

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
CENTRO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM AGRONEGÓCIOS - CEPAN  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONEGÓCIOS**

**Daniel Fernando Kolling**

**DETERMINAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DE UMA PLANTA MULTI-  
PRODUTO NO ESTADO DO MATO GROSSO COM BASE NA  
EFICIÊNCIA DA PRODUÇÃO DE ETANOL**

**PORTO ALEGRE**

**2012**

**Daniel Fernando Kolling**

**DETERMINAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DE UMA PLANTA MULTI-  
PRODUTO NO ESTADO DO MATO GROSSO COM BASE NA  
EFICIÊNCIA DA PRODUÇÃO DE ETANOL**

**Dissertação de Mestrado, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronegócios, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Agronegócios.**

**Orientador: Prof. Dr. Homero Dewes**

**PORTO ALEGRE**

**2012**

### CIP - Catalogação na Publicação

Kolling, Daniel Fernando

DETERMINAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DE UMA PLANTA MULTI-  
PRODUTO NO ESTADO DO MATO GROSSO COM BASE NA  
EFICIÊNCIA DA PRODUÇÃO DE ETANOL / Daniel Fernando  
Kolling. -- 2012.  
74 f.

Orientador: Homero Dewes.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do  
Rio Grande do Sul, Centro de Estudos e Pesquisas em  
Agronegócios, Programa de Pós-Graduação em Agronegócios,  
Porto Alegre, BR-RS, 2012.

1. Etanol. 2. Custos. 3. Viabilidade. 4. Sistemas  
de apoio a decisão. I. Dewes, Homero , orient. II.  
Título.

**Daniel Fernando Kolling**

**DETERMINAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DE UMA PLANTA MULTI-  
PRODUTO NO ESTADO DO MATO GROSSO COM BASE NA  
EFICIÊNCIA DA PRODUÇÃO DE ETANOL**

**Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronegócios, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Agronegócios.**

Aprovado em 12 de abril de 2012.

Homologada em \_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2012.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Antonio Domingos Padula – UFRGS

---

Prof. Dr. Luiz Carlos Federizzi – UFRGS

---

Prof. Dr. Edson Talamini – UFRGS

---

Orientador – Prof. Dr. Homero Dewes - UFRGS

*Dedico esta conquista aos meus maiores professores e incentivadores, amados pais, Ladir e Jose Kolling, e a minha querida e adorada irmã Deise Juliana Kolling, que agora espera minha afilhada Júlia nascer. Que Deus vos abençoe!*

## AGRADECIMENTOS

Ao finalizar mais uma importante etapa de minha vida, gostaria de agradecer a todos aqueles que participaram e contribuíram para realização deste sonho! Muito Obrigado!

A Deus, pela vida maravilhosa e por mais esta conquista concedida!

Aos meus pais, Ladir e José, pelo afeto e amor incondicional, sabendo orientar-me ao longo da vida, respeitando e, principalmente, apoiando minhas escolhas, minha eterna gratidão.

A minha irmã Deise J. Kolling, pelo incentivo em continuar os estudos e todo apoio recebido ao longo da caminhada.

A todos meus familiares que de alguma forma contribuíram para minha formação.

Ao professor Homero Dewes, pelos seus ensinamentos de uma Vida acadêmica e orientação deste trabalho.

Ao grande mestre Omar Benedetti, por toda dedicação e envolvimento para o suporte deste trabalho.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul pela oportunidade de cursar um curso gratuito e de qualidade.

Ao Centro de Estudos e Pesquisas em Agronegócios (CEPAN) por meio do Programa de Pós-Graduação em Agronegócios que me ensinou a pensar de uma maneira diferente, com enfoque em uma visão interdisciplinar.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Agronegócios, pelo esforço, dedicação e qualidade do ensino oferecido.

A Cooperativa Agroindustrial do Parecis - COOAPAR, pela disponibilização dos dados e informações para este trabalho.

