSTOS DE PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR.....	36
5.4 VALOR DA TONELADA DE CANA.....	38
5.5 REFORMA DO CANAVIAL.....	40
5.6 TRIBUTAÇÃO DO ETANOL HIDRATADO.....	41
6 RESULTADOS.....	43
6.1 CONSTRUÇÃO DO MAPA SISTÊMICO PARA O PROCESSO DE PRODUÇÃO DE CANA DE AÇÚCAR.....	43
6.2 TRANSCRIÇÃO DO MAPA SISTÊMICO PARA UM MODELO DE DINÂMICA DE SISTEMAS.....	48
6.3 DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS CRÍTICAS DENTRO DO MODELO DE DINÂMICA DE SISTEMAS.....	54
6.4 SIMULAÇÃO DO MODELO DE DINÂMICA DE SISTEMAS UTILIZANDO O SOFTWARE VENSIM.....	55
7 CONCLUSÃO.....	65
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	67

REFERÊNCIAS.....	69
ANEXO 1-A.....	73
ANEXO 1-B.....	74
ANEXO 2.....	75

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1:	Evolução da demanda de combustíveis no Brasil.....	9
FIGURA 2:	Evolução das vendas de veículos flex-fuel no Brasil.....	10
FIGURA 3:	Letreiro com os dizeres “Brazil has the technology to run all of its cars on green biofuel”. Aeroporto de London City, novembro/2007.....	11
FIGURA 4:	Concentração da produção de cana-de-açúcar em dois clusters regionais.....	12
FIGURA 5:	Gráfico da demanda etanol hidratado x produção de cana-de-açúcar.....	12
FIGURA 6:	Gráfico da demanda etanol hidratado x produção de cana-de-açúcar – escala ampliada.	13
FIGURA 7:	Relação de Preços entre o etanol hidratado e a gasolina.....	14
FIGURA 8:	Gráfico da relação de preços entre o etanol anidro e a gasolina C nos postos de combustível do Rio Grande do Sul.....	14
FIGURA 9:	Quadro comparativo Pensamento Sistêmico x Pensamento Mecanicista.....	20
FIGURA 10:	Notação do efeito direto e inverso da variável independente sobre a variável independente.....	22
FIGURA 11:	Enlace Reforçador.....	23
FIGURA 12:	Enlace Balanceador.....	23
FIGURA 13:	Mapa conceitual do pensamento sistêmico.....	25
FIGURA 14:	Convenções esquemáticas de um diagrama de fluxo.....	28
FIGURA 15:	Gráfico da produção de etanol no Brasil.....	32
FIGURA 16:	Gráfico da produção de cana-de-açúcar no Brasil.....	33
FIGURA 17:	Demanda de etanol hidratado e gasolina C.....	34
FIGURA 18:	Custos de produção de cana-de-açúcar de fornecedores das regiões Centro-Sul Tradicional, Centro-Sul Expansão e Nordeste, para o fechamento da safra 2010/11.....	38
FIGURA 19:	Equação para cálculo do preço da cana-de-açúcar.....	39
FIGURA 20:	Alíquotas estaduais de ICMS sobre o etanol hidratado.....	42
FIGURA 21:	Primeiro enlace reforçador.....	44
FIGURA 22:	Custos.....	44
FIGURA 23:	Valor da tonelada de cana.....	45
FIGURA 24:	Segundo enlace reforçador.....	46
FIGURA 25:	Terceiro enlace reforçador.....	47
FIGURA 26:	Enlace balanceador.....	48
FIGURA 27:	Modelo de Dinâmica de Sistemas para produção de cana-de-açúcar.....	49
FIGURA 28:	Cálculo do valor da tonelada de cana (VTC).....	51
FIGURA 29:	Cálculo da produção de etanol hidratado e market share do etanol.....	52
FIGURA 30:	Descrição das simulações 1, 2, 3 e 4.....	55
FIGURA 31:	Gráfico do resultado das simulações 1, 2, 3 e 4 para a área colhida.....	56
FIGURA 32:	Gráfico da produção de Etanol Hidratado para as simulações 1, 2, 3 e 4.....	57

FIGURA 33:	Gráfico do market share do etanol hidratado para as simulações 1, 2, 3 e 4.....	58
FIGURA 34:	Valores de produtividade inicial, alíquota de ICMS e preço da gasolina C para as simulações 5, 6, 7 e 8.....	59
FIGURA 35:	Gráfico do resultado das simulações para a área colhida com aumento do preço da gasolina.....	60
FIGURA 36:	Gráfico de produção de etanol hidratado com aumento do preço da gasolina.....	61
FIGURA 37:	Gráfico do market share do etanol hidratado com aumento do preço da gasolina.....	61
FIGURA 38:	Gráfico do resultado da simulação para a área colhida considerando o aumento do preço da gasolina, produtividade inicial de 120 ton/ha, alíquota de ICMS de 12% e incremento de novas áreas de 25 mil ha por ano.....	62
FIGURA 39:	Gráfico do resultado da simulação para a produção de etanol hidratado considerando o aumento do preço da gasolina, produtividade inicial de 120 ton/ha, alíquota de ICMS de 12% e incremento de novas áreas de 25 mil ha por ano.....	63
FIGURA 40:	Gráfico do resultado da simulação para o market share do etanol hidratado, considerando o aumento do preço da gasolina, produtividade inicial de 120 ton/ha, alíquota de ICMS de 12% e incremento de novas áreas de 25 mil ha por ano.....	64



## 1 INTRODUÇÃO

Já há alguns anos que a intensidade do uso de combustíveis fósseis para a produção de energia é fator de preocupação para humanidade, sendo que os principais impactos de sua queima em automóveis são o aumento da poluição nos centros urbanos e as alterações climáticas em todo planeta originadas pelo aumento da concentração de gases de efeito estufa. A concentração da produção de petróleo em países politicamente instáveis, suscetíveis a conflitos e interrupções de produção é outro fator gerador de grande preocupação. Por estes motivos, a continuidade do emprego da gasolina e do óleo diesel como principal fonte de energia para locomoção, fundamental para a difusão do uso dos automóveis ao longo do século XX, vem sendo amplamente discutida nos últimos anos. A busca pela substituição dos combustíveis fósseis por combustíveis de origem renovável é hoje uma tendência observada em praticamente todas as regiões do globo. Sejam movidos por interesses ambientais, econômicos, políticos ou sociais, diversos países já demonstraram interesse na substituição dos derivados de petróleo por biocombustíveis em suas matrizes energéticas. Dentre eles, os maiores destaques são os Estados Unidos e o Brasil. Juntos, estes dois países são responsáveis 89% da produção e 88% do consumo de etanol no mundo (F. O. LICHTS, 2009)

O governo norte-americano possui metas explícitas de substituição de combustíveis fósseis por biocombustíveis desde 2005, quando lançou seu primeiro padrão para combustíveis renováveis (RFS – Renewable Fuel Standard). Este documento, emitido pela Agência de Proteção Ambiental (EPA), tornou mandatória a mistura crescente de combustível renovável à gasolina até que se atingisse uma quantidade anual de 28,4 bilhões de litros em 2012. Em 2007, uma atualização deste padrão (RFS2) aumentou a quantidade de mistura para 57,6 bilhões de litros por ano em 2012, devendo crescer até 136 bilhões de litros por ano em 2022 (RABOBANK, 2012). Desde o lançamento do RFS a produção de etanol nos Estados Unidos, baseada no cultivo de milho, vem crescendo fortemente, sendo que, já em 2005, superou o Brasil, historicamente o maior produtor mundial deste biocombustível.

No Brasil, o histórico de utilização do etanol misturado à gasolina é bem mais remoto. Desde o tempo de colônia, o Brasil destaca-se pelo cultivo da cana-de-açúcar para a produção de açúcar, que continua sendo até hoje uma das principais moedas de troca do país. Além do açúcar, a cana é uma cultura muito propícia para a obtenção do etanol. Enquanto a cana-de-açúcar gera oito unidades de energia para cada unidade utilizada para produzi-la, o milho,

matéria prima do etanol norte-americano, gera pouco mais de uma unidade de energia para cada unidade utilizada em sua produção (EPE, 2008). Isso fez com que o uso do etanol nos veículos no Brasil estivesse presente praticamente desde a chegada do primeiro automóvel ao país, ainda no século XIX.

De forma oficial, a mistura de etanol à gasolina no Brasil está regulamentada desde 20/02/1931 através do decreto nº 19.717, que impunha ao importador de gasolina a aquisição de um volume etanol de origem nacional equivalente a 5% do volume importado de gasolina. Já em 1966, o governo brasileiro define, através do decreto nº 59.190, que a produção de álcool anidro, estimulada por política de elevado interesse nacional, necessita de normal escoamento, garantido mediante adição à gasolina. Este decreto delega ao Instituto do Açúcar e do Alcool a função de entrega do álcool nos centros de distribuição de combustíveis e de controle das quantidades misturadas à gasolina que poderiam chegar até 25% do volume. Ao longo da década de 1970, surgem regulamentações específicas para os estados produtores, onde há maior oferta, aumentando a quantidade mínima de mistura de etanol à gasolina para valores superiores a 10% em estados como São Paulo, Pernambuco, Alagoas e Paraná (MAPA, 2012).

Um dos benefícios obtidos com a mistura de etanol à gasolina é o aumento do poder antidetonante – capacidade de um combustível de resistir à pressão dentro do pistão sem sofrer uma auto-ignição, permitindo a utilização de maiores taxas de compressão e, por consequência, maior potência do motor. A capacidade de um combustível resistir à auto-ignição é medida através de sua comparação a um padrão. O padrão mundialmente utilizado é o iso-octano, o que conferiu à medida da capacidade de resistência à auto-ignição de um combustível o nome de octanagem. Um combustível de octanagem igual a 100, ou de 100 octanas, possui a mesma capacidade de resistir à auto-ignição do que o iso-octano. Desde o início da indústria do automóvel, um dos principais aditivos utilizados para aumentar a octanagem da gasolina era o chumbo tetraetila. O uso deste produto começou a ser descontinuado, e inclusive proibido em alguns países, devido à sua toxicidade. Devido à disponibilidade do álcool anidro para aumentar a octanagem da gasolina, o Brasil foi um dos primeiros países a banir o uso do chumbo tetraetila.

Com o aumento demanda de álcool anidro gerada pela redução do uso do chumbo tetraetila na gasolina o governo brasileiro, através do Instituto do Açúcar e do Alcool, lançou em 1975 o Programa Nacional do Alcool, também conhecido como Proálcool, visando incentivar o

aumento da produção de álcool anidro. A partir daí, a quantidade de álcool anidro misturado à gasolina passou para 20% em praticamente todo território nacional.

O Proálcool ganhou ainda mais força a partir de 1979 com a elevação dos preços do petróleo. Em meio à Revolução Iraniana, Ayatollah Khomeini assume o poder do país e passa a controlar a produção de petróleo, causando uma segunda disparada nos preços do produto - potencializada pelos temores de racionamento energético nos EUA. O valor do barril chegou perto dos US\$ 40, o pico da década. No Brasil, houve aumento no custo dos combustíveis e racionamento. A dívida do País inchou com os crescentes custos da importação do petróleo. Este cenário motivou o início da segunda fase do Proálcool. Já com índices elevados de mistura de álcool anidro à gasolina, a solução encontrada pelo governo para a substituição das caras importações de gasolina pelo etanol produzido localmente foi o lançamento de veículos movidos 100% a álcool. Assim, além de misturado à gasolina, o álcool passava a ser comercializado puro nos postos de combustíveis, destinado a uma frota de veículos especialmente adaptados que cresceria até o início da década de 90. Com os preços controlados pelo governo e incentivos fiscais nas vendas de veículos, o álcool mostrava-se uma alternativa vantajosa ao consumidor, como mostra a ascensão da curva que descreve as vendas de etanol entre os anos de 1980 e 1989 na Figura 1. No ano de 1985, 96% dos veículos novos vendidos eram movidos exclusivamente a etanol (FRANK, 1996).

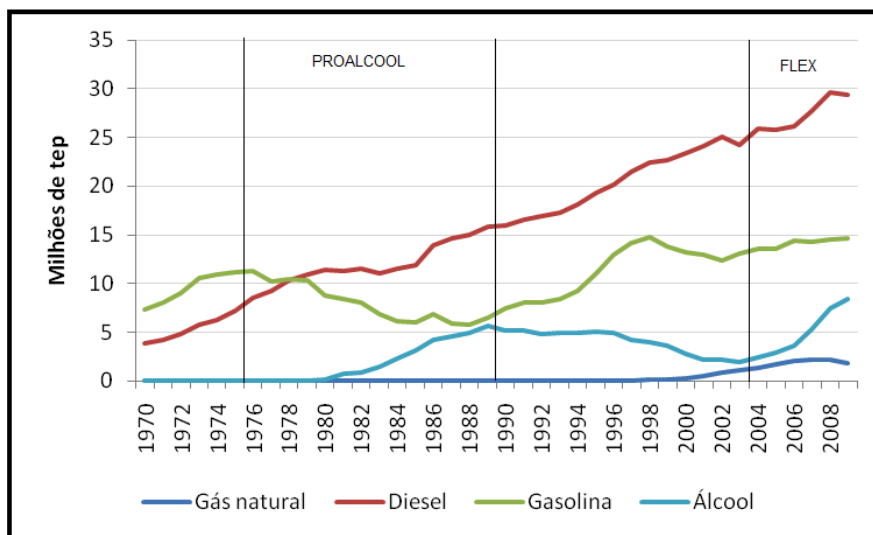


FIGURA 1: Evolução da demanda de combustíveis no Brasil.

FONTE: Balanço Energético Nacional 2009

Com a queda do preço do petróleo a partir da segunda metade dos anos 80, os baixos preços pagos aos produtores de álcool impediram a elevação da produção interna do produto. Por outro lado, a demanda pelo etanol, por parte dos consumidores, continuou sendo estimulada por meio da manutenção de preço relativamente atrativo ao da gasolina e da manutenção de menores impostos nos veículos a álcool. Essa combinação de desestímulo à produção de álcool e de estímulo à sua demanda gerou a crise de abastecimento da entressafra 1989-90. A crise de abastecimento de álcool do fim dos anos 1980 afetou a credibilidade do Proálcool, que, juntamente com a redução de estímulos ao seu uso, provocou, nos anos seguintes, um significativo decréscimo da demanda e a consequente queda nas vendas de automóveis movidos exclusivamente a álcool.

Dez anos mais tarde, no início dos anos 2000, o preço do petróleo voltou a subir e o preço do álcool voltou a ser atrativo para o abastecimento de veículos, porém, praticamente, já não mais existiam carros movidos a álcool. O consumo de etanol hidratado combustível só voltou a subir a partir da introdução dos veículos flex-fuel no mercado brasileiro de combustíveis, com o lançamento do modelo Gol Total Flex pela Volkswagen em março de 2003. São chamados de flex-fuel os automóveis ou utilitários leves, que operam com gasolina, álcool ou quaisquer misturas destes combustíveis. O usuário escolhe o combustível na hora de abastecer, considerando a disponibilidade e o custo do combustível ou o desempenho do veículo (PETROBRAS, 2010). Esta nova tecnologia veio a dar novo fôlego ao consumo interno de álcool, conquistando rapidamente o consumidor.

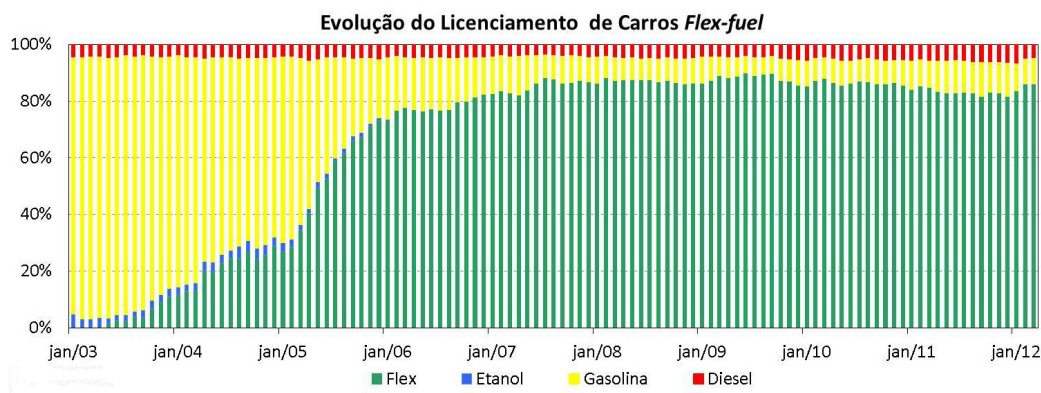


FIGURA 2: Evolução das vendas de veículos flex-fuel no Brasil.

FONTE: MME – Boletim Mensal dos Combustíveis Renováveis, abril de 2012

Com o rápido crescimento da frota de veículos flex (Figura 2), o uso do álcool hidratado como combustível automotivo voltou a crescer. Esta evolução pode ser vista na retomada do crescimento da curva que descreve a demanda de álcool a partir de 2003 na Figura 1. O uso do álcool combustível no Brasil ganhou as manchetes internacionais que destacavam a capacidade do país em fazer sua frota de automóveis rodar com combustíveis renováveis (Figura 3).



FIGURA 3: Letreiro com os dizeres “Brazil has the technology to run all of its cars on green biofuel”. Aeroporto de London City, novembro/2007

FONTE: Acervo pessoal

Apesar do etanol produzido no Brasil, a partir da cana-de-açúcar, ser apontado como o biocombustível mais viável economicamente em todo o mundo e o país estar em destaque no cenário internacional por apresentar uma das maiores proporções de combustíveis renováveis em sua matriz energética, a produção e a utilização do etanol nos diferentes estados brasileiros estão longe de ser homogêneas. A produção de etanol está concentrada nas regiões produtoras de cana-de-açúcar (Figura 4), fazendo com que custos logísticos e diferentes cargas tributárias causem distorções de oferta e preço em diferentes regiões do Brasil.

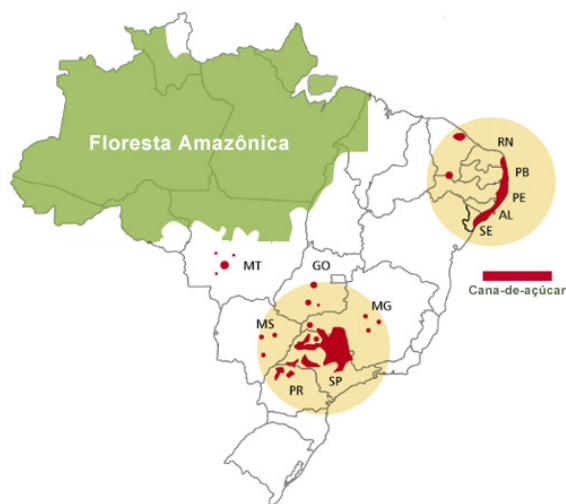


FIGURA 4: Concentração da produção de cana-de-açúcar em dois clusters regionais.

FONTE: UNICA (2011)

O maior consumo de etanol hidratado está concentrado nos estados produtores de cana de cana-de-açúcar. O estado de São Paulo, sozinho, concentra 58% da produção nacional de cana-de-açúcar e 60% do consumo de etanol hidratado (Figura 5).

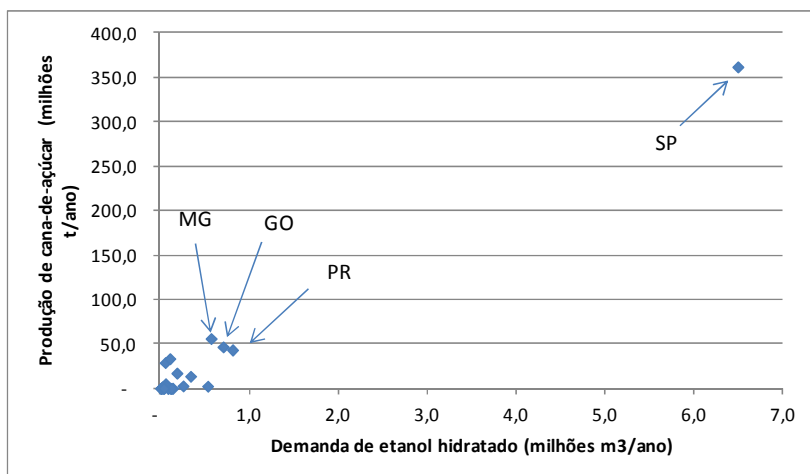


FIGURA 5: Gráfico da demanda etanol hidratado x produção de cana-de-açúcar

FONTE: Elaborado pelo autor com dados de ANP (2011) e MAPA (2011).

Apesar de ter a quinta maior frota de automóveis do país, com mais de 4,5 milhões de veículos (DETRAN-RS, 2010), o estado do Rio Grande do Sul possui um dos menores consumos de etanol hidratado do país (Figura 6). Com uma produção de apenas 2 mil metros cúbicos anuais (MAISTRO, 2011), a maior parte do etanol hidratado consumido no Rio Grande do Sul é produzida em São Paulo e os custos logísticos, que envolvem transporte rodoviário e ferroviário, encarecem o produto, retirando parte de sua competitividade em relação à gasolina. Outro fator que encarece o etanol hidratado é a alíquota de ICMS. Enquanto que em estados produtores de cana-de-açúcar, como São Paulo e Paraná, a alíquota do ICMS é de 12% e 18% respectivamente, no Rio Grande do Sul ela é de 25%.