Ao Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária – IMEA, pela valiosa contribuição nos dados deste trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo fundamental apoio através da bolsa de mestrado.

Aos meus grandes amigos (a) gaúchos, Carlos, Felipe, Maria Isabel e Vitor, pelos inúmeros momentos de alegrias, cantorias, viagens, e até discussões, os quais sem dúvidas, fortaleceram nossos laços de amizade. Foi um presente de Deus conhecê-los! O violeiro de Chapecó deseja muito sucesso a todos vocês!

Aos meus colegas do “cafofo”, Adriano e Dieisson, os quais compartilharam ativamente todos os momentos, não poupando esforços para o bem-estar da “família”, meu eterno agradecimento! Sem dúvidas, grandes amigos!

A todos meus colegas e amigos de Chapecó, que sempre me incentivaram nesta conquista!

A todos os meus colegas de caminhada do CEPAN, pelos excelentes momentos vividos, trocas de experiência e colaboração recebida.

Por fim, àqueles amigos que não citei, mas se fizeram presentes, cada um de sua maneira e também contribuíram para este trabalho, agradeço.

Muita saúde e paz a todos vocês, nunca se esqueçam que podem contar comigo, mesmo que eu esteja longe!

## RESUMO

A utilização de biomassa vegetal para produção de etanol como forma de substituição dos combustíveis fósseis, é uma alternativa explorada por diversos países. O Brasil, segundo produtor mundial de etanol, utiliza como principal matéria-prima a cana-de-açúcar. Entretanto, com a possibilidade da extração de etanol de outras matérias-primas já realizados em outros países, como EUA, China, União Européia, surge, no estado do Mato Grosso, Brasil, o interesse em processar mandioca, milho e sorgo sacarino para produção do etanol. Utilizando-se do aporte teórico da Teoria da Localização, este trabalho tem por objetivo, avaliar a viabilidade da produção de etanol a partir de uma planta multi-produto na região Oeste do estado do Mato Grosso. Com a utilização de modelagem matemática, avaliou-se o local ideal para construção de uma planta industrial, bem como os custos de produção para as matérias-primas provindas de cada município. Os resultados apontam para viabilidade econômica do processamento da mandioca e do sorgo sacarino para produção de etanol em alguns municípios da região. O processamento dessas duas culturas para produção de etanol pode vir a modificar o sistema produtivo atual, aumentando as áreas destinadas ao cultivo de mandioca e sorgo sacarino, diminuindo a dependência dos programas de subsídios para o escoamento da produção do milho. A cultura do sorgo sacarino se inviabiliza conforme o aumento da necessidade de transporte. A cultura do milho, mesmo com a venda do subproduto protéico, mostrou-se inviável do ponto de vista econômico para produção de etanol.

**Palavras-chave:** Etanol, Custos, Viabilidade, Sistemas de apoio a decisão;

## ABSTRACT

The use of biomass for ethanol production as a way to replace fossil fuels, an alternative explored by several countries. In Brazil, the second largest producer in the world, the main raw material used for ethanol production is sugarcane. However, with the possibility of extracting ethanol from other feedstocks as already made in other countries such as USA, China, Hong Kong, in the state of Mato Grosso, Brazil, there is a growing interest in processing cassava, maize and sweet sorghum for production of ethanol. Using the Theory of Location, this article is aimed at the evaluation of the feasibility of producing ethanol in a multi-product plant in the Western state of Mato Grosso. Using mathematical modeling, we evaluated the ideal location for building an industrial plant and calculated the production costs for raw materials coming from each neighbor municipality. The results point to the economic viability of the processing of cassava and sweet sorghum for ethanol production in some city areas. The processing of these two crops to produce ethanol is likely to modify the current production system, increasing the areas for the cultivation of cassava and sweet sorghum, and reducing the dependence on subsidy programs for marketing of corn production. The cultivation of sweet sorghum is unfeasible with increasing need for transportation. The corn crop, even with the sale of DDGS, proved to be unfeasible economically for ethanol production.

**Keywords:** Ethanol, costs, feasibility, decision support systems;

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Volume de mandioca produzido no Brasil no período de 1997 a 2010.....	27
Figura 2 - Preços da comercialização da mandioca de jan/2008 a set/2011. ....	28
Figura 3 - Fluxograma do processo de produção de etanol a partir da mandioca.....	30
Figura 4 – Volume de milho produzido no Brasil no período de 1997 a 2011 .....	32
Figura 5 – Volume de milho safrinha produzido no Brasil e no Mato Grosso.....	33
Figura 6 - Preços médios pago por saca de milho no Brasil e no Mato Grosso.....	34
Figura 7 - Processo de produção de etanol de milho a “úmido” .....	35
Figura 8 - Processo de produção de etanol de milho a “seco” .....	36
Figura 9 – Volume de sorgo produzido no Brasil e no estado do Mato Grosso.....	38
Figura 10 - Processo de produção de etanol a partir do sorgo.....	40
Figura 11 - Mapa do Brasil, com destaque para o estado do Mato Grosso (em verde) e a região de estudo, Oeste do Mato Grosso (em azul).....	47
Figura 12 – Produção de biomassa das culturas analisadas na região Oeste do Mato Grosso.	51
Figura 13 – Volume da produção, em milhões de litros/ano de etanol, capaz de ser produzido com as biomassas da região Oeste do Mato Grosso .....	54
Figura 14 – Custos de produção do etanol para o processamento das matérias-primas analisadas na região Oeste do estado do Mato Grosso, em milhões de Reais.....	55
Figura 15 – Relação entre custos de produção médio das cinco localidades com maior representatividade da produção de biomassa na região Oeste do Mato Grosso próximas a planta de etanol hipotética e o preço de comercialização ao longo do período.....	58

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Volume de etanol produzido dos principais países entre 2000 – 2010 (bilhões de litros).....	16
Tabela 2 – Produtividade média entre as principais variedades de mandioca cultivadas na região Oeste do estado do Mato Grosso .....	28
Tabela 3 – Coeficientes produtivos da mandioca.....	30
Tabela 4 - Volume de milho destinado para cada atividade (x1000 toneladas).....	32
Tabela 5 – Parâmetros utilizadas na análise de viabilidade da implantação de uma biorrefinaria de etanol no Oeste do Mato Grosso.....	48
Tabela 6 – Distância da produção, em quilômetros, entre os municípios avaliados até a biorrefinaria e produção de biomassa por município .....	53
Tabela 7 – Custo de produção (R\$/L) do etanol com a simulação de uma usina hipotética localizada no município de Campo Novo dos Parecis, na região Oeste do Mato Grosso, com matérias-primas provenientes de diferentes municípios.....	56

## SUMÁRIO

<b>ABSTRACT .....</b>	<b>8</b>
<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>13</b>
<b>1 INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>14</b>
<b>2 REFERENCIAL .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1 A PRODUÇÃO DE ETANOL .....</b>	<b>16</b>
2.1.1 Produção Mundial .....	16
2.1.2 Produção no Brasil .....	18
<b>2.2 CARACTERIZAÇÃO DA OCUPAÇÃO E PRODUÇÃO AGRÍCOLA NO ESTADO DO MATO GROSSO .....</b>	<b>21</b>
<b>2.3 DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO REGIONAL .....</b>	<b>24</b>
<b>2.4 CARACTERIZAÇÃO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA .....</b>	<b>26</b>
2.4.1 A produção da Mandioca.....	26
2.4.2 Processo de produção do etanol a partir da mandioca.....	29
2.4.3 A produção de Milho.....	31
2.4.4 Os processos da produção de etanol a partir do milho .....	34
2.4.5 A produção do Sorgo sacarino.....	37
2.4.6 Processo de produção de etanol a partir do Sorgo sacarino .....	39
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>41</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>42</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>42</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>43</b>
<b>2 TEORIA DA LOCALIZAÇÃO .....</b>	<b>45</b>
<b>3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....</b>	<b>46</b>
<b>3.1 Delimitação .....</b>	<b>46</b>
<b>3.2 Localização .....</b>	<b>46</b>
<b>3.3 Ferramental analítico .....</b>	<b>47</b>
<b>3.4 Parâmetros utilizadas na análise.....</b>	<b>48</b>
3.4.1 Parâmetros de processamento.....	48
3.4.2 Parâmetros de logística.....	49
<b>3.5 Produção considerada .....</b>	<b>49</b>
<b>3.6 Receita de comercialização .....</b>	<b>49</b>