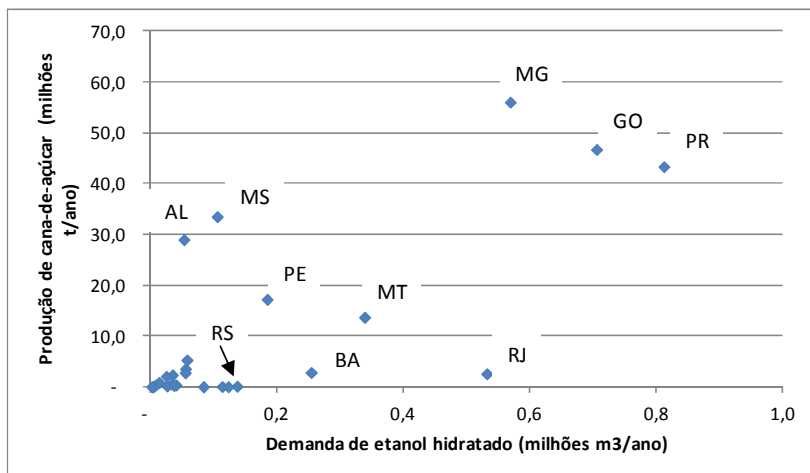


FIGURA 6: Gráfico da demanda etanol hidratado x produção de cana-de-açúcar – escala ampliada

FONTE: Elaborado pelo autor com dados de ANP (2011) e MAPA (2011).

A relação de preços entre o etanol hidratado e a gasolina (Figura 7) mostra o quanto o etanol representa do preço da gasolina C. Considerando a diferença entre o poder calorífico dos componentes de cada combustível e o fator de desempenho médio dos motores, quando o etanol representar menos de 0,7 (ou 70%) do preço da gasolina C, ele passa a ser mais viável economicamente. A relação de preços entre o etanol hidratado e a gasolina C nos últimos anos nos postos de combustíveis no Rio Grande do Sul raramente ficou abaixo de 0,7 (Figura 8).

$$\text{Relação de Preço} = \frac{\text{preço do etanol hidratado ao consumidor}}{\text{preço da gasolina C ao consumidor}}$$

FIGURA 7: Relação de Preços entre o etanol hidratado e a gasolina

FONTE: Elaborado pelo autor

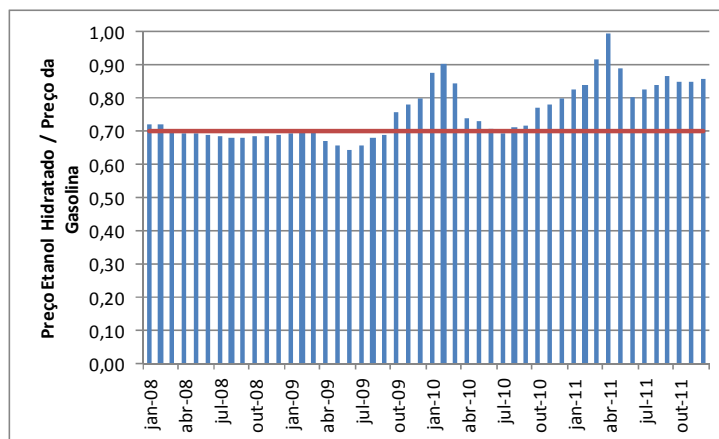


FIGURA 8: Gráfico da relação de preços entre o etanol anidro e a gasolina C nos postos de combustível do Rio Grande do Sul

FONTE: Elaborado pelo autor com dados de ANP (2011)

Levando isto em consideração, frequentemente a utilidade e a conveniência dos veículos flex-fuel são questionadas no Rio Grande do Sul: o consumidor acaba adquirindo um produto que lhe dê uma opção de abastecimento, mas esta opção raramente pode ser exercida devido à diferença de preços entre os combustíveis (HAMMES 2006, HAMMES 2011, SFREDO, 2011, COLUSSI 2011, COLUSSI 2012).

Em 2009, o governo brasileiro, através do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, publicou uma portaria aprovando o zoneamento agrícola da cana-de-açúcar para o Rio Grande do Sul. A Portaria nº 54 daquele ano relaciona os tipos de solo aptos à produção, divulga tabela de períodos indicados para o plantio e dispõe sobre os requisitos das cultivares indicadas para a região. São 182 municípios considerados aptos para o cultivo de cana de açúcar com fins de produção de etanol e açúcar e 216 municípios autorizados a plantar cana para outros fins. Em função da publicação do zoneamento, os produtores dos municípios indicados poderão contar com políticas públicas oficiais, financiamento e seguros



agrícolas, caso sejam necessários. Esperava-se que, com o zoneamento, a capacidade produtiva do estado fosse ampliada. Além do zoneamento da cana-de-açúcar, resultados promissores de pesquisas com novas variedades de plantas também trazia boas expectativas para o aumento da produção de cana do estado (EMBRAPA, 2012).

## 2 OBJETIVO

O anúncio do aumento da produção de cana-de-açúcar no estado do Rio Grande do Sul sempre causa grande repercussão na sociedade, uma vez que carrega junto a expectativa dos consumidores em encontrar preços mais baixos nas bombas de combustível. Levando em consideração esta expectativa de aumento de área plantada de cana-de-açúcar no estado do Rio Grande do Sul e que a produtividade das lavouras e a carga tributária sobre o etanol hidratado combustível são peças chave nesta discussão, fez-se o seguinte questionamento: **como a evolução da área plantada de cana-de-açúcar no estado do Rio Grande do Sul responde à diferentes combinações de produtividade e de alíquota de ICMS para o etanol hidratado combustível?**

O objetivo deste trabalho é analisar as relações entre as principais variáveis que atuam sobre a cadeia de produção do etanol hidratado e como a combinação destas pode retrair ou expandir a área plantada de cana-de-açúcar no estado do Rio Grande do Sul.

Por meio da parametrização e simulação do comportamento das diferentes variáveis que compõem a cadeia produtiva do etanol, buscou-se identificar em quais condições a produção de cana-de-açúcar para obtenção de etanol hidratado combustível no estado do Rio Grande do Sul poderia apresentar-se economicamente viável a longo prazo.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 CADEIAS DE PRODUÇÃO

O conceito de cadeia de produção começou a ser aplicado para sistemas agroindustriais com a definição do conceito de *agribusiness* por John Davis e Ray Goldberg, em 1957. Segundo estes dois pesquisadores de Harvard, *agribusiness* é “soma das operações de produção e distribuição de suprimentos agrícolas, das operações de produção nas unidades agrícolas, do armazenamento, processamento e distribuição dos produtos agrícolas e itens produzidos a partir deles”. A partir da definição de *agribusiness*, em um trabalho posterior, Goldbergh utiliza pela primeira vez a noção de *commodity system approach* (CSA). Os trabalhos de Goldberg buscavam incorporar certo aspecto dinâmico através da consideração das mudanças que ocorrem no sistema ao longo do tempo. Este enfoque dinâmico é ressaltado pela importância assumida pela tecnologia como agente indutor destas mudanças. A sucessão de etapas produtivas e o aspecto tecnológico são também bastante enfatizados pela *analyse de filiere*, noção de cadeia de produção agroindustrial (CPA) desenvolvida na década 60 pela escola industrial francesa.

Uma cadeia de produção é definida a partir da identificação de determinado produto final, sendo uma sucessão de operações de transformação dissociáveis, capazes de ser separadas e ligadas entre si por um encadeamento técnico. A cadeia de produção é também um conjunto de relações comerciais e financeiras que estabelecem, entre todos os estados de transformação, um fluxo de troca entre fornecedores e clientes. A cadeia de produção é um conjunto de ações econômicas que presidem a valoração dos meios de produção e asseguram a articulação das operações (BATALHA, 1997).

Uma cadeia de produção agroindustrial pode ser dividida em, basicamente, três macrosssegmentos: comercialização, industrialização e produção de matérias primas. Uma cadeia de produção é definida a partir da identificação de determinado produto final, encadeando as várias operações técnicas, comerciais e logísticas, necessárias a sua produção. As CPA não são estanques entre si, apresentando operações ou estados intermediários de produção comuns a várias CPA que compõem o complexo agroindustrial no qual estão inseridas. Um complexo agroindustrial tem como ponto de partida determinada matéria-prima de base. A arquitetura deste complexo agroindustrial seria ditada pela explosão da matéria-

prima principal que o originou, segundo os diferentes processos industriais e comerciais que ela pode sofrer até se transformar em diferentes produtos finais. Estas operações comuns dentro do complexo agroindustrial são muito importantes do ponto de vista estratégico, pois representam lugares privilegiados para a obtenção de sinergias dentro do sistema, além de funcionarem como pontos de partida eficientes para a diversificação das firmas.

Dentro de uma cadeia de produção agroindustrial típica podem ser visualizados no mínimo quatro mercados com diferentes características: mercado entre produtores rurais e agroindústria, mercado entre agroindústria e distribuidores e, finalmente, mercado entre distribuidores e consumidores finais.

O posicionamento da firma dentro do sistema agroindustrial, bem como o da concorrência, é facilmente identificável através da observação das operações pelas quais a firma é responsável no conjunto das atividades necessárias à elaboração do produto final. O sistema agroindustrial (SAI) pode ser considerado o conjunto de atividades que concorrem para a produção de produtos agroindustriais, desde a produção dos insumos (sementes, adubos, máquinas agrícolas etc.) até a chegada do produto final ao consumidor (BATALHA, 1997).

### 3.2 PENSAMENTO SISTÊMICO

O mundo complexo é ricamente interconectado, exigindo uma visão do todo, de sua rica interconexão e da força de nossos modelos mentais na raiz de tudo. Uma forma alternativa de abordar os problemas é necessária. Uma forma que permita enxergar o todo, os relacionamentos, que não seja reducionista, que enxergue o contexto, que reconheça a história, que permita ultrapassar a crise de percepção originada pela forma cartesiana de pensar. Nesse sentido amplo movimento ocorre desde os primórdios do Século XX em diferentes áreas, e chega à gestão no final desse século. As organizações mecanicistas já não são suficientemente flexíveis e adaptativas aos novos tempos (ANDRADE et al., 2006).

Desde pequenos somos ensinados que cada evento possui uma causa que, por sua vez, é um efeito de outra causa anterior. Tal explicação baseada em eventos pode se estender indefinidamente em uma contínua e linear cadeia de causas e efeitos, até que se chegue à causa inicial ou, mais provavelmente, se desista na metade do caminho. Esta visão de mundo orientada por eventos nos conduz a uma abordagem orientada por eventos para solucionar problemas. O problema desta abordagem linear para a solução de problemas é não considerar

que o sistema como um todo reage à solução – o resultado de nossas ações define uma situação que teremos de encarar no futuro. Esta nova situação altera a abordagem do problema, e as decisões que tomaremos no futuro. A solução do passado se torna o problema do presente (STERMAN 2000).

Segundo Peter Senge (2006), o pensamento sistêmico é uma estrutura conceitual, um corpo de conhecimento e ferramentas que vem se desenvolvendo ao longo dos últimos cinquenta anos, esclarecendo a compreensão de padrões complexos e nos indicando como podemos alterá-los com eficiência.

As características que o Pensamento Sistêmico incorporou ao longo desses anos de estudo nos levaram a perceber o mundo de uma maneira específica e a tentar a resolver os problemas desta maneira. Abaixo vemos um quadro comparando a abordagem do Pensamento Sistêmico com o pensamento mecanicista tradicional (Figura 9).

	PENSAMENTO MECANICISTA	PENSAMENTO SISTÊMICO
DAS PARTES PARA O TODO	O processo analítico é função primordial. Decomposição do todo em partes menores de mais simples compreensão.	Maior ênfase ao todo do que à parte. Estabelecimento de fronteiras de sistema e inclusão de relacionamentos com o ambiente e com outros sistemas.
DOS OBJETOS PARA OS RELACIONAMENTOS	Ênfase nos objetos, pouco atento ao relacionamento entre eles.	Busca de um entendimento da realidade não por meio de coleções de objetos, mas por meio de redes de relacionamento incorporadas em redes maiores.
DAS HIERARQUIAS PARA AS REDES	Objetos são decompostos hierarquicamente em partes, que são novamente decompostos em partes menores, inferiores dentro da hierarquia.	Deslocamento da atenção de um lado para outro entre níveis sistêmicos, por meio de uma ampla rede de relações. Uma série de descrições interconectadas de fenômenos é construída por meio da descrição do funcionamento da rede, na medida em que percebemos a realidade como relacionamentos.
DA CAUSALIDADE LINEAR PARA A CIRCULARIDADE	O entendimento da realidade científica passa do levantamento de dados para o reconhecimento de padrões, e daí para explicações causais dos fenômenos.	Busca um entendimento integral da realidade por meio dos fluxos circulares, em vez de apenas por meio de relações lineares de causa e efeito.

DA ESTRUTURA PARA O PROCESSO	A estrutura de um sistema complexo é o influenciador fundamental do funcionamento dos seus processos. São os processos fundamentais que estabelecem padrões de organização e que acabam por se materializar em uma estrutura.	Busca essencial do entendimento dos processos subjacentes que organizam um padrão, e que, por fim, dão origem a uma estrutura materializada. Toda estrutura é vista como a manifestação de processos subjacentes, em um pensamento de processo, que considera a natureza dinâmica da realidade.
DA METÁFORA MECÂNICA PARA A METÁFORA DO ORGANISMO VIVO E OUTRAS NÃO-MECÂNICAS	A metáfora mecanicista para a compreensão e construção de organizações começa a dar sinais de esgotamento quando vivemos em um mundo cada vez mais interconectado, dinâmico e em mudança	O “sistema vivo” tem se mostrado uma metáfora útil na compreensão da nova ciência, pois conceitos como contexto, ambiente, relações, mutualidade, fluxos, fronteiras permeáveis, processos, desenvolvimento e evolução são muito mais próximos dos objetos de estudo da biologia e ecologia do que das máquinas.
DO CONHECIMENTO OBJETIVO PARA O CONHECIMENTO CONTEXTUAL E EPISTÊMICO	Campo da experiência independente dos interesses e emoções do observador individual. Conhecimento obtido por métodos acordados por diversos especialistas, em que as subjetividades são apartadas do processo.	O próprio entendimento sobre o processo de conhecimento tem que ser incluído explicitamente na descrição dos fenômenos. Como os pressupostos relacionados ao processo de conhecimento, suas teorias, modelos e formas de mensuração dependem do paradigma em uso, e como há diferentes paradigmas disponíveis, precisa-se explicitamente declarar sua epistemologia em uso. A epistemologia é parte do processo de observação e, ao mesmo tempo, o influencia.
DA VERDADE PARA AS DESCRIÇÕES APROXIMADAS	Busca da verdade.	Busca de descrições aproximadas úteis dentro de um contexto.
DA QUANTIDADE PARA A QUALIDADE	Ênfase na mensuração quantitativa dos objetos.	Como relacionamentos, formas e padrões são difíceis de serem mensurados, torna-se necessária uma atitude mais flexível, envolvendo visualização e mapeamento.
DO CONTROLE PARA COOPERAÇÃO, INFLUENCIAÇÃO E AÇÃO NÃO-VIOLENTA	Atitude de dominação e controle da natureza, incluindo os seres humanos.	Comportamento cooperativo e de não-violência, tanto na ciência quanto na tecnologia, nas organizações e na sociedade.

FIGURA 9: Quadro comparativo Pensamento Sistêmico x Pensamento Mecanicista

FONTE: adaptado de ANDRADE et al. (2006)

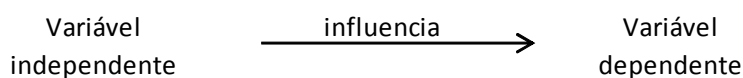
A chave para a compreensão da realidade sistêmica é enxergar círculos de influência ao invés de linhas retas. Este é o primeiro passo para quebrar a postura reativa oriunda do pensamento linear. Cada círculo conta uma história. Seguindo os fluxos de influências, podemos visualizar

padrões que se repetem de tempos em tempos, trazendo resultados melhores ou piores (SENGE, 2006).

Nesse sentido, as ideias sistêmicas são expressas em uma linguagem própria, uma linguagem que satisfaz as necessidades de pensar sistematicamente, levando-nos a pensar mais nas partes do que no todo, enfatizando mais os relacionamentos que os objetos, promovendo o entendimento da realidade mais como redes do que como hierarquias, permitindo ver círculos maiores de causalidade, focalizando a dinâmica e os processos subjacentes em vez de uma estrutura estática.

Usualmente nos referimos a efeitos colaterais como se fossem feições da realidade, quando, na realidade, não existem efeitos colaterais, apenas efeitos. Quando tomamos uma ação ocorrem diversos efeitos. Os efeitos que antecipamos, ou são benéficos, chamamos de principais ou efeitos esperados. Os efeitos que não antecipamos, que vão contra nossos objetivos, os efeitos que prejudicam o sistema, são os efeitos a que nos referimos como colaterais. Efeitos colaterais não são feições da realidade e sim um sinal de que nosso entendimento sobre o sistema é curto e falho (STERMAN, 2000).

A linguagem sistêmica utiliza-se de poucos símbolos, suficientes para representar as variáveis de um sistema e o relacionamento entre elas. Variáveis são partes ou elementos componentes de um sistema, são os elementos centrais da linguagem sistêmica. Certas variáveis afetam ou influenciam outras, evidenciando a existência de relações de causa e efeito. As variáveis relacionam-se aos pares, de maneira que variações na variável causadora (ou independente) provocam variações na variável efeito (ou dependente). Um mapa construído a partir das relações de causa e efeito é capaz de nos mostrar uma visão do todo de um sistema, bem como nos leva a enxergar esse todo principalmente a partir dos relacionamentos. Formam-se redes de relações de causa e efeito, que mapeiam a estrutura do todo (ANDRADE et al., 2006).



As variáveis à esquerda da seta provocam mudanças nas variáveis da direita. Esta influência pode ser diretamente proporcional, como um aumento na produção provocando um aumento no estoque, como também pode ser de proporcionalidade inversa, como um aumento na

produção provocando uma redução na ociosidade das máquinas. Na figura 10 vemos um exemplo da notação para as proporcionalidades diretas e inversas.

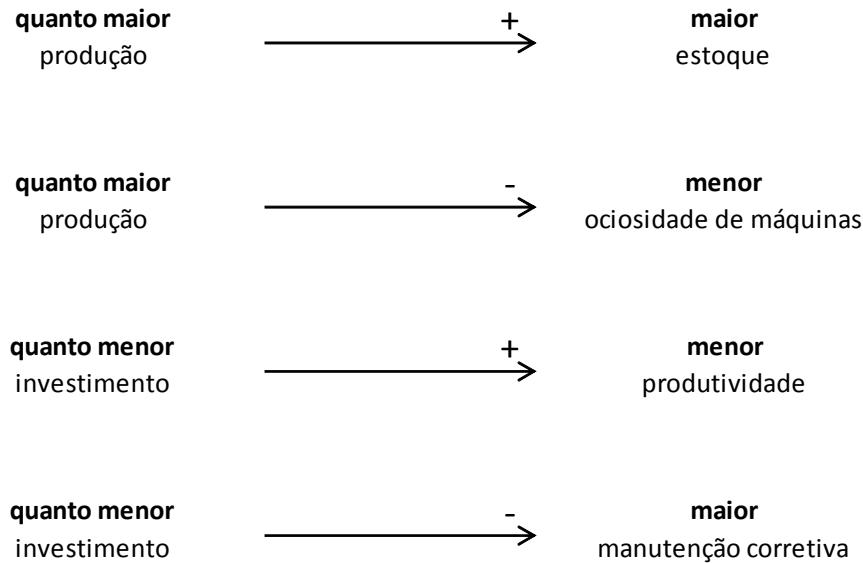


FIGURA 10. Notação do efeito direto e inverso da variável independente sobre a variável dependente.

FONTE: adaptado de ANDRADE et al. (2006)

Um mapa construído a partir das relações de causa e efeito é capaz de nos mostrar uma visão do todo de um sistema, bem como nos leva a enxergar esse todo a partir dos relacionamentos. Formam-se redes de relações de causa e efeito que mapeiam a estrutura do todo.

Dentro da linguagem sistêmica, duas figuras são importantes para a visualização de círculos maiores de causalidade: os enlaces reforçadores e os enlaces balanceadores. No enlace reforçador, uma variável importante acelera-se com crescimento ou colapso exponencial. Os enlaces reforçadores são os responsáveis por situações em que as mudanças apóiam-se em si mesmas. Pequenas mudanças são amplificadas e transformam-se em grandes mudanças. Por outro lado, quando temos um movimento em direção a um alvo, ou então oscilação fluando em torno de um alvo único, ocorre o chamado enlace equilibrador ou balanceador. Enlaces equilibradores são os tipos de estrutura que promovem a estabilidade, a resistência ou os



limites. Geram as forças de resistência que limitam o crescimento, evitando que os sistemas percam o seu equilíbrio natural (ANDRADE et al., 2006).

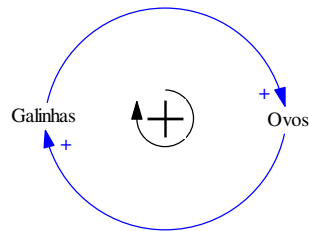


FIGURA 11. Enlace Reforçador.

FONTE: adaptado de STERMAN et al. (2000)

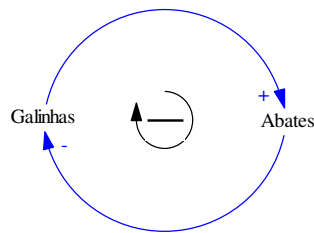


FIGURA 12. Enlace Balanceador.

FONTE: adaptado de STERMAN et al. (2000)

O Pensamento Sistêmico nos ajuda a mapear a dinâmica de um sistema a partir de enlaces de reforço e de equilíbrio atuando intricada e simultaneamente para gerar a complexidade de sua realidade. O mapa sistêmico nos comunica a dinâmica estrutural, e o comportamento de um sistema é um exercício de modelagem de como se acredita que o mundo funciona sistematicamente. Pela dinâmica das inter-relações entre as variáveis-chave geram-se padrões de comportamento futuro, que são na verdade, cenários que se configurarão se aquelas forças continuarem atuando tal como mapeadas ou simuladas. A aprendizagem obtida pela aplicação

do método sistêmico e a compreensão da interação dos nossos modelos mentais nos dão a segurança de que estamos no caminho das soluções sustentáveis.