<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>50</b>
<b>4.1 Localização ideal .....</b>	<b>50</b>
<b>4.2 Produção de biomassa .....</b>	<b>51</b>
<b>4.3 Custo do transporte .....</b>	<b>52</b>
<b>4.4 Volume de Produção.....</b>	<b>53</b>
<b>4.5 Custos de Produção .....</b>	<b>54</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>59</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>60</b>
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>63</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>64</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>66</b>
<b>APÊNDICE 1 – Resultados dos modelo .....</b>	<b>71</b>
<b>ANEXO 1 – Modelo utilizado.....</b>	<b>73</b>

## **CAPÍTULO I**

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

O crescimento populacional, o aumento da expectativa de vida e a busca da humanidade pelo conforto e satisfação de suas necessidades geram amplos efeitos na demanda por energia. A utilização de biomassa vegetal para geração de energia é apontada como uma das alternativas para atenuar a dependência energética da humanidade dos combustíveis fósseis.

O emprego de biomassa vegetal para produção de biocombustíveis contribui com o desenvolvimento econômico, promove a geração de empregos, forma condições de prover segurança e capacidade energética, além de auxiliar no crescimento e desenvolvimento econômico regional (FISCHER; SCHRATTENHOLZER, 2001).

Entre os países produtores de combustíveis à base de energias renováveis, o Brasil se destaca mundialmente na produção de etanol com a utilização da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). Esta cultura tem apresentado os melhores rendimentos e níveis de eficiência quando comparada a outras biomassas utilizadas para produção de etanol. A demais a diversidade edafoclimática do Brasil, permite ao país cultivar além da cana-de-açúcar diferentes matérias-primas passíveis de serem transformadas em etanol.

O estado do Mato Grosso é um dos maiores produtores de milho (*Zea mays* L.) do Brasil (CONAB, 2011). Nesse estado o milho é uma das culturas cultivadas no período da segunda safra, gerando um excedente de oferta na região.

Além do milho, o Mato Grosso é destaque na produção de sorgo (*Sorghum bicolor*) e de mandioca (*Manihot esculenta* C.), ambas as culturas com baixo valor de comercialização no estado, mas passíveis de serem fermentadas e utilizadas para produção de etanol (CUNHA; SAVERO FILHO, 2010; WICKE *et al.*, 2011).

A utilização dessas matérias-primas para produção de etanol é um processo pouco difundido no Brasil, embora muito utilizado e dominado industrialmente em países como os EUA, China e a Tailândia (BENNETT; ANEX, 2009; HETTINGA *et al.*, 2009).

A cultura da mandioca é abundante em todo território nacional. Trata-se de uma planta rústica com facilidade de se desenvolver. Dentre as principais características ressalta-se a tolerância à estiagem e ao excesso de chuvas, o rendimento satisfatório em solos de baixa fertilidade e o cultivo e a colheita em qualquer época do ano. Além dessas características de crescimento, a mandioca é uma planta com alto rendimento na produção de etanol. Em países como a China e Tailândia chega-se obter o rendimento de até 380 litros de etanol por tonelada de mandioca (SRIROTH *et al.* 2010).

O milho é um cereal cultivado praticamente em todos os países. O Brasil é o terceiro maior produtor mundial, ficando atrás dos EUA e da China. Esse cereal apresenta características de ciclo curto, cultivo totalmente mecanizado, alta produtividade, resistência às pragas, entre outras. Nos EUA o milho é uma planta amplamente utilizada na produção de etanol, embora este uso seja criticado em diversos países, devido ao baixo rendimento energético e reduzida eficiência econômica na produção desse biocombustível (380 litros de etanol por tonelada) quando comparado a outras fontes de matéria-prima (ZHANG *et al.* 2011).

O sorgo sacarino é uma cultura que se assemelha à cana-de-açúcar por armazenar o açúcar no colmo da planta. O sorgo sacarino difere da cana-de-açúcar pelo fato do seu cultivo ser feito a partir de sementes e apresentar o ciclo vegetativo curto, cerca de 120 a 130 dias. O sorgo sacarino também é uma cultura relativamente rústica, a qual é capaz de se desenvolver em regiões com estresses hídricos, solos ácidos e com baixos níveis de fertilidade. De acordo com Linton *et. al.* (2011) a cultura do sorgo sacarino é capaz de produzir cerca de 35 litros de etanol por tonelada.

As três culturas ora descritas fazem parte do sistema produtivo da região. Frente aos impactos de uma eventual nova demanda para o processamento de mandioca, milho e sorgo sacarino na região oeste do estado do Mato Grosso, é pertinente se questionar se seria viável implantar-se na região um sistema de produção de etanol multi-produto baseado nessas culturas.

A importância deste presente trabalho se deve ao fato do estado do Mato Grosso concentrar 14% da produção nacional de milho, o que corresponde a 7,6 milhões de toneladas (CONAB, 2011). O consumo interno no Mato Grosso é de apenas 1,5 milhões de toneladas (IMEA, 2011), sendo que 6,1 milhões de toneladas são exportadas por vias rodoviárias para outras regiões e outros países havendo, portanto, disponibilidade de matérias-primas para o processamento industrial no estado.

Dessa forma, os objetivos deste trabalho são a definição teórica da localização de uma planta de produção de etanol e a avaliação da viabilidade da instalação dessa planta a partir de diferentes matérias-primas no estado do Mato Grosso. Para isso, se utiliza aqui o modelo de programação matemática desenvolvido por Benedetti (2012), que considera a variável quantidade de matérias-primas produzidas na região e os parâmetros distância da planta de produção de etanol, os custos de produção e os fatores de conversão. A escolha deste modelo, frente a outros de abordagem semelhante, se fundamenta no fato de que neste são utilizados parâmetros de validade regional evidente.

## 2 REFERENCIAL

Nesta seção é apresentada uma revisão de literatura a qual fornece subsídios para contextualizar a pesquisa e fornecer base para o entendimento do trabalho.

### 2.1 A PRODUÇÃO DE ETANOL

#### 2.1.1 Produção Mundial

A produção global de biocombustíveis tem aumentado rapidamente desde o início dos anos 2000 (Tabela 1). Apesar de alguns países, como os Estados Unidos e Brasil, terem começado seus programas de desenvolvimento de biocombustíveis em meados de 1970, a expansão destes programas foi acelerada somente a partir do ano 2000 (DEMAIN, 2009).

Essa expansão se deu devido a novos padrões mundiais de emissões de gases e por elevações no preço do petróleo. Os maiores produtores de etanol no mundo são os EUA e o Brasil que, juntos, representaram no ano de 2007, cerca de três quartos da oferta mundial de etanol (YANG *et al.*, 2009).