É importante, porém, lembrarmos que um mapa sistêmico é um modelo e, como todo modelo, por definição, é sempre simplificado e incompleto. Muitas outras forças externas e internas à organização podem emergir no futuro e modificar o padrão de comportamento de variáveis-chave que se encontram no mapa. Pelas suas inter-relações, um novo padrão de desempenho emergiria do nosso sistema. Novas variáveis podem se mostrar relevantes a partir de determinado momento e podem ser agregadas ao mapa. O mundo é interconectado. Não conseguimos mapear todos os enlaces potenciais de reforço e equilíbrio, até mesmo pela limitação dos nossos modelos mentais (ANDRADE et al., 2006).

DOLCI, BERGAMASCHI e VARGAS (2008) estudaram o relacionamento entre as principais teorias e metodologias ligadas à estruturação do pensamento sistêmico, através da elaboração de um mapa conceitual (Figura 13). O material analisado por eles permitiu a construção de uma proposta de integração dos conceitos existentes e os respectivos autores sobre pensamento sistêmico.

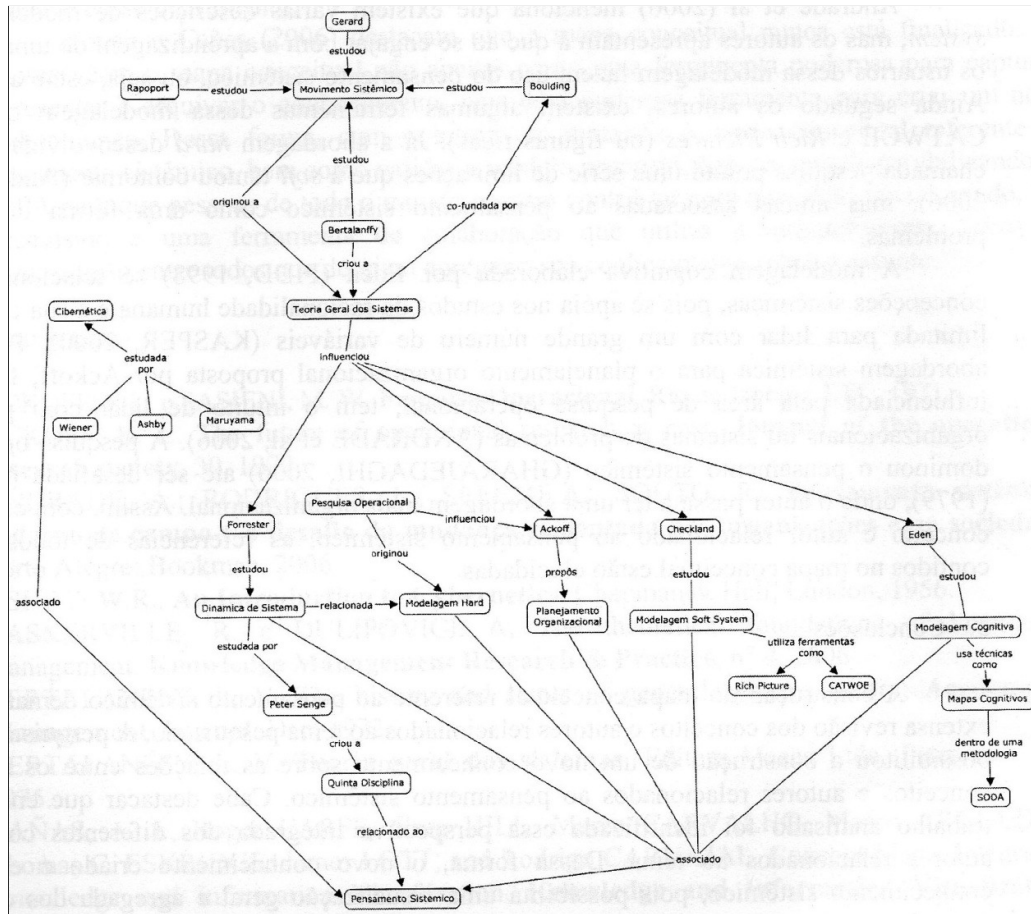


FIGURA 13. Mapa conceitual do pensamento sistêmico

FONTE: DOLCI (2008)

### 3.3 DINÂMICA DE SISTEMAS E MODELAGEM COMPUTACIONAL

A modelagem computacional é uma das ferramentas do Pensamento Sistêmico que adicionam aprendizagem ao processo. Por meio da modelagem computacional, constroem-se micromundos do sistema real, de maneira que se possam avaliar as consequências das ações no tempo e no espaço. O micromundo simula a passagem do tempo, permitindo uma aprendizagem experiencial menos arriscada e difícil do que aquela realizada no mundo real.

A modelagem computacional trata de partir de um modelo qualitativo (o mapa sistêmico) para um modelo quantitativo (o modelo computacional). Para esse processo usam-se as técnicas do campo de conhecimentos da Dinâmica de Sistemas. A modelagem em Dinâmica de Sistemas

consiste basicamente em representar os processos de um sistema que definem seu comportamento. Desenvolver modelos de estruturas de processos de sistema é essencialmente reconhecer os fluxos que convertem recursos em diferentes estados. Implica reconhecer, no mapa sistêmico, os recursos que estão fluindo através das setas, e em quais diferentes estados esses recursos poderão se encontrar (ANDRADE et al., 2006).

O primeiro modelo de simulação construído para o estudo do comportamento dinâmico de uma cadeia de suprimentos foi o estudo seminal de Jay Forrester (FORRESTER, 1961). Apesar de mencionado por muitos autores e consultores nos últimos trinta anos, os insights de Forrester talvez ainda não tenham recebido a devida atenção. Muitas ideias de origem supostamente recente podem ser relacionadas com o modelo de Forrester se as relações entre dinâmica de sistemas e a reengenharia dos processos for propriamente compreendida (TOWILL, 1997).

Análises de sistemas dinâmicos vem sendo realizadas há muitos anos através de diferentes métodos, como a análise de séries temporais e vários tipos de modelagem estatísticas. Um método ainda pouco utilizado no Brasil para a representação e análise de sistemas dinâmicos é a dinâmica de sistemas (*Systems Dynamics – SD*), desenvolvida na década de 70 por uma equipe do MIT com a finalidade de abordar problemas socioeconômicos e tecno-sociais. A dinâmica de sistemas está baseada na ubiquidade dos processos de feedback nas interações humanas: considerando um elevado nível de abstração um sistema socioeconômico ou tecno-social pode ser modelado como uma estrutura de feedback, cujo complexo comportamento é gerado pela interação de vários (possivelmente não-lineares) loops ao longo do tempo (PFAHL, 2000).

Muito da arte da modelagem de sistemas dinâmicos encontra-se na definição e representação dos enlaces balanceadores e reforçadores (feedbacks), que, juntamente com as estruturas de estoque e fluxo, atrasos de tempo e não-linearidades, determinam a dinâmica de um sistema. Apesar de existirem apenas dois tipos de enlaces, a interação entre eles pode se tornar complexa. Podemos pensar intuitivamente no comportamento de um enlace isolado, mas quando múltiplos enlaces interagem, a predição da dinâmica do sistema não é trivial. Nestas situações, a simulação computacional é frequentemente utilizada para a dedução do comportamento dos sistemas (STERMAN, 2000).

A complexidade de nossos modelos mentais excede nossa capacidade de compreender suas implicações. A maior parte dos modelos conceituais são muito grandes e complexos para

realizarmos uma simulação mental. Sem a simulação por computadores até mesmo os melhores modelos conceituais só podem ser testados e melhorados através de respostas apresentadas por situações reais. Estas respostas são muito lentas e muitas vezes a experimentação é praticamente impossível ou os custos para a realização de experimentos é muito elevado. Nestas circunstâncias a simulação se torna a única maneira confiável de testar hipóteses e avaliar os efeitos das alterações propostas ao sistema (STERMAN, 2000).

Segundo PFAHL e LEBSANFT (2000), o uso de apenas intuição e experiência geralmente não é eficiente para a compreensão das implicações dinâmicas de diversos enlaces que se inter-relacionam através da estrutura do sistema. Quando ocorrem problemas, seus diagnósticos não são triviais. As pessoas geralmente falham ao pensar em termos de relações circulares de causa e efeito, confundindo sintomas e causas. Como consequência, as políticas de correção implementadas geram resultados pobres por três razões principais:

- o tratamento dos sintomas não aborda as causas estruturais do problema;
- sistemas de feedback resistem a políticas de mudança através de mecanismos internos de compensação;
- efeitos de longo prazo podem ser muito diferentes dos efeitos de curto prazo, fazendo com que a política implementada possa até agravar o problema com o tempo.

A solução sustentada pelos estudiosos de sistemas dinâmicos é a construção de modelos formais (matemáticos) e a realização intensiva de simulações. Os modelos formais capturam os mecanismos de feedback mais importantes que geram os padrões de comportamento do sistema real. A análise das simulações proporciona um melhor entendimento da dinâmica do problema e a possibilidade da descoberta experimental de políticas mais eficientes através da investigação dos efeitos de estruturas alternativas.

Os modelos de dinâmica de sistemas utilizam diagramas de fluxo como representação da estrutura dos sistemas. Um diagrama de fluxo oferece uma representação ilustrativa mais precisa, identificando explicitamente as variáveis utilizadas nas equações do modelo. Os símbolos básicos utilizados em um diagrama de fluxo de dinâmica de sistemas são mostrados na Figura 14.

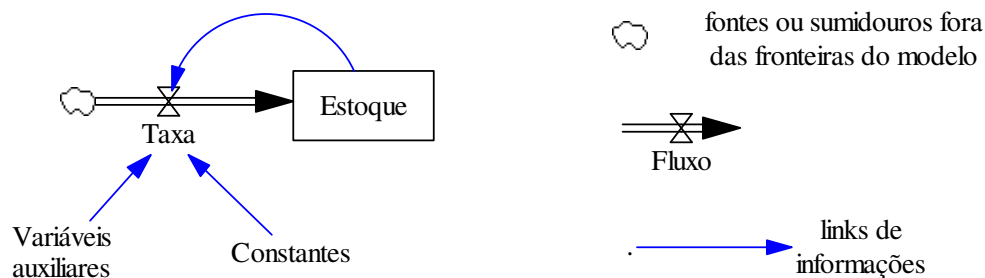


FIGURA 14. Convenções esquemáticas de um diagrama de fluxo

FONTE: Adaptado de PFAHL e LEBSANFT (2000)

O desenvolvimento de um modelo dinâmico possibilita a percepção de comportamentos ocultos de cada stakeholder e proporciona a habilidade de identificar pontos chave de alavancagem e testa os impactos de iniciativas no desempenho ao longo do tempo, sob diferentes cenários. O modelo dinâmico proporciona a possibilidade de testar e analisar possíveis resultados de estratégias em um ambiente livre de riscos e sem comprometimento de recursos, poupando tempo e dinheiro (FINSKUD, 2002).

## 4 MÉTODO

Este trabalho está dividido basicamente em três etapas. A primeira etapa é a elaboração de um mapa sistêmico do negócio de produção de cana-de-açúcar, descrevendo as relações de causa e efeito entre seus principais componentes. A segunda etapa é a transcrição do mapa sistêmico para um modelo de dinâmica de sistemas, com a quantificação de suas variáveis e formulação das relações entre elas. A terceira etapa é a simulação matemática do modelo de dinâmica de sistemas com a utilização do software VENSIM, obtendo-se uma projeção para a expansão da produção de cana-de-açúcar para fabricação de etanol hidratado combustível no estado do Rio Grande do Sul para o horizonte de vinte anos. Diferentes simulações para diferentes valores das variáveis selecionadas resultaram em diferentes cenários para expansão da produção de cana-de-açúcar no estado do Rio Grande do Sul.

Para a elaboração deste trabalho foram tomados como base os passos do método sistêmico descritos por Andrade (2006):

- identificação das variáveis chaves
- traçado dos padrões de comportamento
- desenho do mapa sistêmico
- realização de cenários
- modelagem em computador

### 4.1 IDENTIFICAÇÃO DAS VARIÁVEIS CHAVES

Como uma primeira abordagem para a compreensão do problema e com o objetivo de identificar as variáveis mais relevantes que influenciam a produção de cana-de-açúcar no estado do Rio Grande do Sul, foi realizada uma primeira rodada de entrevistas com especialistas do setor envolvendo diferentes ramos de atividade. Foram consultados profissionais pesquisadores da EMBRAPA Clima Temperado, Gerência de Novas Tecnologias da Petrobras Biocombustíveis, Gerências de Planejamento de Marketing de Combustíveis Claros e Planejamento Estratégico da Petrobras, consultores da Informa e Safra e Mercado. O questionário utilizado como base para as entrevistas com os especialistas

encontra-se no Anexo 1-A. Esta primeira entrevista definiu as principais variáveis que estarão envolvidas no mapa sistêmico e no modelo.

#### 4.2 TRAÇADO DOS PADRÕES DE COMPORTAMENTO

Uma segunda rodada de entrevistas, com os mesmos especialistas, foi realizada no sentido de detalhar os pontos levantados durante a primeira entrevista. Nesta segunda entrevista buscou-se levantar novas variáveis importantes dentro do sistema, visualizar como as variáveis se relacionam e estabelecer os enlaces reforçadores e balanceadores que irão compor o mapa sistêmico. As questões que serviram como base para esta segunda entrevista encontram-se no Anexo 1-B.

Em paralelo à realização das entrevistas, foi feita uma coleta de dados para compor séries históricas das variáveis e o desenho dos padrões de comportamento, buscando o entendimento do comportamento de longo prazo das variáveis. Para este tipo de análise foram utilizadas fontes secundárias como o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Petrobras, Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA), União das Indústrias de Cana-de-Açúcar (UNICA), Departamento Estadual de Trânsito do Rio Grande do Sul (DETRAN-RS), Empresa de Pesquisa Energética (EPE), entre outras.

#### 4.3 DESENHO DO MAPA SISTÊMICO

O mapa sistêmico é elaborado com a identificação das relações causais entre os fatores, a partir da comparação dos dados, hipótese preliminares, intuições e conhecimento especializado a respeito das influências recíprocas, desvendando as estruturas sistêmicas. O mapa sistêmico, local onde se mapeiam as variáveis e as relações de causa e efeito entre elas, é construído a partir da linguagem sistêmica. Cria-se uma espécie de “mapa”, modelo ou representação do terreno ligado ao assunto (ANDRADE, 2006).



#### 4.4 REALIZAÇÃO DE CENÁRIOS E MODELAGEM EM COMPUTADOR

Modelagem computacional é o processo de construção de modelos em softwares de Dinâmica de Sistemas, visando o desenvolvimento de micromundos gerenciais. Neles pode-se testar estratégias e obter aprendizagens, o que, de outra forma, seria mais arriscado e mais demorado. A modelagem computacional parte de duas entradas básicas: o mapa sistêmico e os cenários. O mapa sistêmico dá uma idéia sobre o escopo de modelagem. No mapa sistêmico, determina-se o conjunto de variáveis, juntamente com seus relacionamentos, que fará parte do modelo, de acordo com os objetivos do trabalho. Os cenários identificam quais variáveis de entrada e de saída farão parte do painel de controle do modelo. A vantagem do uso do computador é a possibilidade de alterar parâmetros ou simular a passagem do tempo, além de avaliar as influências mútuas de uma maneira dinâmica. A principal função da modelagem é a possibilidade de reavaliação dos modelos mentais, uma vez que o computador oferece um local seguro para experimentações que geram aprendizagem.

A montagem do modelo de dinâmica de sistemas e as simulações matemáticas foram feitas utilizando-se o software Vensim PLE Plus for Windows Version 5.11A da Ventana Systems Inc. Este software foi escolhido dentre os programas que realizam simulações de modelos de sistemas dinâmicos por ter um custo acessível, uma interface simples e possibilitar diversas possibilidades de cálculo gerando uma razoável apresentação dos resultados.

O horizonte de tempo estudado na modelagem foi de 20 anos. Duas variáveis foram escolhidas como críticas para a avaliação do negócio de produção de cana-de-açúcar: a produtividade inicial e a alíquota de ICMS sobre a venda do etanol hidratado combustível. A partir de diferentes combinações destas duas variáveis foram gerados diferentes cenários para as variáveis de saída estudadas: área colhida e produção de etanol hidratado.

## 5 CARACTERIZAÇÃO DO SETOR DE ETANOL

### 5.1 PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR PARA A OBTENÇÃO DE ETANOL COMBUSTÍVEL

A produção da cana-de-açúcar sempre foi uma das locomotivas da economia agrícola brasileira. Desde a época colonial, o açúcar de cana é um dos principais produtos de exportação do país. O açúcar era produzido em grandes canaviais, com forte integração vertical. Por diversas décadas o açúcar foi a principal atividade econômica do Brasil. O uso energético, a partir da produção de etanol combustível, começou a ganhar mais relevância a partir do primeiro choque de preços do petróleo no início da década de 70, quando o governo incentivou a produção do etanol em substituição à cada vez mais cara gasolina importada naquela época (Figura 15). A produção de etanol de cana-de-açúcar começou a receber massivos investimentos em ciência e tecnologia, tanto com recursos públicos quanto privados. Com a maior necessidade de etanol, a produção de cana-de-açúcar também teve um forte avanço a partir do final da década de 1970 (Figura 16).

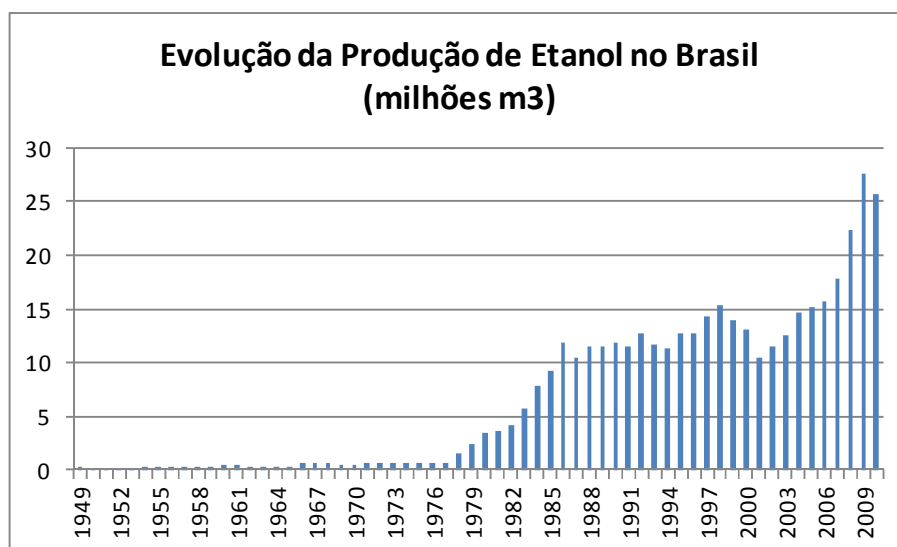


FIGURA 15. Gráfico da produção de etanol no Brasil

FONTE: Anuário Estatístico da Agroenergia – 2010 (MAPA)

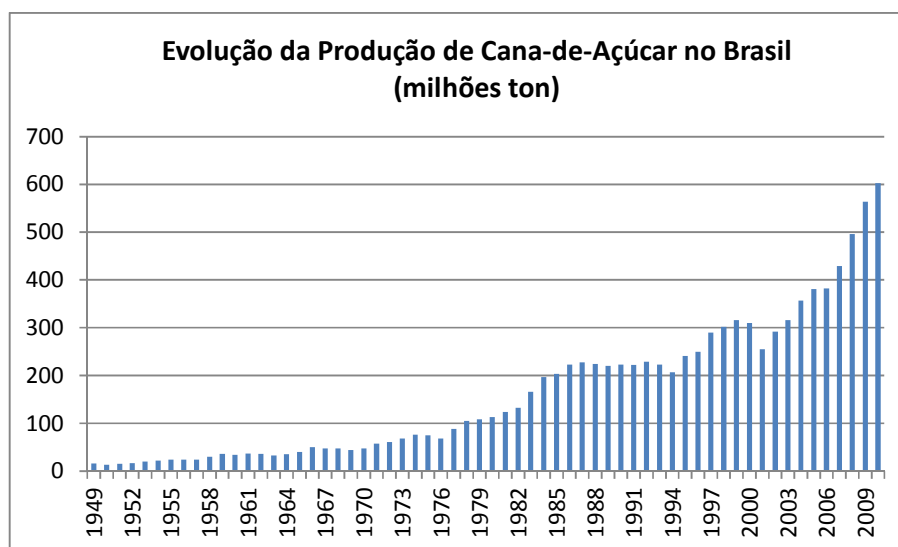


FIGURA 16. Gráfico da produção de cana-de-açúcar no Brasil

FONTE: Anuário Estatístico da Agroenergia – 2010 (MAPA)

A indústria do etanol foi fortemente regulada até o início dos anos 1990. Elaborada pelo governo militar, a lei 4870 de 1965 definia as regras do jogo desde a plantação da cana, passando pela produção do etanol até a distribuição e exportação. Os preços eram definidos para todas as etapas na cadeia de valor e uma cota de produção era designada para cada usina. Toda atividade era regulada pelo governo através do Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA), restringindo a ação de investidores e empreendedores, ficando as decisões sobre investimentos e aumento de produção atrelados à decisões políticas.