**Tabela 1 – Volume de etanol produzido dos principais países entre 2000 – 2010 (bilhões de litros)**

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Etanol total	18,8	17,0	18,6	21,1	25,9	29,2	32,3	37,9	50,0	65,3	40,1
USA	5,6	6,2	6,7	8,1	10,6	12,9	14,8	18,4	24,6	34,1	40,1
União Européia	0,2	0,2	0,4	0,4	0,5	0,9	1,6	1,8	2,9	3,7	n/d
Brasil	13	10,6	11,5	12,6	14,8	15,4	15,9	17,7	22,5	27,5	n/d-

\*n/d – Dados não disponíveis até o momento da pesquisa.

Fonte: USA: US Renewable Fuels Association; UE - Biofuels platform - ENERS Energy Concept; Brasil: UNICA – União da indústria da cana-de-açúcar.

Nos EUA a produção do etanol é derivada principalmente de grãos de milho. Este modelo de produção foi estimulado principalmente após aprovada a “Lei do Ar Limpo” no Congresso Americano, a qual exigiu que a gasolina comercializada em regiões com alta concentração de monóxido de carbono fosse reformulada. Essa lei obrigou o país a modificar o aditivo oxigenado (MTBE – Éter metil-terciário butílico) misturado à gasolina, de forma que o novo aditivo deveria melhorar a combustão, reduzir a emissão de elementos tóxicos e outras substâncias capazes de degradar a qualidade do ar (LOVEI, 1998).

Contudo, a utilização do milho para produção do etanol nos EUA vem sofrendo críticas devido aos problemas ambientais (excessivo uso de herbicidas, inseticidas e fertilizantes nitrogenados no processo produtivo da cultura) e aos excessos de subsídios

fornecidos, que totalizaram mais de 12 bilhões de dólares em 2008 (HAHN; CECOT, 2009; ZHANG *et al.*, 2011).

Entretanto, mesmo com as críticas ao modelo de produção norte-americano, o país produziu em 2010 aproximadamente 40 bilhões de litros de etanol (RFA, 2011). Com esta produção, promoveu-se um maior investimento na agricultura, auxiliando, assim, o desenvolvimento rural, permitindo a criação de empregos na produção de matérias-primas, na indústria, no transporte e na distribuição dos produtos envolvidos no processo (FISCHER; SCHRATTENHOLZER, 2001).

O Brasil, uma das nações líderes no desenvolvimento de energias renováveis e combustíveis líquidos, tem utilizado como principal matéria-prima para produção de etanol a cana-de-açúcar. Esta cultura, quando comparada às outras possibilidades existentes para produção de etanol, tem se mostrado superior na relação final total de custo/rendimento (TAO; ADEN, 2009).

Esse fato ocorre devido a que os custos de produção, a produtividade, o rendimento e os custos do processamento industrial da cana-de-açúcar serem inferiores aos custos das matérias-primas utilizadas em outros países. Além disso, a cana-de-açúcar é uma planta de duplo propósito, sendo possível utilizá-la tanto para produção de etanol quanto para a produção de açúcar e derivados. (TAO; ADEN, 2009).

A China ocupa o terceiro lugar mundial na produção e no consumo de etanol combustível, onde aproximadamente 85% do total produzido têm como principais matérias-primas o milho, a mandioca (*Manihot esculenta* C.) e o arroz (*Oryza sativa* L.). O país traçou como meta, até o ano de 2012, produzir 6,3 bilhões de litros, misturando 10% de etanol à metade do combustível utilizado no país. Entretanto, devido a preocupações com o nível de eficiência e segurança alimentar, passou-se a estimular a produção de mandioca, sorgo sacarino (*Sorghum bicolor*) e batata-doce (*Ipomoea batatas* L.) para substituir o milho e o arroz, utilizados atualmente na produção do etanol (NAYLOR *et al.*, 2007).