O restabelecimento da democracia, junto com a promulgação de uma nova constituição ao final da década de 1980, diminuiu a interferência do governo na economia. No início dos anos 90, o Brasil entra para o Mercosul e o governo lança o Plano Real, um passo importante para a conquista do controle sobre a inflação. A indústria sucroenergética entrou em um processo gradual de desregulamentação, iniciando com a extinção do IAA em 1990. Porém, somente em 1997 o controle sobre o preço do etanol no mercado interno foi extinto. Mesmo com a maior parte da atividade ser dirigida por empresas familiares, durante este período de transição, os setores envolvidos se tornavam cada vez mais voltados à competitividade e à lucratividade. (CHADDAD, 2010)

O ano de 2003 entrou para a história como uma das principais marcas da história do consumo de etanol combustível no Brasil. Neste ano foram lançados no mercado brasileiro de

automóveis os veículos flex-fuel. Esta tecnologia permitiu aos consumidores abastecer seus veículos com gasolina, etanol ou qualquer mistura entre eles. Isto significa que a escolha do combustível pode ser feita no posto de abastecimento, de acordo com a diferença de preços entre os dois combustíveis, permitindo ao mercado a auto regulação do preço de acordo com a oferta e a demanda. Os carros flex se popularizaram rapidamente e hoje mais de 90% das vendas de veículos novos possuem esta tecnologia (ANFAVEA, 2012). A demanda interna de etanol combustível aumentou em ritmo similar ao crescimento das vendas dos veículos flex (Figura 17).

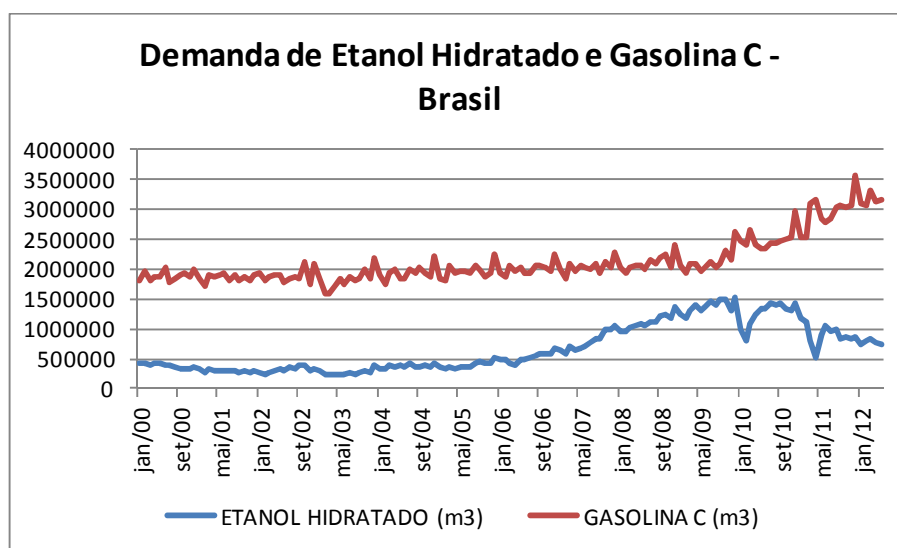


FIGURA 17. Demanda de etanol hidratado e gasolina C

FONTE: ANP (2012)

O ímpeto dos empresários e investidores do setor sucro-energético brasileiro foi freado pela crise financeira de 2008. Com a saída do capital estrangeiro do país, diversos projetos de novas usinas e expansão de capacidade foram postergados. Mais grave do que o não crescimento da produção, a falta de investimento na renovação e tratos dos canaviais, combinada com a estiagem provocada pelo fenômeno La Niña em 2010 e 2011, diminuiu a produtividade das lavouras e, por consequência, a produção de etanol, elevando os preços e reduzindo o consumo do etanol hidratado. Devido à falta de investimento nos últimos anos, a produtividade média nacional ainda levará alguns anos para retomar os valores alcançados antes de 2008.

## 5.2 PRODUÇÃO DE CANA NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

Os conquistadores portugueses trouxeram para o Brasil as primeiras mudas de cana-de-açúcar da Índia e leste asiático logo após o descobrimento do país. Os primeiros canaviais foram estabelecidos na região nordeste, onde até hoje a cana-de-açúcar é cultivada. Porém, apesar de ser o berço do cultivo da cana no país, a região nordeste representa hoje apenas 10% da produção nacional. A maior parte da produção encontra-se concentrada na região sudeste, especialmente nos estados de São Paulo, com 58% da produção brasileira e Minas Gerais, com 9%. O estado do Rio Grande do Sul está fora destes dois clusters de produção. Com apenas uma usina em operação, o Rio Grande do Sul representa menos de 0,2% da produção nacional de cana de açúcar. (MAPA, 2012).

Em 2009, o governo brasileiro, através do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, publicou uma portaria aprovando o zoneamento agrícola da cana-de-açúcar para o Rio Grande do Sul. A Portaria nº 54 daquele ano relaciona os tipos de solo aptos à produção, divulga tabela de períodos indicados para o plantio e dispõe sobre os requisitos das cultivares indicadas para a região. São 182 municípios considerados aptos para o cultivo de cana de açúcar com fins de produção de etanol e açúcar e 216 municípios autorizados a plantar cana para outros fins. Em função da publicação do zoneamento, os produtores dos municípios indicados poderão contar com políticas públicas oficiais, financiamento e seguros agrícolas, caso sejam necessários. Esperava-se que, com o zoneamento, a capacidade produtiva do estado fosse ampliada. Além do zoneamento da cana-de-açúcar, resultados promissores de pesquisas com novas variedades de plantas também trazia boas expectativas para o aumento da produção de cana do estado (EMBRAPA, 2009).

O anúncio do aumento da produção de cana-de-açúcar no estado do Rio Grande do Sul sempre causa grande repercussão na sociedade, que espera encontrar preços mais baixos nas bombas de combustível. O estado frequentemente é eleito como um dos locais com preços de etanol hidratado combustível mais caro do país. Com uma das principais demandas de combustível do país, o etanol chega ao Rio Grande do Sul com o impacto do frete do produto vindo de São Paulo e de uma das maiores alíquotas de ICMS do país. Como resultado, dificilmente o consumidor que possui um veículo flex-fuel encontra nos postos de combustível o etanol hidratado a um preço inferior a 70% do preço da gasolina (HAMMES 2006, HAMMES 2011, SFREDO, 2011, COLUSSI 2011, COLUSSI 2012).

### 5.3 CUSTOS DE PRODUÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR

A determinação dos custos de produção da cana-de-açúcar é fundamental para a avaliação da viabilidade do negócio. Os custos variam por região produtiva e impactam em todas as etapas do processo, envolvendo desde as despesas com máquinas, mão de obra, sementes e mudas, fertilizantes, defensivos agrícolas, transporte e armazenagem, entre outros. As despesas tendem ainda a ser impactadas pela restrição ao uso da terra, da água, de fertilizantes ou defensivos agrícolas, ao uso de mão de obra especializada e novas tecnologias.

Pela ótica do produtor rural, os custos agrícolas têm tomado boa parte dos ganhos que o alto preço da cana viria a proporcionar. Os custos com o arrendamento de terra têm subido fortemente nos últimos anos. Dados do PECEGE (ESALQ/USP, 2011) apontam para elevação em regiões tradicionais. Especialistas estimam uma elevação superior a 70% nos custos por tonelada de cana nos últimos cinco anos, quase o dobro da inflação acumulada no período. Em uma análise geral, o aumento dos custos logísticos, dos terrenos e dos salários, juntamente com novos investimentos em mecanização, foi responsável pela elevação em 43% no custo agrícola dos últimos cinco anos. Segundo a Orplana (Organização dos Plantadores de Cana do Centro- Sul), apenas a remuneração da terra foi responsável pela elevação de 57% no custo agrícola no mesmo período.

A expectativa para o futuro é de que os custos continuem em ascensão. O setor sucroenergético brasileiro está deixando de ser puramente agrícola para incorporar conceitos de eficiência operacional e integração logística, através do uso de ferramentas tecnológicas que demandam uma mão de obra especializada e com salários maiores. Este tem sido apontado como um dos maiores desafios a ser enfrentado pelo setor nos próximos anos. Segundo alguns especialistas do setor, caso não tivéssemos passado pela crise econômica de 2008 e consequente desaceleração da oferta, provavelmente estaríamos hoje limitados por uma falta de mão de obra no setor. Em poucos anos a produção de cana-de-açúcar no Brasil deixou de ser intensiva em mão de obra para atender uma meta ousada de mecanização que estabelece que até 2014, no estado de São Paulo, a colheita deverá estar 100% mecanizada. Desta forma, a formação de pessoal qualificado para avançar na cadeia de suprimento do etanol passa a ser determinante para o sucesso ou insucesso do negócio.

Devido ao pequeno número de produtores no Rio Grande do Sul, os dados de custo de produção de cana-de-açúcar neste estado são escassos. Por outro lado, há abundância de informação disponível para o estado de São Paulo. Um levantamento muito completo e

detalhado é realizado anualmente pelo Programa de Educação Continuada em Economia e Gestão de Empresas – PECEGE, elaborado pelo Departamento de Economia, Administração e Sociologia da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP.

A metodologia aplicada para a elaboração deste relatório segue os procedimentos delineados por Marques (2009) e Xavier et al (2009), mediante o levantamento dos custos agrícolas (cana-de-açúcar) de fornecedores autônomos e usinas, e dos custos industriais destas (produção de açúcar e etanol). Para o levantamento dos custos da safra 2010/11, 174,31 milhões de toneladas foram amostrados, em 101 unidades industriais espalhadas por 10 estados brasileiros, sendo classificadas em três regiões distintas: Centro-Sul Tradicional do país, Centro-Sul Expansão e Nordeste. De maneira geral, para o Brasil como todo, a amostra desenvolvida pelo PECEGE/CNA abrangeu 23,22% das usinas instaladas e registradas, e 28,84% da moagem de cana da safra 2010/11. Em relação aos principais produtos industriais, a amostragem representou 34,85% e 26,07% das produções nacionais de açúcar e etanol, respectivamente. A Figura 18 mostra o resultado apurado para os custos de produção de cana-de-açúcar de fornecedores nas regiões Centro-Sul Tradicional, Centro-Sul Expansão e Nordeste para o fechamento da safra 2010/2011.

Descrição	Tradicional		Expansão		Nordeste	
	RS/t	RS/ha	RS/t	RS/ha	RS/t	RS/ha
Mecanização	13,97	1.157,89	16,68	1.404,40	15,75	905,37
Mão de obra	10,02	830,25	3,05	257,16	13,38	769,29
Insumos	5,14	426,30	6,07	511,13	6,45	370,76
Fertilizantes	3,82	316,33	4,37	368,00	4,17	240,00
Corretivos	0,31	25,78	0,55	46,56	0,23	13,20
Herbicidas	0,61	50,27	1,00	84,36	1,87	107,80
Inseticidas	0,18	15,06	0,03	2,30	0,00	0,00
Outros	0,23	18,85	0,12	9,92	0,17	9,76
Arrendamento	1,21	100,30	2,36	198,75	2,52	144,97
Despesas administrativas	1,85	153,30	1,26	106,31	2,14	122,82
Contador	0,36	29,47	0,12	10,33	0,52	29,73
Tributos	0,57	47,25	0,78	65,67	0,75	43,13
Outras	0,92	76,58	0,36	30,32	0,87	49,96
<b>Custo Operacional Efetivo (COE)</b>	<b>32,18</b>	<b>2.668,04</b>	<b>29,43</b>	<b>2.477,76</b>	<b>40,23</b>	<b>2.313,21</b>
Depreciações	9,82	814,22	9,40	791,79	13,86	796,70
Formação do Canavial	6,13	507,91	7,83	659,35	11,54	663,43
- Mecanização	1,95	161,73	1,96	164,88	2,75	157,98
- Mão de Obra	0,79	65,77	1,33	112,26	2,11	121,13
- Insumos	3,38	280,42	4,54	382,22	6,68	384,33
Máquinas	2,78	230,41	1,20	101,34	1,49	85,81
Benfeitorias	0,92	75,89	0,37	31,10	0,83	47,45
Irrigação	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Remuneração do proprietário	4,21	348,68	1,27	107,19	2,41	138,55
<b>Custo Operacional Total (COT)</b>	<b>46,21</b>	<b>3.830,94</b>	<b>40,11</b>	<b>3.376,75</b>	<b>56,50</b>	<b>3.248,47</b>
Remuneração da terra	9,36	775,68	4,25	358,04	3,93	225,88
Remuneração do capital	3,76	312,10	2,65	222,77	3,63	208,54
Formação do canavial	1,29	106,66	1,41	118,68	2,08	119,42
Irrigação/fertirrigação	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Máquinas e implementos	1,37	113,72	0,60	50,58	0,64	36,60
Benfeitorias	0,67	55,33	0,27	23,10	0,65	37,10
Capital de giro – juros	0,44	36,39	0,36	30,41	0,27	15,41
<b>Custo Total (CT)</b>	<b>59,33</b>	<b>4.918,72</b>	<b>47,01</b>	<b>3.957,55</b>	<b>64,05</b>	<b>3.682,88</b>

FIGURA 18: Custos de produção de cana-de-açúcar de fornecedores das regiões Centro-Sul Tradicional, Centro-Sul Expansão e Nordeste, para o fechamento da safra 2010/11

FONTE: ESALQ/USP – PECEGE (2011)

#### 5.4 VALOR DA TONELADA DE CANA

O valor pago aos produtores de cana-de-açúcar equivale a quase 70% do custo da produção do etanol. O preço da cana adotado no Centro-Sul do Brasil é em grande parte determinado pelo sistema de pagamentos Consecana. Este sistema estabelece o preço com base na quantidade



de Açúcar Total Recuperável (ATR) – medido pelo teor de açúcares contido na cana fornecida pelo agricultor – e no preço dos seus derivados principais (açúcar e etanol) no mercado interno e externo, sendo as altas ou quedas nos preços desses produtos repassadas ao fornecedor.

Com a liberação dos preços do setor da agroindústria da cana-de-açúcar ocorrida em 1991 (lei nº 8.178, de 1 de março de 1991), todos os produtos passariam a ter seus preços formados no livre mercado. No entanto, os preços foram sendo liberados gradativamente, sendo que o preço do etanol hidratado ao produtor somente foi liberado no início de 1999. Com a preocupação de remunerar o produtor de cana-de-açúcar foi criado o sistema Consecana de Pagamento (Conselho dos Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar e Etanol do Estado de São Paulo), implantado na safra 1998/99, no estado de São Paulo e seguido por outros estados, como Alagoas, Pernambuco e Paraná.

O Consecana veio para resolver a questão da remuneração do fornecedor de cana de açúcar e, a princípio, pareceu ser bastante complexo, mas ao mesmo tempo simples, quando se associava à rentabilidade dos produtos gerados pela cana com o pagamento da mesma. Esse sistema tem passado por reformulações a fim de adequar a realidade do mercado aos custos do fornecedor. O preço da cana-de-açúcar pelo modelo Consecana é calculado pela seguinte equação:

$$\text{Preço da cana-de-açúcar} = \text{kg de ATR/t de cada produtor} * \text{Preço médio do kg de ATR da unidade industrial ou do grupo de comercialização}$$

FIGURA 19: Equação para cálculo do preço da cana-de-açúcar

FONTE: MAISTRO (2011)

O preço do kg de ATR é calculado com base na participação do custo da matéria-prima nos custos de produção do açúcar e do etanol, nos preços do açúcar e do etanol praticados nos mercados interno e externo e nos fatores de conversão do açúcar e do etanol em ATR. Para estabelecer um critério adequado de repartição da receita obtida com a venda dos produtos finais foi realizado um levantamento de todos os custos envolvidos na produção de etanol e de açúcar a fim de definir-se a participação dos custos das áreas agrícola (produção de cana-de-

açúcar) e industrial (processamento da cana e produção do açúcar e do etanol) no custo total e a parcela da receita que cada área irá receber. De acordo com os custos de produção elaborados em 2005, da receita obtida com a venda do açúcar, a área agrícola recebe 59,5%, e a área industrial 41,5% e, com a receita obtida com a venda do etanol, a área agrícola recebe 62,1%, e a área industrial 47,9%. Para o etanol hidratado o fator de conversão é 1,6913 kg de ATR por litro, ou seja, para produzir 1 litro de etanol hidratado necessita-se de 1,6913 kg de ATR. (MAISTRO, 2011)

Portanto, para calcular o preço a ser pago pela cana-de-açúcar são necessárias as seguintes informações:

- produção e comercialização de açúcar e etanol da unidade industrial (mix de produção);
- preços médios acumulados do kg de ATR divulgados pelo Consecana;
- quantidade de ATR por tonelada de cana de cada produtor.

## 5.5 REFORMA DO CANAVIAL

A reforma dos canaviais é uma prática comum e necessária no setor agrícola sucroalcooleiro. A cana-de-açúcar é considerada uma cultura semi-perene, ou seja, ela não necessita ser replantada a cada safra, porém apresenta um rendimento inferior a cada corte. A continuidade do ciclo de produção do açúcar e do álcool exige, portanto, uma renovação da lavoura de tempos em tempos a fim de que se mantenha uma produtividade média adequada e assim uma oferta compatível com as necessidades de suprimento de matéria prima da indústria. A longevidade do canavial depende basicamente das características biológicas das variedades plantadas. Estudos e pesquisas nos últimos anos têm contribuído para o aumento no ciclo de produção da cana-de-açúcar. No passado recente este ciclo era composto por uma média de três cortes, sendo que hoje em dia o ciclo mais comum é de cinco cortes (BORBA, 2009). A reforma do canavial é uma atividade complexa que envolve fatores de ordem técnica, operacional e financeira, afetando o planejamento de variedades, áreas de viveiros para as mudas, área de colheita e volume de produção para atender a demanda industrial. Sendo a renovação dos canaviais uma atividade que necessita um considerável investimento pelo produtor, o correto equacionamento do número de cortes com o rendimento adequado é de vital importância para a sustentabilidade do negócio. A falta de investimento em reforma pode

ter consequências muito prejudiciais para o negócio sucroalcooleiro, podendo interferir na produção de cana-de-açúcar por diversas safras consecutivas.

Em uma situação ideal, uma lavoura teria sua área dividida em seis áreas iguais. Uma fração teria o canavial no primeiro corte, outra no segundo corte e assim sucessivamente até o quinto corte. A sexta porção seria área de reforma, que seria preparada para uma nova plantação. Operando neste rodízio, a lavoura manteria uma produtividade média constante. Porém, principalmente por questões de dificuldades financeiras nem sempre as reformas são realizados no tempo esperado, causando modificações na produtividade média que não poderão ser corrigidas a curto prazo.

## 5.6 TRIBUTAÇÃO DO ETANOL HIDRATADO COMBUSTÍVEL

A tributação dos combustíveis produzidos no Brasil é um assunto complexo que já rendeu muito material para estudos e discussões (MAISTRO, 2011; LIMA, 2011; CAVALCANTI, 2011). Não é objetivo deste trabalho a discussão da validade, adequação ou função dos tributos vinculados aos combustíveis no Brasil e sim apenas diferenciar quais tributos incidem sobre o preço de venda e, principalmente, avaliar qual impacto eles irão exercer sobre o valor que o produtor de cana-de-açúcar irá receber com a venda de seus produtos.

Os tributos atualmente incidentes sobre as operações envolvendo as vendas de etanol hidratado combustível no Brasil são:

- Imposto sobre operações relativas à circulação de mercadorias e sobre prestações de serviços de transporte interestadual e intermunicipal e de comunicação (ICMS);
- Contribuição para o programa de integração social do trabalhador e de formação do patrimônio do servidor público (PIS/PASEP);
- Contribuição social para o financiamento da seguridade social (COFINS);

O PIS/PASEP e a COFINS são tributos federais, definidos em lei, com alíquotas específicas para combustíveis. A lei 9.971/98 em conjunto com o decreto 6573/08 estabelecem o regime especial para o recolhimento de PIS e COFINS sobre as vendas de etanol hidratado, onerando ao produtor o recolhimento de R\$ 48 por cada metro cúbico vendido, para aqueles que adotarem a alíquota específica. As alíquotas da contribuição para o PIS/PASEP e da COFINS

incidentes sobre a receita bruta decorrente da venda de álcool etílico hidratado carburante, realizada por distribuidor e revendedor varejista foram reduzidas a zero pela lei nº 10.833/2003.

O ICMS é um tributo de competência estadual cujas alíquotas são estabelecidas no âmbito do Conselho Nacional de Política Fazendária – Confaz (constituído pelos Ministros da Fazenda e do Planejamento e pelos Secretários de Fazenda dos estados e distrito federal). Alguns estados brasileiros incentivam as vendas de etanol hidratado através de diferenciação da alíquota em relação à gasolina C. A diferenciação das alíquotas de ICMS entre etanol e gasolina influencia o crescimento desigual da demanda pelo etanol hidratado nos estados da federação. As diferentes alíquotas de ICMS entre os estados são umas das principais fontes de distorção entre os preços de etanol hidratado em diferentes regiões do país (Figura 20).

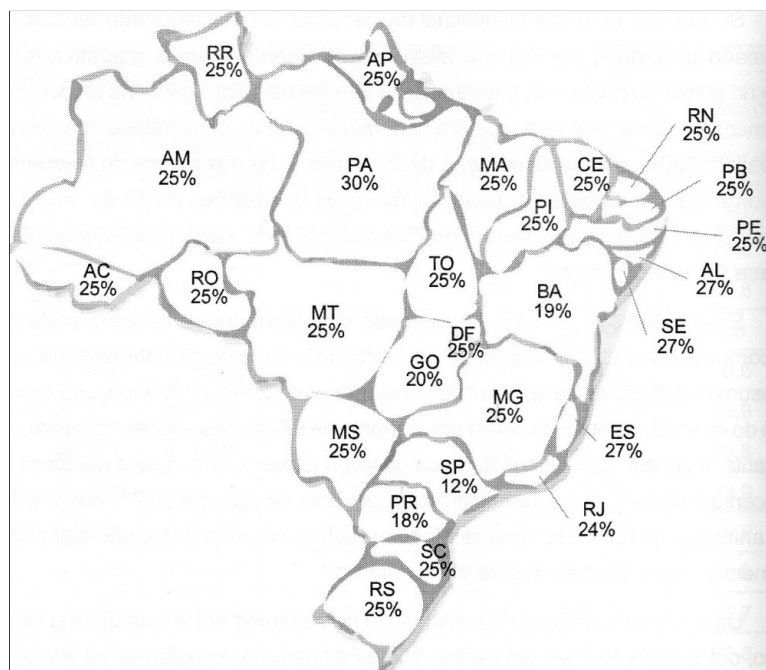


FIGURA 20: Alíquotas estaduais de ICMS sobre o etanol hidratado

FONTE: MAISTRO (2011)

## 6 RESULTADOS

Como resultado da primeira rodada de entrevistas foram levantadas como sendo os fatores mais relevantes que influenciam a produção de cana-de-açúcar no estado do Rio Grande do Sul as seguintes variáveis:

- Produtividade da lavoura (toneladas por hectare)
- Custos de produção
- Valor recebido pela cana
- Realização das reformas no período correto, no sentido de manter-se uma produtividade média elevada

A partir da segunda rodada de entrevistas, foram adicionadas mais variáveis e montado o mapa sistêmico como mostrado em 6.1.

### 6.1 CONSTRUÇÃO DO MAPA SISTÊMICO PARA O PROCESSO DE PRODUÇÃO DE CANA DE AÇÚCAR

As palavras marcadas em negrito identificam variáveis utilizadas no mapa sistêmico e no modelo de dinâmica de sistemas.

O raciocínio para a construção do mapa sistêmico parte de uma premissa básica que é expectativa dos produtores de cana de açúcar em obter um **resultado financeiro** positivo. Quanto maior for o **resultado financeiro** maior será a **área plantada**, quem já produz irá querer plantar mais e novos entrantes serão atraídos em busca de lucro. Quanto maior a **área plantada**, maior será a **produção**, em toneladas de cana de açúcar. Quanto maior a **produção**, maior será a **receita** oriunda da venda da cana de açúcar, que, por sua vez irá aumentar o **resultado financeiro** dos produtores, iniciando um novo ciclo. Este enlace reforçador está descrito na Figura 21. O inverso também é válido: a queda do **resultado financeiro** diminui a **área plantada** (com o mau resultado, o produtor decide investir em outras culturas), diminuindo a **produção** e diminuindo a **receita**.



FIGURA 21: Primeiro enlace reforçador

FONTE: Elaborado pelo autor

O **resultado financeiro** é, porém, função dos **custos**. Quanto maiores forem os **custos**, menor será o **resultado financeiro**. Para uma correta avaliação do **resultado financeiro**, não apenas os **custos operacionais** devem ser levados em conta, mas também a **depreciação** e os **custos de oportunidade** (Figura 22).

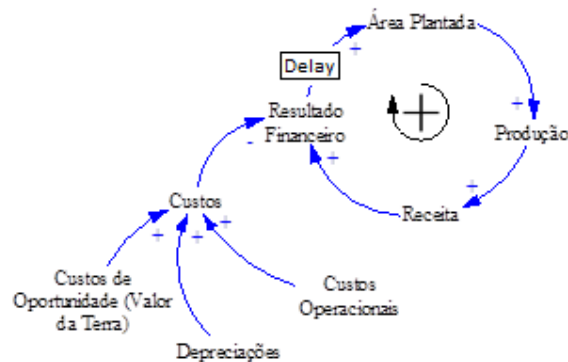


FIGURA 22: Custos

FONTE: Elaborado pelo autor

A **receita** depende do **valor da tonelada de cana** pago ao produtor (Figura 23). Neste trabalho estamos considerando que o produtor irá receber o valor calculado a partir da metodologia do Consecana. A metodologia utilizada para valorizar a cana definida pelo Consecana está descrita no capítulo 5.4. Dentre outros elementos, a equação do Consecana leva em consideração o **preço do etanol hidratado** recebido pela usina, que por sua vez é função do **preço da gasolina** nos postos (este trabalho considera que o preço do etanol hidratado na bomba é igual a 70% do valor cobrado pela gasolina, valor máximo recebido pelo etanol hidratado que o torna competitivo com a gasolina C) e da **alíquota de ICMS**

vigente no Estado (quanto maior o valor do ICMS, menor será o valor recebido pela usina pelo etanol hidratado). O preço da gasolina é chave neste processo, pois ele define o preço de venda do etanol hidratado ao consumidor.

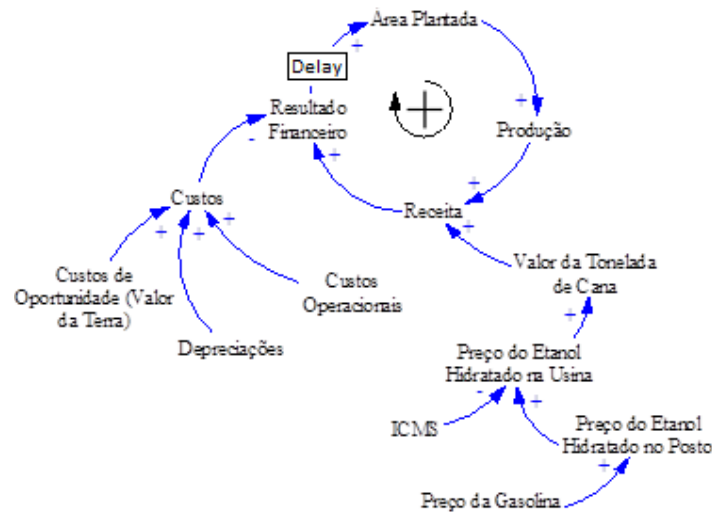


FIGURA 23: Valor da tonelada de cana

FONTE: Elaborado pelo autor

Por sua vez, a **produção** varia conforme a **produtividade**. Quanto maior a **produtividade**, maior a **produção**. A **produtividade** varia de acordo com a região, o solo, o clima, os tratamentos culturais e a qualidade das mudas, sendo seu controle muito importante para o sucesso do negócio. Quando não são realizados **investimentos** em máquinas, insumos e tratamentos culturais é muito provável que a **produtividade** sofra alguma consequência. Estes **investimentos** dependem do **resultado financeiro**: se o **resultado financeiro** for muito baixo ou negativo não há verba suficiente para os cuidados com a lavoura. Em outras palavras, quando cai o **resultado financeiro**, caem os **investimentos**, cai a **produtividade** e cai a **produção** (Figura 24).

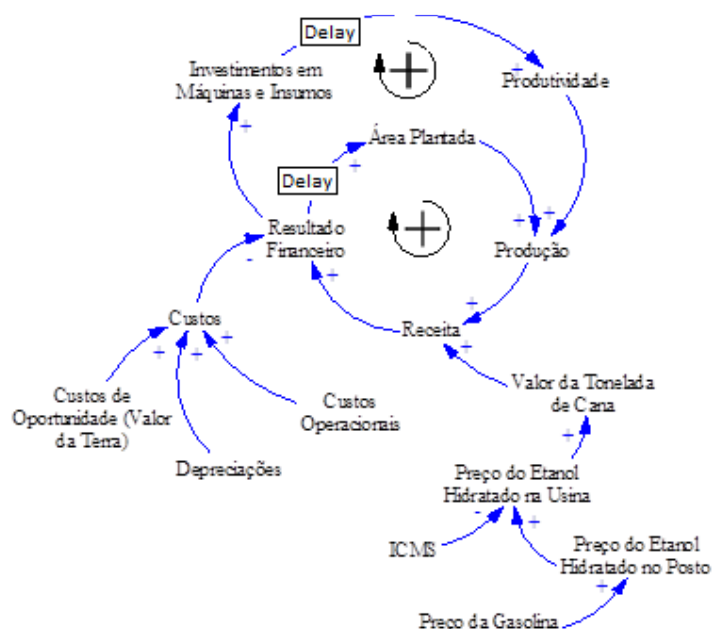


FIGURA 24: Segundo enlace reforçador

FONTE: Elaborado pelo autor

Como visto no capítulo 5.5, a **produtividade** também varia conforme a **idade média** do canavial. A cada corte a **produtividade** cai, fazendo-se necessária a reforma do canavial. Para realizar a reforma é necessário **investimento** e, se não houver recursos para estes **investimentos** a **idade média** do canavial aumenta, reduzindo a **produtividade** (Figura 25).



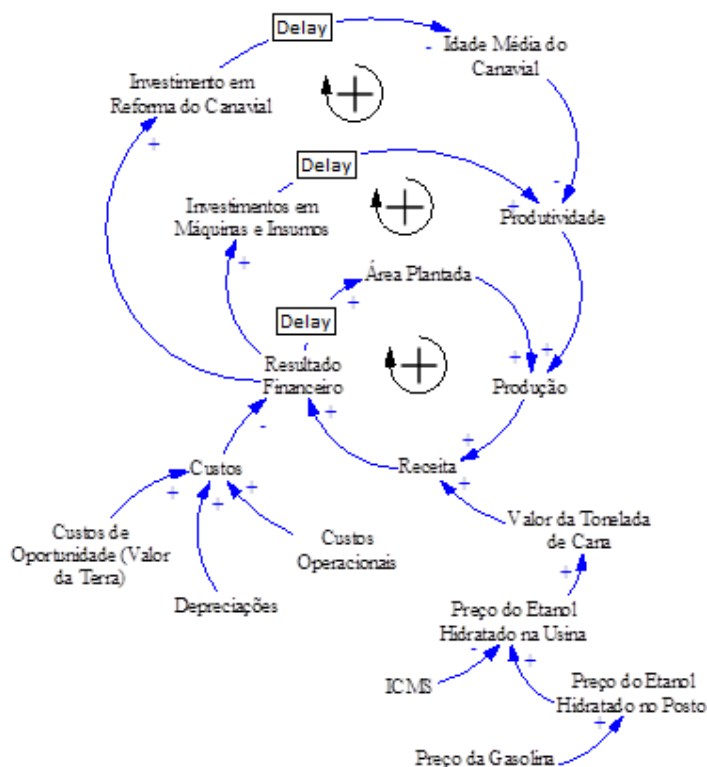


FIGURA 25: Terceiro enlace reforçador

FONTE: Elaborado pelo autor

A **produção**, porém, não pode crescer indefinidamente. Considerando o foco no atendimento da demanda local de veículos flex, o limite de crescimento da produção de cana para obtenção de etanol hidratado reside no atendimento total da demanda. Na medida em que a produção se aproxima da demanda, com o excesso de oferta o preço cai, reduzindo o valor recebido pelo produtor de cana, formando um enlace balanceador (Figura 26).

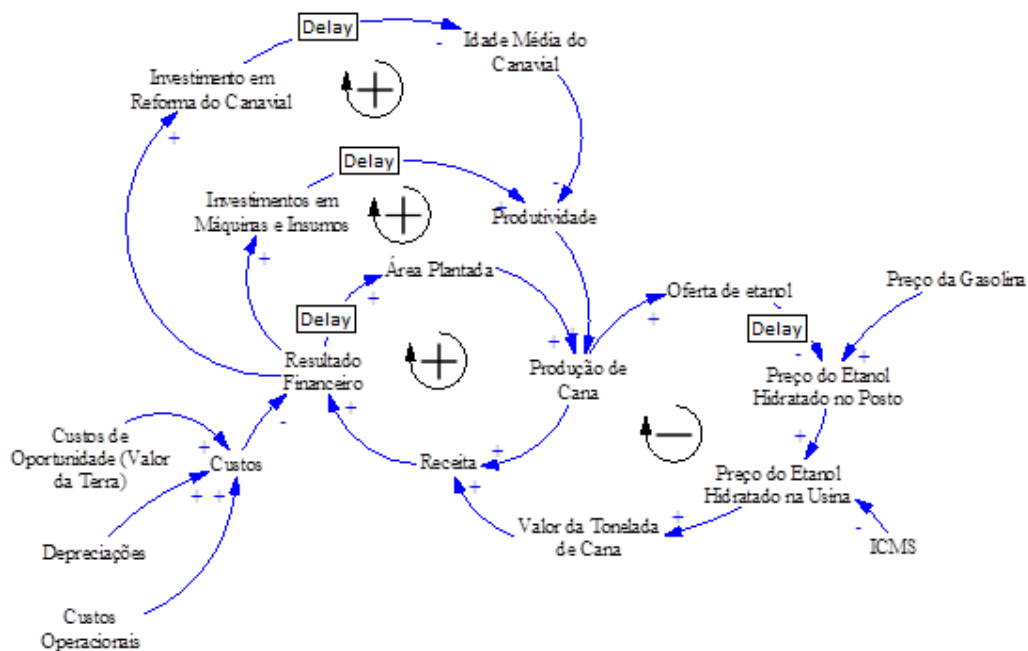


FIGURA 26: Enlace balanceador

FONTE: Elaborado pelo autor

A combinação destes três enlaces reforçadores com o enlace balanceador poderão acarretar aumentos ou decréscimos na **área plantada** conforme a variação do **resultado financeiro**.

## 6.2 TRANSCRIÇÃO DO MAPA SISTÊMICO PARA UM MODELO DE DINÂMICA DE SISTEMAS

Para transcrever o mapa sistêmico demonstrado anteriormente para um modelo de dinâmica de sistemas a associação mais importante foi considerar estoques de áreas plantadas de cana com diferentes idades (número de cortes), cada uma com uma produtividade diferente associada. A cada passagem de ano o estoque de área plantada (hectares) no enésimo corte flui para o estoque de área plantada com enésimo+1 cortes. A partir do 5º corte, a área poderá fluir para um estoque de **área de reforma**, voltando a compor um estoque de **plantio**, somando-se a possíveis **novas áreas** (Figura 27).

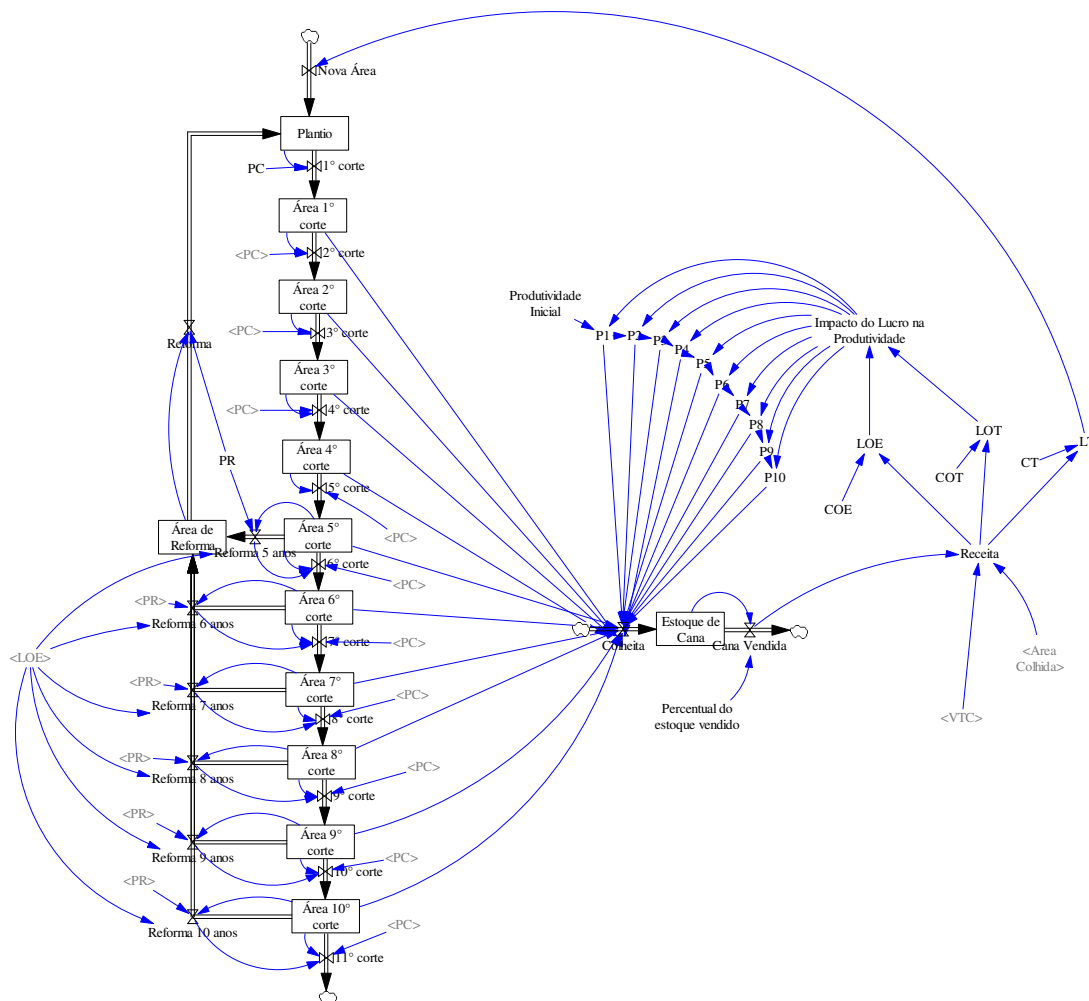


FIGURA 27: Modelo de Dinâmica de Sistemas para produção de cana-de-açúcar

FONTE: Elaborado pelo Autor

A descrição de cada variável, bem como a equação que governa cada relação entre as variáveis, encontra-se no Anexo 2.

A cada ano é apurado um **estoque de cana** que aumenta conforme a **colheita** e decresce com o fluxo de **cana vendida**. Para facilitar a compreensão, foi definido que o percentual de **cana vendida** será sempre 1, não ocorrendo portanto o acúmulo de estoque de um ano para outro. A **colheita** é o resultado do somatório das **áreas do enésimo corte** multiplicadas pela **produtividade** associada a cada corte.

$$Colheita = \sum_1^{10} \text{Área } n^{\circ} \text{ corte} * P_n$$

A apuração da **receita** é dada pela multiplicação de **cana vendida** a cada ano pelo **valor da tonelada de cana** (VTC). Dividindo a **receita** pela **área colhida** tem-se a **receita** anual em R\$/ha. Ao compararmos a **receita** separadamente com o **custo operacional efetivo** (COE), **custo operacional total** (COT, considera depreciações) e o **custo total** (CT, considera custos de oportunidade) obtemos três resultados diferentes: o **lucro operacional efetivo** (LOE), o **lucro operacional total** (LOT) e o **lucro total** (LT). A partir do cálculo destes três valores seguem-se três importantes inferências que irão direcionar o modelo através dos quatro enlaces descritos no capítulo 6.1.

- Se o **lucro operacional efetivo** for menor que zero, ou seja, a **receita** não cobre nem os **custos operacionais efetivos**, haverá queda na **produtividade** (dificuldade em pagar salários, fornecedores e comprar insumos) e não serão realizadas as **reformas** previstas para os canaviais acima do 5º corte (a **idade média** dos canaviais sobe, diminuindo a **produtividade**)
- Se o **lucro operacional efetivo** for maior que zero, mas o **lucro operacional total** for menor que zero, ou seja, as despesas operacionais forem cobertas, mas a receita não for suficiente para cobrir as depreciações, as **reformas** serão realizadas, havendo, porém, uma pequena queda na **produtividade** devido à não reposição de máquinas e equipamentos.
- Se o **lucro total** for maior que zero, ou seja, a **receita** cobre todos os custos, inclusive os **custos de oportunidade**, o negócio se mostra rentável e **novas áreas** são adicionadas ao **plantio**.

A referência adotada para a quantidade de área adicionada em **nova área** é de 5 mil hectares por ano. Este valor foi considerado um valor razoável, considerando a ausência de novas áreas de fronteira agrícola no Rio Grande do Sul. O cálculo do **valor da tonelada de cana** (VTC) segue as diretrizes do Consecana, como visto no capítulo 5.4. As relações entre as variáveis que compõem o cálculo do VTC estão descritas na Figura 28.

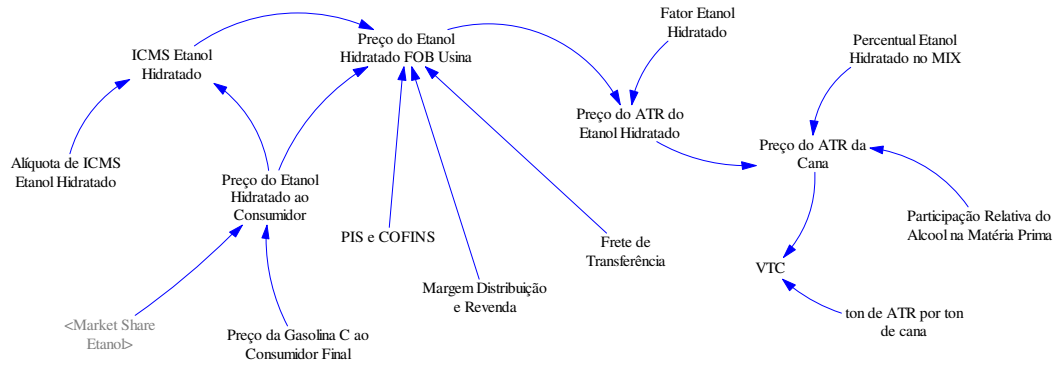


FIGURA 28: Cálculo do valor da tonelada de cana (VTC)

FONTE: Elaborado pelo autor

O valor pago ao produtor pela cana de açúcar é definido a partir do valor dos produtos obtidos com seu processamento. Como aqui não estamos considerando a fabricação de açúcar nem etanol anidro, o valor da cana é obtido somente pela produção do etanol hidratado. O **preço do etanol hidratado** depende de quanto as pessoas (proprietários de automóveis flex-fuel) estão dispostas a pagar por ele. Pela diferença de poder calorífico entre as substâncias que compõem cada combustível e do rendimento dos motores, o abastecimento com etanol passa a ser vantajoso quando o preço fica abaixo de 70% do preço da gasolina C vendida nos postos de combustíveis. Portanto, o preço considerado para etanol hidratado é 70% do preço da gasolina C nos postos. A política de preços da Petrobras, maior produtora de gasolina do país, tem sido de não repassar para o mercado interno as oscilações de preço do petróleo no mercado externo. Isso, somado a ações do governo sobre a CIDE da gasolina para controle da inflação, tem mantido o preço da gasolina estável no Brasil nos últimos anos. Com base nisso adotamos para todo o período para o preço da gasolina nos postos de combustíveis a média do preço ao consumidor publicado no site da ANP para o Rio Grande do Sul no ano de 2011. Para chegarmos ao preço que a usina receberá pelo etanol hidratado, temos que descontar deste valor o **ICMS**, o **PIS** e a **COFINS**, a **margem da distribuição e da revenda** e o **frete de transferência** da usina até a base de distribuição. A partir deste valor, calcula-se o **preço do ATR do etanol hidratado** e, em seguida, o **preço do ATR da cana**. Com o **preço do ATR da cana** obtemos o **valor da tonelada de cana**.

Sobre o **preço do etanol hidratado ao consumidor** ainda é feita uma ressalva: se o **market share do etanol** atingir o valor de 70%, o **preço do etanol hidratado ao consumidor** começa a sofrer um desconto, caracterizando um excesso de oferta do produto.

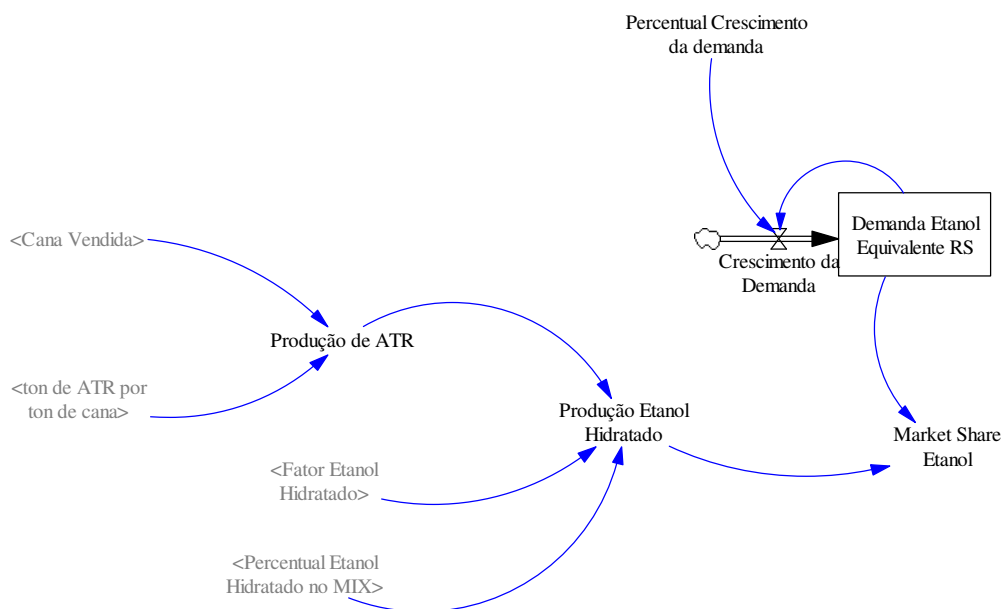


FIGURA 29: Cálculo da produção de etanol hidratado e market share do etanol

FONTE: Elaborado pelo autor

A **produção de ATR** é calculada pela multiplicação da **cana vendida** pela **quantidade de ATR por tonelada de cana** (Figura 29). Este valor dividido pelo **fator do etanol hidratado** e multiplicado pelo **percentual de etanol hidratado no mix** nos fornece a **produção de etanol hidratado**. O market share do etanol é calculado dividindo-se a **produção de etanol hidratado** pela **demanda de etanol equivalente no Rio Grande do Sul**. A **demanda de etanol equivalente no Rio Grande do Sul** cresce a uma taxa de 8% ao ano (média de crescimento dos últimos cinco anos).

A modelagem, como parte de um processo de aprendizagem, é iterativa, um processo contínuo de formulação de hipóteses, testes e revisões. A simulação matemática do modelo exige o estabelecimento de premissas, valores iniciais de variáveis e relações matemáticas

entre elas, sem as quais a simulação se torna impossível. Para a realização da simulação do modelo proposto neste trabalho foram assumidas as seguintes premissas:

- A área inicial de cana-de-açúcar plantada no Rio Grande do Sul é de 3 mil hectares e está dividida igualmente em áreas de 1 a 5 anos de idade.
- No primeiro ano da simulação será acrescentado um plantio de 5 mil hectares.
- Sempre o total da área plantada é colhida.
- Quando a reforma é realizada, ela é feita sobre o total de área plantada com idade superior a cinco anos.
- Dada uma produtividade inicial para o primeiro ano, esta cai 14% a cada corte subsequente.
- O modelo inicia com um estoque de cana colhida de 80 mil toneladas.
- Toda cana que é colhida é vendida.
- Os custos seguem os valores divulgados pela pesquisa da ESALQ/USP-PECEGE 2010/2011 para a região Centro Sul tradicional.
- Novas áreas somente são adicionadas quando o Lucro Total for positivo. A quantidade de área acrescentada é de 5 mil ha por ano.
- O preço da gasolina ao consumidor final é constante ao longo de todo período e igual à média publicada pela ANP para o estado do Rio Grande do Sul para o ano de 2011.
- O preço do etanol hidratado vendido ao consumidor é igual a 70% do preço da gasolina.
- O preço do PIS e COFINS do etanol hidratado é constante e igual a R\$ 48 por metro cúbico.
- Para o valor da margem de distribuição e revenda do etanol hidratado foi usado como referência a parcela de 16% do preço da gasolina ao consumidor publicada no site da Petrobras para a composição do preço da gasolina. Estamos assumindo que a distribuidora e a revenda possuem custos e margens semelhantes para a comercialização de gasolina e etanol.
- Para a estimativa do valor do frete de transferência do etanol hidratado da usina até a base de distribuição foi considerado uma distância média de 200 km e a média de 0,18 R\$/m<sup>3</sup>.km publicada no site do Sistema de Informação de Fretes (Esalq-SIFRECA) para álcool na região sudeste.
- O cálculo do preço recebido pelo produtor pela cana-de-açúcar segue a fórmula definida pelo CONSECANA (MAISTRO, 2011).

- A quantidade de ATR contido na cana-de-açúcar é constante e igual a 140 kg de ATR por tonelada de cana-de-açúcar, um valor médio observado na Região Centro-Sul nos últimos vinte anos (MAISTRO, 2011).
- A usina produz apenas etanol hidratado.
- A demanda de etanol equivalente (demanda combinada de gasolina C e etanol hidratado) inicial é igual à média publicada no site da ANP para o ano da 2011 no Rio Grande do Sul.
- A demanda de etanol equivalente cresce a um ritmo de 8% ao ano, correspondente à média dos últimos 5 anos para o estado do Rio Grande do Sul.

### 6.3 DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS CRÍTICAS DENTRO DO MODELO DE DINÂMICA DE SISTEMAS

Uma das questões mais importantes quando se analisa o negócio de produção de cana para obtenção de etanol é o rendimento da colheita em termos de toneladas por hectare. Este é um parâmetro que pode variar muito conforme a região, o solo, o clima, os tratamentos, as mudas. Enquanto que no estado de São Paulo, maior produtor de cana de açúcar no Brasil, a produtividade média dos canaviais pode atingir facilmente valores acima de 100 toneladas por hectare, dados Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento indicaram para a safra de 2010/2011 no Rio Grande do Sul uma produtividade média inferior a 50 toneladas por hectare (MAPA, 2011). Neste valor, porém, estão sendo consideradas áreas de canaviais muito antigos, que há muitos anos não recebem investimento em renovação, fazendo com que a produtividade média caia muito. Segundo dados levantados através de entrevistas com especialistas, a produtividade para o primeiro corte esperada para as áreas de plantio de cana para a produção de etanol hidratado combustível no Rio Grande do Sul para a safra 2010/2011 era de 90 toneladas por hectare. A Embrapa vem acompanhando a produção de cana-de-açúcar no estado e espera, através da implementação de melhorias e novas variedades de mudas, atingir valores acima de 110 toneladas por hectare no primeiro corte.

Outra variável crítica selecionada para ser avaliada nas simulações foi a alíquota de ICMS. Como visto no capítulo 2.5, o sistema de tributação brasileiro para combustíveis está longe de ser simples e a definição da alíquota de ICMS, realizada a nível estadual, é uma das principais fontes de desequilíbrio regional entre o preço dos combustíveis. Fazendo variar o percentual de recolhimento do ICMS nas vendas de etanol hidratado combustível, esperamos analisar o



impacto que uma possível alteração na política fiscal estadual, visando incentivar a produção de etanol hidratado combustível, possa causar no negócio de produção de cana-de-açúcar. A alíquota de ICMS para etanol hidratado atualmente em vigor no estado do Rio Grande do Sul é de 25%. Além dessa alíquota serão realizadas simulações com a alíquota de 12%, em vigor em São Paulo, estado que há muitos anos incentiva a produção de cana-de-açúcar através de uma alíquota de ICMS reduzida.

#### 6.4 SIMULAÇÃO DO MODELO DE DINÂMICA DE SISTEMAS UTILIZANDO O SOFTWARE VENSIM.

Para efeito de comparação foram realizadas quatro simulações considerando diferentes valores para a Produtividade Inicial e para a Alíquota de ICMS, conforme a Figura 30.

	<b>Produtividade Inicial</b>	<b>Alíquota de ICMS</b>
<b>Simulação 1</b>	90 ton/ha	25%
<b>Simulação 2</b>	120 ton/ha	25%
<b>Simulação 3</b>	90 ton/ha	12%
<b>Simulação 4</b>	120 ton/ha	12%

FIGURA 30: Descrição das simulações 1, 2, 3 e 4

FONTE: Elaborado pelo autor

Os valores e relações entre as demais variáveis encontram-se descritas no Anexo 2. A Figura 31 apresenta o resultado das quatro simulações acima para a variável de saída **área colhida**, lembrando que, de acordo com o modelo, só há aumento de área quando a **receita** supera o **custo total**. Pode haver redução de área quando a **receita** não for suficiente para a realização de reforma, reduzindo a **área de reforma** e aumentando a **idade média** dos canaviais.



do ano 14. Ainda há alguma instabilidade com diminuição de área nos anos 10, 13, 14 e 17, mas a sequência de resultados positivos consegue causar sucessivos aumentos de **área colhida**.

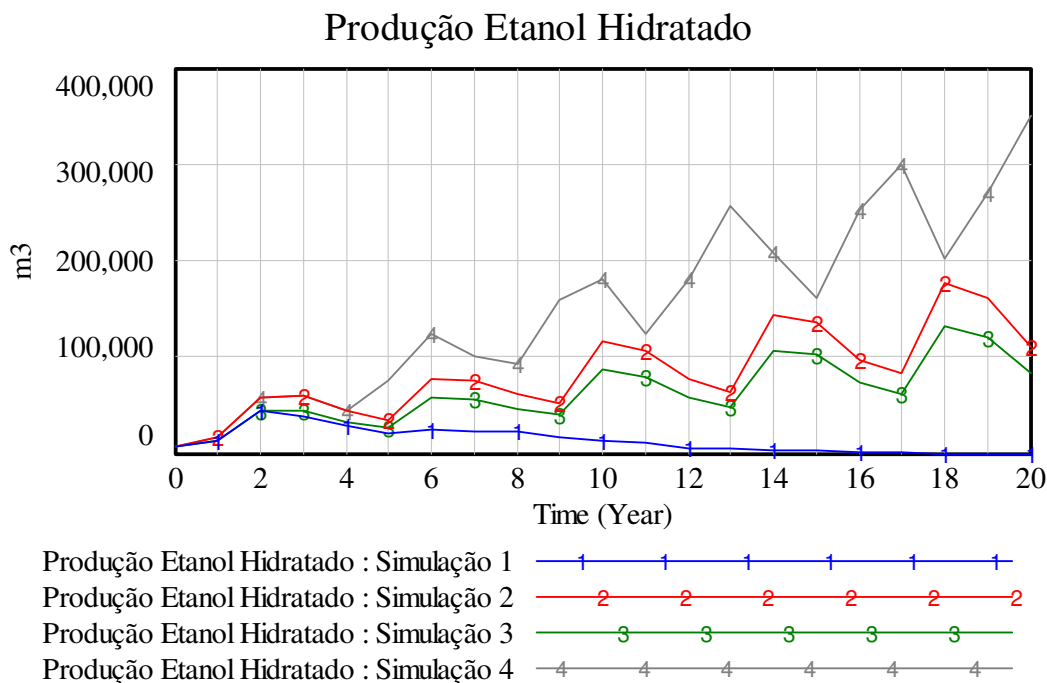


FIGURA 32: Gráfico da produção de Etanol Hidratado para as simulações 1, 2, 3 e 4

FONTE: Elaboração do autor

Apesar de apresentarem curvas iguais para o avanço da área, a simulação 2 apresenta uma maior produção de etanol do que a simulação 3 por possuir uma produtividade mais elevada. A produção de etanol hidratado chega a atingir 350 mil metros cúbicos no ano 20 da simulação 4 (Figura 32), um valor ainda muito baixo, comparado à demanda de etanol equivalente. Considerando um crescimento da demanda combinada de etanol hidratado e gasolina C de 8% a.a. (média dos últimos cinco anos), o market share do etanol hidratado não ultrapassa 2% no período. O gráfico abaixo (Figura 33) mostra a evolução do market share do etanol hidratado para as quatro simulações realizadas.

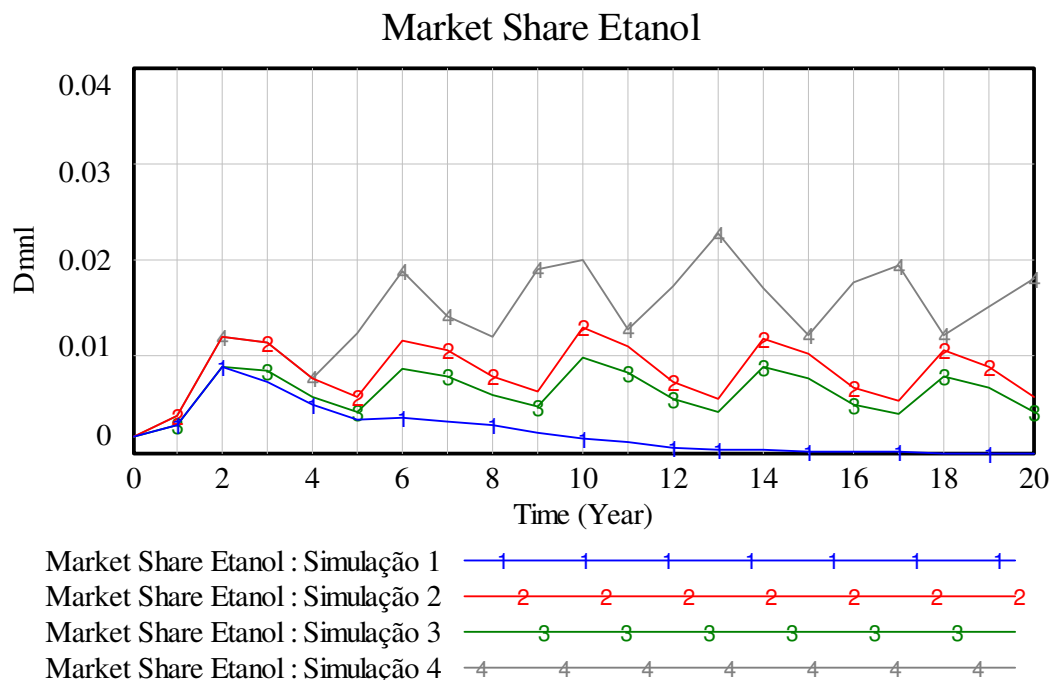


FIGURA 33: Gráfico do market share do etanol hidratado para as simulações 1, 2, 3 e 4. Considera a produção de etanol hidratado no RS contra a demanda total de etanol equivalente, composta por vendas de etanol hidratado e gasolina C

FONTE: Elaboração do autor

Como já visto, uma variável importante para a definição do preço de venda do etanol hidratado é o preço de venda da gasolina ao consumidor. Uma das ferramentas utilizada pelo governo federal nos últimos meses para controle da inflação foi a redução da alíquota da CIDE na gasolina para que o reajuste de preços realizados pelos produtores de gasolina, não atingisse o preço final ao consumidor. Assim, o preço da gasolina no mercado interno não tem acompanhado as oscilações do mercado externo. O impacto nesta política para os produtores de cana-de-açúcar e etanol é de que, se os preços da gasolina acompanhassem os aumentos no preço internacional, o valor recebido pelo etanol poderia ser maior. Desde novembro de 2011, a alíquota da CIDE da gasolina reduziu de R\$ 0,192 por litro para zero. Se esta redução não tivesse acontecido, o preço da gasolina ao consumidor estaria R\$ 0,1536 por litro mais caro (a CIDE incide sobre as vendas de gasolina A pelas refinarias e a gasolina C vendida nos postos possui 80% de gasolina A).

Uma das vantagens do modelo é a facilidade de obtermos respostas quantitativas para perguntas como: segundo o modelo, o que aconteceria com a projeção de aumento de área de cana-de-açúcar no Rio Grande do Sul se não tivesse ocorrido a redução da CIDE na gasolina? Para responder a esta pergunta vamos considerar os mesmos dados de alíquota de ICMS e de produtividade das simulações 1, 2, 3 e 4, alterando o preço da gasolina ao consumidor de R\$ 2.755,00 (média dos preços ao consumidor no Rio Grande do Sul em 2011) para R\$ 2.908,60 por metro cúbico (R\$ 2.755 + R\$ 153,60). Na Figura 34 encontram-se os valores considerados para estas quatro novas simulações.

	<b>Produtividade Inicial</b>	<b>Alíquota de ICMS</b>	<b>Preço Gasolina C ao consumidor</b>
<b>Simulação 5</b>	90 ton/ha	25%	2.908,60 R\$/m <sup>3</sup>
<b>Simulação 6</b>	120 ton/ha	25%	2.908,60 R\$/m <sup>3</sup>
<b>Simulação 7</b>	90 ton/ha	12%	2.908,60 R\$/m <sup>3</sup>
<b>Simulação 8</b>	120 ton/ha	12%	2.908,60 R\$/m <sup>3</sup>

FIGURA 34: Valores de produtividade inicial, alíquota de ICMS e preço da gasolina C para as simulações 5, 6, 7 e 8

FONTE: Elaboração do autor

Podemos notar que o aumento do preço da gasolina provoca um aumento de área em todas as simulações, mas não resolve a situação de perda de área na simulação 5 e das oscilações nas simulações 6 e 7. A área colhida no ano 20, na simulação 8, apesar de aumentar em relação à simulação 4, chega a pouco menos de 45 mil ha (Figura 35), um valor ainda baixo.

Ainda que o governo brasileiro não tivesse interferido no preço final da gasolina através da redução de impostos nos últimos meses, o incremento no preço do etanol recebido pela usina não seria suficiente para gerar uma estabilidade de resultados positivos ao produtor de cana-de-açúcar a ponto de gerar crescimentos de área consecutivos e expandir a produção de etanol de uma forma linear.



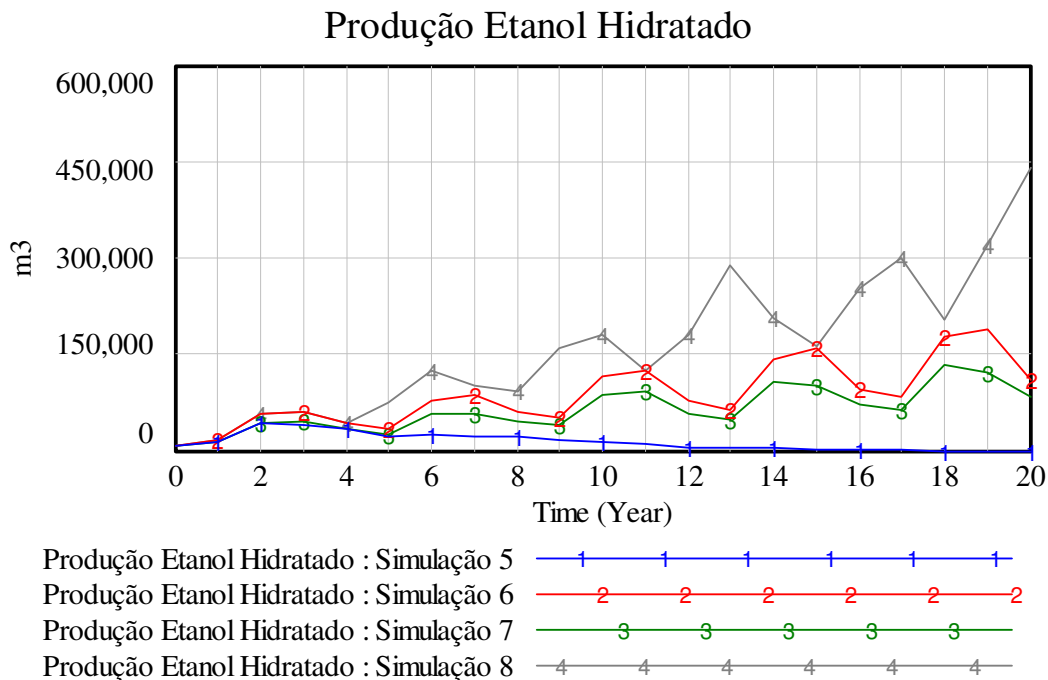


FIGURA 36: Gráfico de produção de etanol hidratado com aumento do preço da gasolina

FONTE: Elaboração do autor

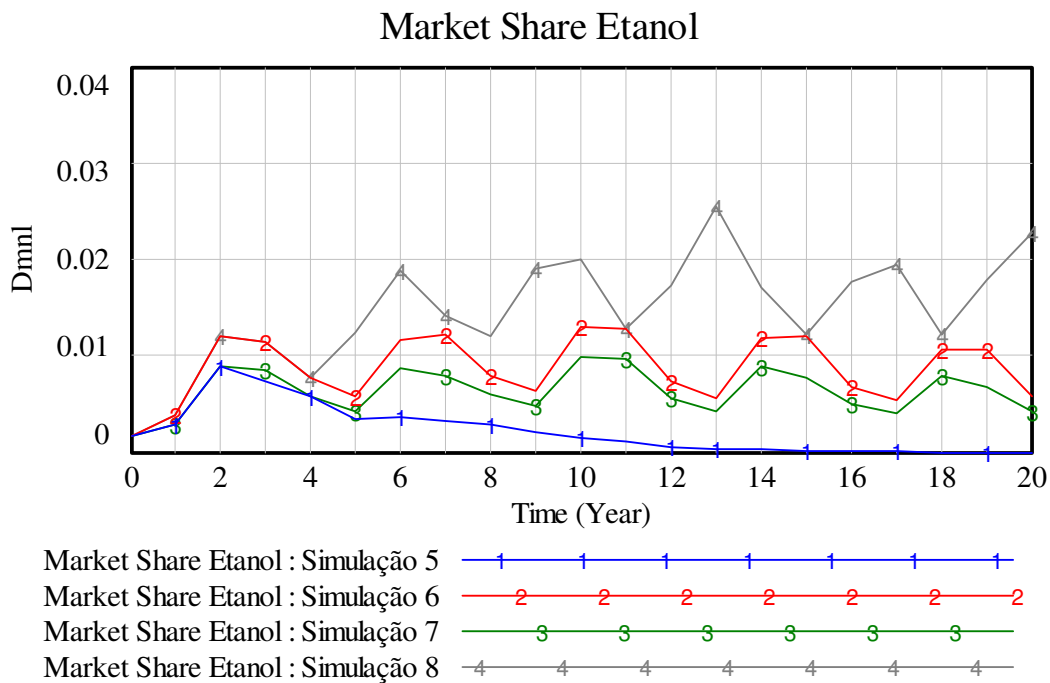


FIGURA 37: Gráfico do market share do etanol hidratado com aumento do preço da gasolina.

FONTE: Elaboração do autor

Outra pergunta interessante em relação ao aumento de **área colhida** e à **produção de etanol hidratado** seria em relação a quantidade de **novas áreas** adicionadas. Considerando a situação mais favorável (simulação 8), qual deveria ser o aumento de área anual de novos plantios para que em 20 anos se atingisse no Rio Grande do Sul uma **produção de etanol hidratado** capaz de atender 10% da demanda total de etanol equivalente do estado? Para responder esta pergunta, foi realizada uma nova simulação (simulação 9), com os mesmos parâmetros da simulação 8, alterando-se a área de novos plantios para 25 mil ha por ano. O resultado desta simulação mostrou que o estado atingiria uma área de produção de cana-de-açúcar de 250 mil hectares no ano 19 (Figura 38), para no ano 20 atingir uma produção de etanol hidratado de 2 milhões de m<sup>3</sup> (Figura 39), equivalente a 10% da demanda do estado (Figura 40).

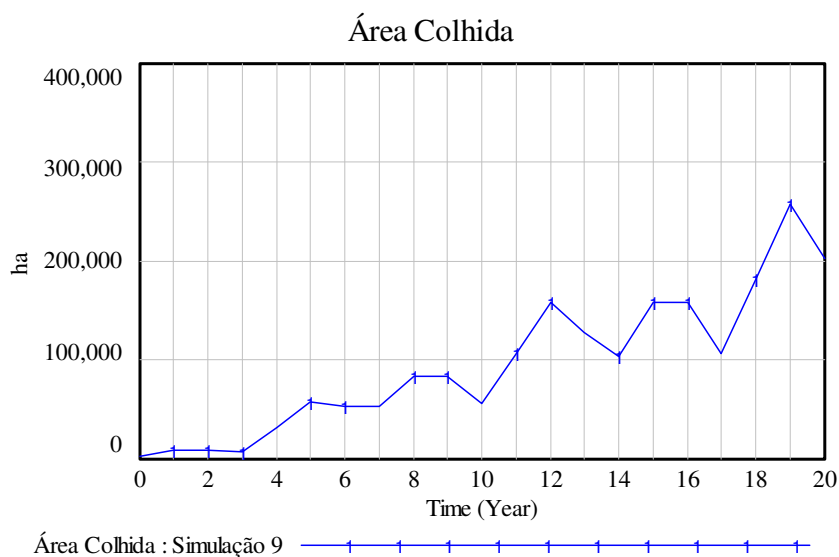


FIGURA 38: Gráfico do resultado da simulação para a área colhida considerando o aumento do preço da gasolina, produtividade inicial de 120 ton/ha, alíquota de ICMS de 12% e incremento de novas áreas de 25 mil ha por ano

FONTE: Elaborado pelo autor

Mesmo considerando um objetivo modesto de atingir 10% da potencial demanda de etanol hidratado no estado, o desafio é gigantesco. Neste cenário, além da redução da alíquota de ICMS e da melhora na produtividade, seria necessário um esforço de conversão de área de 25



mil hectares anuais de alguma outra cultura, possivelmente soja, para a plantação de cana-de-açúcar.

Em 2010, quando foram anunciados os projetos de construção de usinas de etanol no Rio Grande do Sul (JORNAL DO COMERCIO 2010, ZERO HORA 2010), o planejamento era de se atingir uma área plantada de 23 mil hectares em cinco anos, um incremento de 4,6 mil hectares por ano. Daí vemos o tamanho do esforço necessário para que o Rio Grande do Sul pudesse atingir uma produção equivalente a 10% da demanda potencial de etanol hidratado.

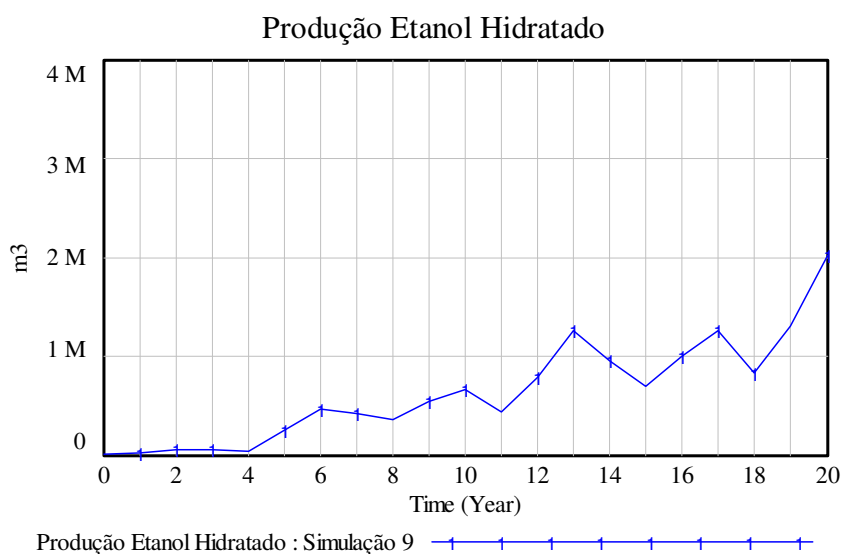


FIGURA 39: Gráfico do resultado da simulação para a produção de etanol hidratado considerando o aumento do preço da gasolina, produtividade inicial de 120 ton/ha, alíquota de ICMS de 12% e incremento de novas áreas de 25 mil ha por ano

FONTE: Elaborado pelo autor

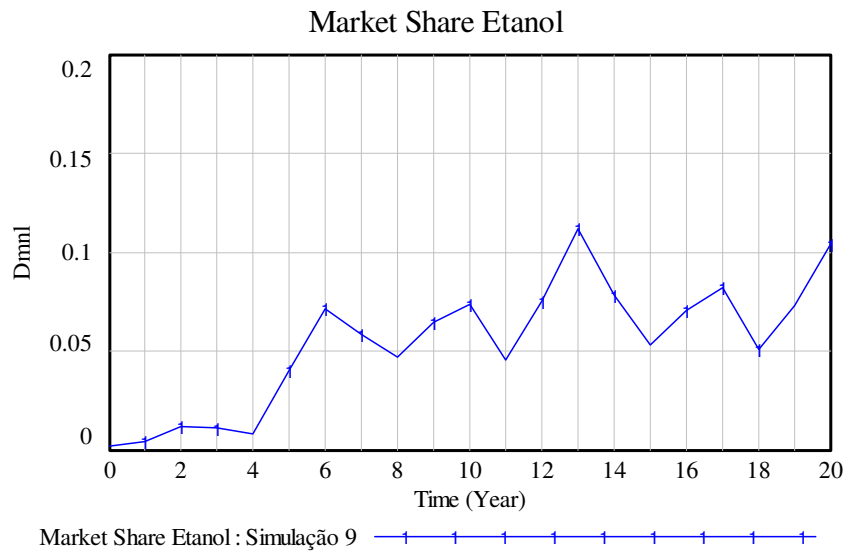


FIGURA 40: Gráfico do resultado da simulação para o market share do etanol hidratado, considerando o aumento do preço da gasolina, produtividade inicial de 120 ton/ha, alíquota de ICMS de 12% e incremento de novas áreas de 25 mil ha por ano

FONTE: Elaborado pelo autor

## 7 CONCLUSÃO

O modelo construído mostrou-se de grande utilidade para a análise e estudo dos impactos causados por perturbações nas principais variáveis integrantes da cadeia de produção do etanol hidratado. Quando analisamos a evolução da área colhida de cana-de-açúcar com uma produtividade no primeiro corte de 90 toneladas por hectare e a atual alíquota de ICMS de 25% para o etanol hidratado combustível no estado do Rio Grande do Sul, concluímos que não há incremento de área colhida nos primeiros dez anos e, a partir do décimo primeiro ano, a área colhida com cana-de-açúcar reduz até chegar a zero no décimo sétimo ano. O comportamento oscilatório da área colhida se deve à dinâmica de entrada e saída de áreas em reforma e à combinação destas com novas áreas.

O aumento da produtividade no primeiro corte para 120 toneladas por hectare e a redução da alíquota de ICMS para 12% aponta incremento de área colhida em 8 anos dentro do período de 20 anos analisado. Após o período de 20 anos, a área colhida de cana-de-açúcar no estado do Rio Grande do Sul atinge cerca de 37 mil hectares, considerando aumentos anuais, quando aplicáveis, de 5 mil hectares. A produção de etanol hidratado atrelado à esta área no ano 20 é de cerca de 350 mil m<sup>3</sup>, valor correspondente a 1,8% do mercado potencial de etanol hidratado combustível.

Isoladamente, o aumento da produtividade e a redução da alíquota de ICMS exercem efeito semelhante na variação da área colhida. Em ambos os casos há incremento de área colhida em 4 anos dentro do período de 20 anos analisado. Após o período de 20 anos, a área colhida de cana-de-açúcar no estado do Rio Grande do Sul atinge cerca de 15 mil hectares, considerando aumentos anuais, quando aplicáveis, de 5 mil hectares.

Quando consideramos o aumento do preço da gasolina C para R\$ 2,9086 por litro, a combinação mais favorável para o aumento da área colhida (produtividade inicial de 120 t/ha e alíquota de ICMS de 12%), aponta para 10 anos com expansão de área colhida dentro do período de 20 anos estudado. Após o período de 20 anos, a área colhida de cana-de-açúcar no estado do Rio Grande do Sul atingiria cerca de 45 mil hectares, considerando aumentos anuais, quando aplicáveis, de 5 mil hectares. A produção de etanol hidratado atrelado à esta área no ano 20 é de cerca de 450 mil m<sup>3</sup>, valor correspondente a 2,2% do mercado potencial de etanol hidratado combustível. Nessas condições, seria necessária a adição de 25 mil

hectares de cana-de-açúcar a cada ano em que o aumento de área é aplicável para daqui a 20 anos o estado ser capaz de produzir 10% de sua demanda potencial de etanol hidratado (demanda de etanol hidratado somada à demanda de gasolina C equivalente).

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização das reformas nos canaviais no tempo correto é fundamental para o desenvolvimento dos negócios, sendo que as oscilações de produtividade provocada por diferentes médias de idade nos canaviais precisam ser conhecidas e levadas em conta em estudos de longo prazo.

O aumento da produtividade é de fundamental importância para o desenvolvimento da produção de cana-de-açúcar, porém ele só se mostrou viável quando acompanhado de uma política de redução de ICMS. Nem o aumento de produtividade nem a redução da alíquota de ICMS do etanol hidratado isoladamente dão sustentabilidade ao aumento da produção de cana-de-açúcar para a produção de etanol hidratado a longo prazo.

Mesmo no cenário mais favorável (simulação 8), os desafios para a produção de cana-de-açúcar e etanol no estado do Rio Grande do Sul são muito grandes. Ações de políticas públicas, como tributação e controle de preços, podem mudar os rumos do negócio com muita rapidez. Ações do governo federal para controle da inflação podem vir de encontro a ações de governos estaduais de redução da alíquota de ICMS para incentivo da produção de etanol.

O preço da gasolina nos postos de combustível exerce uma importância significativa sobre o preço recebido pelo produtor de etanol e de cana-de-açúcar. Considerando que a política interna de preços da gasolina alterasse para acompanhar as variações no preço internacional seria interessante a elaboração de um estudo utilizando projeções de preços futuros para o petróleo e para a gasolina.

No caso do estado do Rio Grande do Sul buscar fomentar a plantação de cana-de-açúcar para a produção de etanol, além da necessária redução na alíquota do ICMS sobre as vendas de etanol hidratado combustível, seria necessária a elaboração de um plano de ajuda financeira aos produtores para a garantia da manutenção dos investimentos em máquinas, equipamentos e principalmente na renovação dos canaviais. Mesmo em anos de resultado financeiro desfavorável, os investimentos precisam ser mantidos para evitar a queda de rendimento em safras futuras. O acesso do produtor à assistência técnica também é muito importante, uma vez que a manutenção de uma elevada produtividade média é fundamental para a sustentabilidade do negócio.

Os empresários interessados em investir neste setor devem ter conhecimento do comportamento dinâmico do negócio apresentado neste trabalho, levando em consideração em suas avaliações as oscilações na produtividade ocasionadas pela não renovação dos canaviais e a necessidade do investimento na renovação dos canaviais independente de resultados financeiros pontuais. O conhecimento da estrutura de preços e do impacto da carga tributária ao longo de toda cadeia também é de grande importância para a análise dos riscos do negócio.

A quantificação das variáveis em um modelo é sempre acompanhada de erros e distorções. Estudos mais elaborados e dedicados podem melhorar as premissas utilizadas e trazer resultados mais perto da realidade. Novas variáveis e loops de feedback podem ser adicionados ao modelo para uma melhor representatividade do sistema. Pontos não abordados neste trabalho, como a utilização de créditos de carbono e a produção conjunta de etanol anidro, açúcar e energia elétrica, podem servir de sugestão para futuros estudos. Novas tecnologias, como a produção de etanol a partir de material celulósico e a utilização de matérias primas alternativas, como arroz e sorgo, podem fornecer diferentes prismas para a análise da produção de etanol no estado do Rio Grande do Sul. Questões sociais e ambientais como a discussão sobre o uso da terra para a produção de energia e mudanças climáticas vinculadas ao uso de combustíveis fósseis podem ser adicionadas como material para um estudo mais amplo.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, A. L. SELEME, A. RODRIGUES, L. H., SOUTO, R. **Pensamento Sistêmico: caderno de campo: o desafio da mudança sustentada nas organizações e na sociedade.** Porto Alegre: Bookman, 2006.

ANFAVEA – Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. [www.anfavea.com.br](http://www.anfavea.com.br) acesso em 12/03/2012.

ANP – Agência Nacional do Petróleo. [www.anp.gov.br](http://www.anp.gov.br) acesso em 23/06/2012

BATALHA, M. O.; SILVA, A. L. Sistemas Agroindustriais: Definições e Correntes Metodológicas. In: **Gestão Agroindustrial.** São Paulo: Atlas, v.1. 1997

BORBA, M. M. Z. BAZZO, A. M. Estudo econômico de ciclo produtivo da cana-de-açúcar para reforma de canavial, em área de fornecedor no Estado de São Paulo. In: **Congresso da Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural**, 47. Porto Alegre, 2009.

BP – Statistical Review of World Energy 2011. [www.bp.com](http://www.bp.com) acesso em 22/12/2011.

CAVALCANTI, M. C. B. **Tributação relativa etanol-gasolina no Brasil: competitividade dos combustíveis, arrecadação do Estado e internalização de custos de carbono.** Tese (doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Pós-Graduação em Planejamento Energético, Rio de Janeiro, 2011.

CHADDAD, F. R. **ÚNICA: Challenges to Deliver Sustainability in the Brazilian Sugarcane Industry.** IFAMA – International Food and Agribusiness Management Review. Vol 13, Issue 4, 2010

COGNITUS Business Simulation. <http://www.cognitus.co.uk/content/ithink-and-stella-features-and-benefits> Acesso em 23 dez. 2010.

COLUSSI, J. Aumento revela distorção de preços. **Zero Hora.** Porto Alegre, 01 abr. 2011. Reportagem Especial, p.4

COLUSSI, J. Flex para quê? Venda de etanol despenca no estado. **Zero Hora.** Porto Alegre, 25 fev. 2012. Economia, p.15

COSTA, C. C. GUILHOTO, J. J. M. Influência da tributação doméstica do etanol na economia brasileira. In: MAISTRO, M. C. M. **Desafios e perspectivas para o setor sucroenergético do Brasil**. São Carlos: EdUFSCar, 2011. p. 195-210.

DETRAN-RS. Departamento Estadual de Trânsito do Rio Grande do Sul. <http://www.detrans.rs.gov.br> Acesso em 09 set. 2010.

DOLCI, P. C. BERGAMASCHI, E. A. VARGAS, L. M. **Um mapa conceitual sobre pensamento sistêmico: seus conceitos e autores**. ANPAD – XXV Simpósio de Gestão da Inovação Tecnológica. Brasília, 2008

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. “Sai o zoneamento para cana-de-açúcar no RS”. <http://www.embrapa.br/imprensa/noticias/2009/abril/3a-semana/sai-o-zoneamento-para-cana-de-acucar-no-rs/> acesso em 02/03/2012.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Cadernos de Energia EPE: Perspectivas para o Etanol no Brasil. Brasília, 2008.

ESALQ/USP – PECEGE. **Custos de produção de cana-de-açúcar, açúcar e etanol no Brasil: Fechamento da safra 2010/2011**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Programa de Educação Continuada em Economia e Gestão de Empresas/Departamento de Economia, Administração e Sociologia. 2011. 141 p. Relatório apresentado à Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil – CNA.

FINSKUD, L. **Anticipating, and driving, industry futures: a strategy dynamics perspectives**. Strategic Management Society Conference. Paris: 2002. Disponível em <http://www.strategydynamics.com>. Acesso em: 16 out. 2010.

F. O. LICHTS. AGRA INFORMA. World Ethanol Markets: the outlook to 2020. 1999

FORRESTER, J. W. – **Industrial dynamics**. – MIT Press. Cambridge, 1961.

GIANNAKIS, M. LOUIS, M – **A multi-agent based framework for supply chain risk management**. – Journal of Purchasing and Supply Management. Vol 17. nº 1. 2011

HAMMES, M. I. RS tem o álcool mais caro. **Zero Hora**. Porto Alegre, 09 jan. 2006. Economia, p.16



HAMMES, M. I. O álcool mais caro do país. **Zero Hora**. Porto Alegre, 29 mar. 2011. Economia, p.11

JORNAL DO COMÉRCIO. Via Vida Biocombustíveis vai instalar usina em Rio Pardo. Porto Alegre, 16 jun. 2010. Empresas.

<http://jcrs.uol.com.br/site/noticia.php?codn=31384&codp=21&codni=3>. Acesso em 07/07/2011

LAMBERT, D. M. COOPER, M. C. **Issues in supply chain management**. Industrial Marketing Management, v. 29, p. 65-83, 2000

LIMA, N. D. **A formação dos preços do etanol hidratado no mercado brasileiro de combustíveis**. Tese (doutorado) – Universidade de São Paulo, Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Departamento de Administração, Programa de Pós-Graduação em Administração, São Paulo, 2011

MAISTRO, Marta Cristina Marjotta. **Desafios e perspectivas para o setor sucroenergético do Brasil**. São Carlos : EdUFSCar, 2011.

MAPA – Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Evolução da Produtividade e da produção de cana-de-açúcar no Brasil por safra. 2012

MAPA – Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. <http://www.agricultura.gov.br/desenvolvimento-sustentavel/agroenergia/orientacoes-tecnicas> acesso em 13/02/2012

MAPA – Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Anuário Estatístico da Agroenergia 2010

MARQUES, P. V. (Coord.) **Custo de Produção Agrícola e Industrial de Açúcar e Alcool no Brasil na Safra 2007/2008**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Programa de Educação Continuada em Economia e Gestão de Empresas/Departamento de Economia, Administração e Sociologia. 2009. 194 p. Relatório Apresentando a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil – CNA.

PETROBRAS. Petróleo Brasileiro S.A. <http://www.hotsitespetrobras.com.br/rao2008/i18n/pt/home/glossario.aspx>. Acesso em 23 dez. 2010.

PFAHL, D. LEBSANFT, K. **Knowledge acquisition and process guidance for building system dynamics simulation models: an experience report from software industry.** – International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering, vol. 10, n° 4, 2000.

RABOBANK. **The Future of Ethanol.** Rabobank Industry Note #303. 2012.

SANTOS, M. S. **O quadro institucional do biodiesel e suas implicações nas cadeias de suprimento: um estudo de casos múltiplos no estado do Rio Grande do Sul.** Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Administração, Programa de Pós-Graduação em Administração, Porto Alegre, 2009.

SENGE, Peter M. **The fifth discipline: the art and practice of the learning organization.** USA: Currency Doubleday, 2006.

SFREDO, M. O dilema do flex. **Zero Hora.** Porto Alegre, 27 mar. 2011. Dinheiro, p.1

SIMCHI-LEVI, D. KAMINSKY, P. SIMCHI-LEVI, E. **Cadeia de suprimentos: projeto e gestão;** trad. Marcelo Kippel – Porto Alegre: Bookman, 2003.

STERMAN, John D. **Business Dynamics: systems thinking and modeling for a complex world.** USA: McGraw-Hill Companies, Inc. 2000.

FRANK, M. Álcool, a molécula partida. **Superinteressante.** São Paulo: Abril, n. 106, jul. 1996. <http://super.abril.com.br/cotidiano/alcool-molecula-partida-436611.shtml>. Acesso em 17 dez. 2010.

TOWILL, D. R. **The seamless supply chain – The predators strategic advantage** International Journal of Technology Management, vol. 13, n° 1, 1997

UNICA – União das indústrias de cana-de-açúcar. <http://www.unica.com.br/> acesso em 04/01/2011

WOOD, T. Jr. ZUFFO, P. K. **Supply Chain Management.** ERA – Revista de Administração de Empresas, v.38, n.3, p.55-63, 1998.

XAVIER, C.E.O.; ZILIO, L.B.; SONODA, D.Y.; MARQUES, P.V. **Custos de produção de cana-de-açúcar, açúcar e etanol no Brasil: safra 2008/09.** Piracicaba: Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Programa de Educação Continuada

em Economia e Gestão de Empresas/Departamento de Economia, Administração e Sociologia. 2009. 79 p. Relatório Apresentando à Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil – CNA.

ZERO HORA –Região das missões, no RS, terá usina de etanol. Porto Alegre, 09 mar. 2010. <http://www.clicrbs.com.br/especial/rs/expointer-2010/19,0,2832478,Regiao-das-Missoes-no-RS-tera-usina-de-etanol.html>. Acesso em 07/07/2011.

ZYLBERSZTAJN, D. FARINA, E. M. M. C. **Strictly Coordinate Food-Systems: Exploring the limits of Coasian Firm**. International Food and Agribusiness Management Review, v. 2, n. 2 p. 249-265, 1999

## **ANEXO 1-A**

### **QUESTIONÁRIO DE REFERÊNCIA UTILIZADO NAS ENTREVISTAS COM ESPECIALISTAS (Primeira Parte)**

- Como se encontra a atual situação do cultivo de cana-de-açúcar para a produção de etanol no Rio Grande do Sul?
- Quais são as perspectivas para o futuro do cultivo de cana-de-açúcar para a produção de etanol no Rio Grande do Sul?
- Quais são os principais desafios para o crescimento da área plantada de cana-de-açúcar para a produção de etanol no Rio Grande do Sul?
- Quais são as variáveis que podem ser consideradas como mais importantes para o estudo da produção de cana-de-açúcar no Rio Grande do Sul?

## **ANEXO 1-B**

### **QUESTIONÁRIO DE REFERÊNCIA UTILIZADO NAS ENTREVISTAS COM ESPECIALISTAS (Segunda Parte)**

- Qual seria a atual produtividade esperada para o primeiro corte de uma plantação de cana-de-açúcar para a produção de etanol no Rio Grande do Sul?
- De quanto é a redução de produtividade esperada para os cortes seguintes em uma plantação de cana-de-açúcar para a produção de etanol no Rio Grande do Sul?
- Podemos esperar um aumento de produtividade para os próximos anos? Qual seria a magnitude deste aumento?
- Após quantos cortes se deve realizar a reforma de uma plantação de cana-de-açúcar para a produção de etanol no Rio Grande do Sul?
- Como o Resultado Financeiro pode impactar na realização das reformas?
- Que outros fatores são críticos dentro da cadeia de suprimento do etanol hidratado combustível que podem impactar a atividade do produtor de cana-de-açúcar?
- A estrutura de custos de uma plantação de cana-de-açúcar para a produção de etanol no Rio Grande do Sul poderia ser comparada ao levantamento de custos realizado pela ESALQ-PECEGE para a região Centro-Sul Tradicional?
- A quantidade de ATR por tonelada de cana-de-açúcar obtida em uma plantação de cana-de-açúcar para a produção de etanol no Rio Grande do Sul é equivalente a quantidade de ATR por tonelada de cana-de-açúcar obtida em plantações na região Centro-Sul?
- Qual sua opinião sobre o sistema de remuneração do produtor agrícola formatado pelo CONSECANA?
- Como um mal Resultado Financeiro em determinada safra pode impactar a produtividade das safras consecutivas?



**N° corte**

É a área do enésimo corte que está sendo colhida no ano i.

Unidade: ha/Year

Fórmula: Área (n°-1) corte \* PC

**PC**

É o percentual da área que será colhido. Foi considerado que este percentual se manterá sempre em 100%.

Unidade: 1/Year

Fórmula: 1

**Área n° corte**

Área colhida no enésimo corte

Unidade: ha

Valor inicial: 600 para  $1 < n < 5$  e 0 para  $6 < n < 10$

Fórmula: INTEG(“enésimo corte” - “enésimo+1 corte”)

**Reforma n anos**

É a área que está sendo reformada no ano i. Só há reforma se o LOE (lucro operacional efetivo) for positivo.

Unidade: ha/Year

Fórmula: if then else (LOE>0, Área n° corte\*PR,0)

**Área de Reforma**

É o somatório das áreas de Reforma n anos.

Unidade: ha

Valor inicial: 0

Fórmula: INTEG( $\sum$  Reforma n anos – Reforma)

**Reforma**

É quanto da Área de reforma será reformada no ano i.

Unidade: ha/Year

Fórmula: Área de Reforma\*PR

**PR**

É o percentual da área que será reformada. Foi considerado que este percentual se manterá sempre em 100%.

Unidade: 1/Year

Fórmula: 1

**Colheita**

É quantidade de cana colhida no ano i.

Unidade: t/Year

Fórmula:  $\sum$  Área n corte \* Pn

**Pn**

É a produtividade em cada corte. Foi considerado que a produtividade cai 14% a cada corte.

Unidade: t/(ha\*Year)

Fórmula:  $P(n-1) * 0,86 * \text{Impacto do lucro na produtividade}$

**Produtividade Inicial**

É a produtividade no primeiro corte. É uma das variáveis escolhidas para estudo. Foram realizadas simulações utilizando 90 t/ha e 120 t/ha.

Unidade: t/(ha\*Year)

Fórmula: 90 para as simulações 1 e 3

120 para as simulações 2 e 4

**Impacto do lucro na produtividade**

É quanto a produtividade sofre por falta de investimento. Se não houver lucro operacional efetivo, a produtividade em todos cortes cai 10%. Se houver lucro operacional efetivo mas

não houver lucro operacional total, a produtividade cai 5%. Se houver lucro operacional total, não há impacto na produtividade.

Unidade: adimensional

Fórmula:  $\text{if then else}(\text{LOE} < 0, 0.9, \text{if then else}(\text{LOT} < 0.95, 1))$

### **Estoque de Cana**

É a diferença entre a Colheita e a Cana Vendida.

Unidade: t

Valor inicial: 80.000

Fórmula:  $\text{INTEG}(\text{Colheita} - \text{Cana Colhida})$

### **Cana Vendida**

É a quantidade de cana vendida no ano i.

Unidade: t/Year

Fórmula:  $\text{Estoque de Cana} * \text{Percentual do estoque vendido}$

### **Percentual do Estoque Vendido**

É fração do estoque que será vendida. Foi considerado que em todos anos 100% do estoque será vendido.

Unidade: 1/Year

Fórmula: 1

### **Receita**

É quantidade de dinheiro, em reais, recebido pelo produtor pela venda da cana por ha.

Unidade: R\$/(ha\*Year)

Fórmula:  $(\text{Cana Vendida} * \text{VTC}) / \text{Área Colhida}$

### **Área Colhida**

É o somatório das áreas colhidas nos n cortes.

Unidade: ha



Fórmula:  $\sum$  Área enésimo corte

### **LOE (Lucro Operacional Efetivo)**

É receita descontada do COE (Custo Operacional Efetivo).

Unidade: R\$/(ha\*Year)

Fórmula: Receita - COE

### **LOT (Lucro Operacional Total)**

É receita descontada do COT (Custo Operacional Total).

Unidade: R\$/(ha\*Year)

Fórmula: Receita - COT

### **LT (Lucro Total)**

É receita descontada do CT (Custo Total).

Unidade: R\$/(ha\*Year)

Fórmula: Receita - CT

### **COE (Custo Operacional Efetivo)**

São todos custos desembolsáveis (insumos, mão de obra, energia). Para efeito deste estudo foi utilizado o COE divulgado para o levantamento de custos da safra 2010/2011 para a região Centro-Sul Tradicional (ESALQ/USP-PECEGE 2011)

Unidade: R\$/(ha\*Year)

Fórmula: 2.668

### **COT (Custo Operacional Total)**

São os custos desembolsáveis (insumos, mão de obra, energia) somados com a depreciação. Para efeito deste estudo foi utilizado o COT divulgado para o levantamento de custos da safra 2010/2011 para a região Centro-Sul Tradicional (ESALQ/USP-PECEGE 2011)

Unidade: R\$/(ha\*Year)

Fórmula: 3.831

## CT (Custo Total)

São os custos desembolsáveis (insumos, mão de obra, energia) somados com a depreciação e custos de remuneração da terra e do capital. Para efeito deste estudo foi utilizado o CT divulgado para o levantamento de custos da safra 2010/2011 para a região Centro-Sul Tradicional (ESALQ/USP-PECEGE 2011)

Unidade: R\$/(ha\*Year)

Fórmula: 4.919

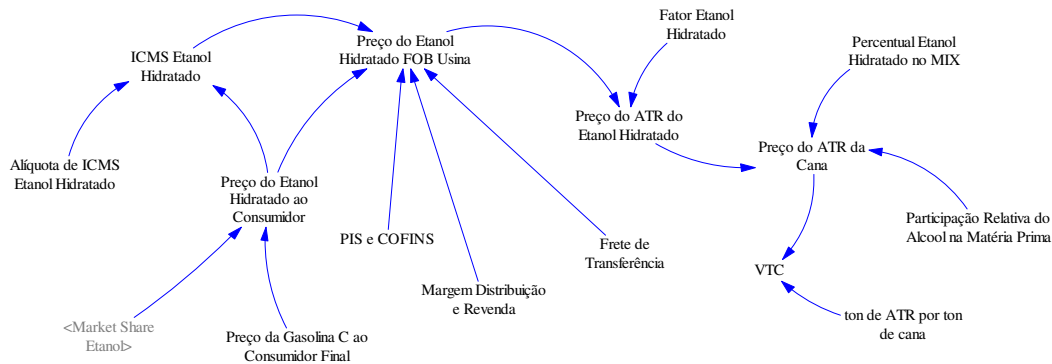
## Nova Área

São novas áreas destinadas ao plantio de cana. Só há disponibilização de novas áreas quando o Lucro Total for positivo.

Unidade: ha/Year

Fórmula: if then else(LT>0,5.000,0)

## CÁLCULO DO VALOR DA TONELADA DE CANA (VTC)



## Preço da Gasolina C ao Consumidor Final

É o preço que o consumidor paga pela gasolina nos postos de abastecimento. Foi utilizado o preço médio no ano de 2011 no estado do Rio Grande do Sul, divulgado pela ANP (<http://www.anp.gov.br/preco/>)

Unidade: R\$/m3

Valor: 2755

### **Preço do Etanol Hidratado ao Consumidor**

É o preço que torna o etanol hidratado equivalente à gasolina, considerando o menor rendimento energético.

Unidade: R\$/m<sup>3</sup>

Fórmula: if then else(Market Share Etanol>0.7,Preço da Gasolina C ao Consumidor Final\*0.7\*0.8,Preço da Gasolina C ao Consumidor Final\*0.7)

### **Alíquota de ICMS Etanol Hidratado**

É a alíquota definida pelo Governo do Estado do Rio Grande do Sul para cálculo da retenção do imposto sobre as vendas do etanol hidratado. Hoje a alíquota de ICMS para vendas internas no Rio Grande do Sul está fixada em 25% (MAISTRO, 2011).

Além da alíquota vigente hoje de 25%, também foram avaliadas simulações considerando uma redução da alíquota para 12%.

Unidade: adimensional

Valor: 0,25 ou 0,12

### **ICMS Etanol Hidratado**

É o valor pago de ICMS para governo sobre cada metro cúbico vendido de etanol hidratado.

Unidade: R\$/m<sup>3</sup>

Fórmula: Alíquota de ICMS Etanol Hidratado\*Preço do Etanol Hidratado ao Consumidor

### **PIS e COFINS**

É o valor dos impostos cobrados pelo governo federal sobre a venda de cada metro cúbico de etanol hidratado. A lei 9.9718/98 em conjunto com o decreto 6573/08 estabelecem o regime especial para o recolhimento de PIS e COFINS sobre as vendas de etanol hidratado, onerando ao produtor o recolhimento de R\$ 48 por cada metro cúbico vendido. As alíquotas da contribuição para o PIS/PASEP e da COFINS incidentes sobre a receita bruta decorrente da venda de álcool etílico hidratado carburante, realizada por distribuidor e revendedor varejista foram reduzidas a zero pela lei nº 10.833/2003.

Unidade: R\$/m<sup>3</sup>

Valor: 48

### **Margem Distribuição e Revenda**

É a parcela do valor do etanol hidratado que remunera as atividades de distribuição e revenda. Foi usado como referência a parcela de 16% do preço ao consumidor publicada no site da Petrobras para a composição do preço da gasolina (<http://www.petrobras.com.br/pt/produtos/composicao-de-precos/> - acesso em 23/07/2012). Estamos assumindo que a distribuidora e a revenda possuem custos e margens semelhantes para a comercialização de gasolina e etanol.

Unidade: R\$/m<sup>3</sup>

Valor: 441

### **Frete de Transferência**

É o valor do frete do etanol hidratado da usina até a base de distribuição. Foi considerada uma distância média de 200 km. Foi considerado a média de 0,18 R\$/m<sup>3</sup>.km publicada no site do Sistema de Informações de Frete (SIFRECA - <http://sifreca.esalq.usp.br/sifreca/pt/fretes/rodoviaros/index.php?q=>, acesso em 23/07/2012) para o álcool na região Sudeste.

Unidade: R\$/m<sup>3</sup>

Valor: 36

### **Preço do Etanol Hidratado Entregue na Usina**

É o preço que o produtor recebe pelo etanol hidratado entregue na usina, livre de impostos.

Unidade: R\$/m<sup>3</sup>

Fórmula: Preço do Etanol Hidratado ao Consumidor-PIS e COFINS-Margem Distribuição e Revenda-ICMS Etanol Hidratado-Frete de Transferência

### **Fator Etanol Hidratado**

É o fator de conversão do volume de etanol hidratado em Kg de ATR. 1 Kg de ATR produz 0,59126 litros de etanol hidratado a 93,0° INPM. Para produzir 1,0 litro de etanol hidratado necessita-se de  $1/0,59126=1,6913$  Kg de ATR (MAISTRO, 2011).

Unidade: t/m<sup>3</sup>

Valor: 1,6913

**Preço do ATR do Etanol Hidratado**

É o preço do etanol hidratado convertido para unidades de ATR.

Unidade: R\$/t

Fórmula: Preço do Etanol Hidratado FOB Usina/Fator Etanol Hidratado

**Percentual de Etanol Hidratado no Mix**

É quanto a usina produz de etanol hidratado em relação ao etanol anidro e ao açúcar. Estaremos considerando uma usina que produz apenas etanol hidratado. Neste trabalho estamos considerando que a usina só produz etanol hidratado.

Unidade: adimensional

Valor: 1

**Participação Relativa do Álcool na Matéria Prima**

Segundo critérios do CONSECANA, de acordo com um estudo dos custos de produção elaborado em 2005, da receita obtida com a venda do etanol, a área agrícola recebe 62,1% e a área industrial 47,9% (MAISTRO, 2011).

Unidade: adimensional

Valor: 0,621

**Preço do ATR da Cana**

É a conversão do preço do ATR dos produtos no preço do ATR da Cana

Unidade: R\$/t

Fórmula: (Preço do ATR do Etanol Hidratado \* Participação Relativa do Alcool na Matéria Prima

**Ton de ATR por ton de cana**

É a quantidade de ATR contido na cana-de-açúcar. Este valor depende da qualidade das mudas, tipo de solo e clima. Neste estudo foi utilizado 140 Kg de ATR por tonelada de cana, um valor médio observado na Região Centro-Sul nos últimos vinte anos (MAISTRO, 2011).

Unidade: adimensional (t/t)

Valor: 0,14

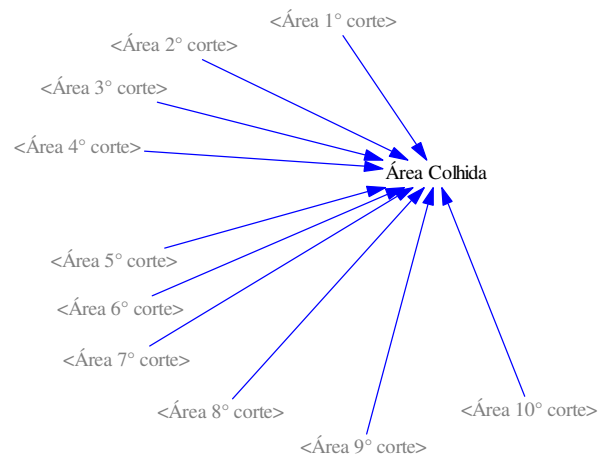
### Valor da Tonelada de Cana (VTC)

É o valor recebido pelo produtor por tonelada de cana-de-açúcar entregue.

Unidade: R\$/t

Fórmula: Preço do ATR da Cana\*ton de ATR por ton de cana

### CÁLCULO DA ÁREA COLHIDA



#### Área n° corte

Área colhida no n° corte

Unidade: ha

Valor inicial: 600 para  $1 < n < 5$  e 0 para  $6 < n < 10$

Fórmula: “n° corte” - “n°+1 corte”

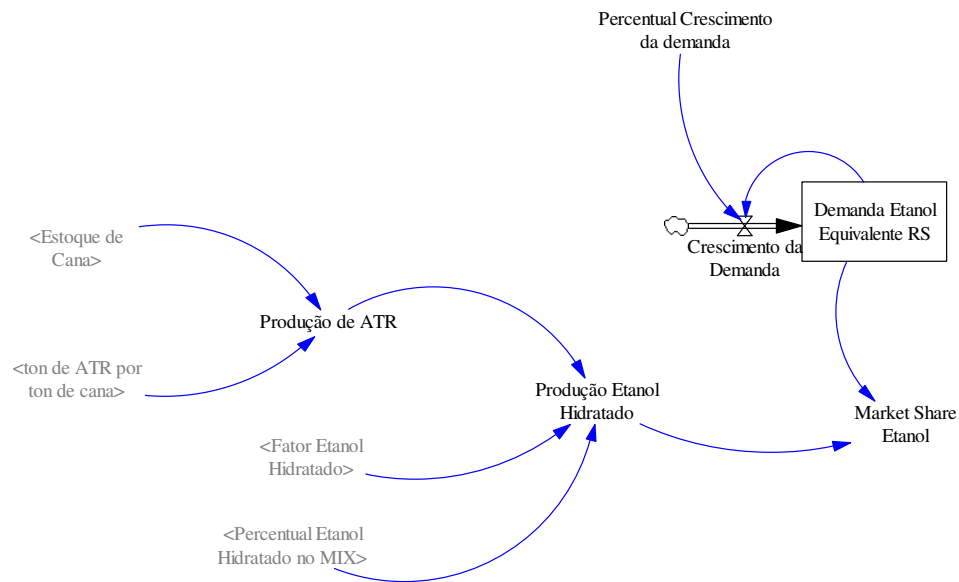
#### Área Colhida

É o somatório de Área colhida no n° corte a cada ano

Unidade: ha

Fórmula:  $\sum$  Área n° corte

## CÁLCULO DA PRODUÇÃO DE ETANOL HIDRATADO



### Produção de ATR

É a quantidade de ATR produzida a cada ano

Unidade: t

Fórmula: Estoque de Cana\*ton de ATR por ton de cana

### Produção de Etanol Hidratado

É a quantidade de Etanol Hidratado produzida a cada ano

Unidade: m<sup>3</sup>

Fórmula: Produção de ATR/Fator Etanol Hidratado\*Percentual Etanol Hidratado no MIX

### Demanda Etanol Equivalente RS

É a demanda anual combinada de gasolina C e etanol hidratado no estado do Rio Grande do Sul. A gasolina C foi convertida em etanol pela divisão de seu valor por 0,7. A demanda inicial foi considerada como a demanda combinada no ano de 2011, publicada pela ANP (ANP, 2012)

Unidade: m<sup>3</sup>

Valor inicial: 4.157.000

Fórmula: INTEG (Crescimento da Demanda)

### **Crescimento da Demanda**

É o crescimento anual da demanda combinada de etanol hidratado e gasolina C.

Unidade: m<sup>3</sup>

Fórmula: Demanda Etanol Equivalente RS\*Percentual Crescimento da demanda

### **Percentual Crescimento da Demanda**

É o percentual anual de crescimento da demanda combinada de etanol hidratado e gasolina C. O percentual adotado corresponde ao crescimento médio nos últimos 5 anos (ANP, 2012)

Unidade: adimensional

Valor: 0,08

### **Market Share Etanol**

É a parcela ocupada pelo etanol hidratado na demanda combinada de etanol hidratado e gasolina C.

Unidade: adimensional

Fórmula: Produção Etanol Hidratado/Demanda Etanol Equivalente RS