Na União Européia, a produção de etanol é feita principalmente com a utilização do trigo (*Triticum aestivum* L.) e da beterraba (*Beta vulgaris* L.) como matérias-primas (TAO; ADEN, 2009). Além dessas matérias-primas, esse bloco está desenvolvendo uma nova alternativa para produção de energias renováveis, através da utilização dos resíduos de culturas agrícolas (trigo, cevada, aveia, centeio, arroz, milho, girassol e canola) que permanecem no campo após a colheita (SCARLAT *et al.*, 2010).

Recentemente, a Tailândia também iniciou um programa para produção de biocombustíveis. Nesse país, a maioria das plantas industriais produz etanol a partir da cana-

de-açúcar e, gradativamente, estão mudando a fonte de matéria-prima para a mandioca. Com nove usinas em funcionamento, o país possui uma capacidade de produção diária de 1,26 milhões de litros (CHIRAPANDA, 2008).

Percebendo o desenvolvimento da cadeia dos biocombustíveis, empresas produtoras de sementes de milho estão se posicionando para desenvolver híbridos específicos para produção de etanol. Estes híbridos, com características de resistência a pragas e de ciclo precoce, destacam-se pelo desenvolvimento de grãos com maior quantidade de amido extraível e fermentável (BOTHAST; SCHLICHER, 2005).

Os avanços na produção de etanol no Brasil, ao longo dos anos em que o país iniciou o desenvolvimento do etanol, se relacionam ao desenvolvimento e multiplicação de variedades de cana-de-açúcar com níveis elevados de produção de etanol e açúcar, melhoria na tecnologia agrícola empregada, redução de custos com a colheita, desenvolvimento de novos equipamentos, manejo de resíduos agrícolas que garantiram o destaque do programa brasileiro de produção de etanol.

Na China e Tailândia, a produção do etanol tem como principal matéria-prima a mandioca. Os progressos na utilização desta cultura estão focados principalmente no rendimento, manejo e no teor de amido (ADEOTI, 2010).

Apesar desses avanços em culturas já consolidadas para produção de etanol como a mandioca, o milho e a cana-de-açúcar, novas pesquisas indicam modificações expressivas para cadeia de biocombustíveis com a utilização da biomassa lignocelulósica, também chamado de etanol de segunda geração. Nesta, estariam inclusos madeiras e resíduos vegetais, como a palha de milho, palha de trigo, bagaço de cana-de-açúcar entre outras (TAO; ADEN, 2009).

Os materiais lignocelulósicos são a grande aposta mundial, pois são abundantes e têm potencial de reduzir significativamente os impactos ambientais em relação às tecnologias de hoje.

### **2.1.2 Produção no Brasil**

A cana-de-açúcar foi introduzida na região nordeste do Brasil no Século XVII, com o objetivo de quebrar o monopólio mundial da França sobre a oferta de açúcar produzido nas ilhas do Caribe. Desde então, foi disseminada rapidamente pelo Nordeste brasileiro e, mais tarde, em São Paulo, tornando-se uma importante atividade agrícola no país (MOREIRA; GOLDEMBERG, 1999).

Com a elevada produção de cana-de-açúcar brasileira e as constantes flutuações no preço do açúcar no mercado externo, as indústrias foram incentivadas a desenvolver outros potenciais para utilização da cana-de-açúcar. Nesse contexto, na primeira década do Século XX ocorreram as primeiras experiências para fabricação de etanol como combustível (PUERTO RICO *et al.*, 2010).

No período de 1900 a 1930 foram feitos inúmeros esforços para o desenvolvimento de métodos e técnicas para extração do álcool da cana-de-açúcar, bem como a invenção de um motor que fosse inteiramente movido a álcool. Em 1927, no estado do Alagoas, foi lançado o primeiro motor movido a etanol, representando uma tentativa para o setor sucroalcooleiro superar a estagnação devido à perda de mercado externo que ocorreu. Entretanto, o motor movido a etanol necessitava de uma nova rede de distribuição de combustível, ajustes na fabricação veicular - os veículos ainda eram importados - e desta forma o programa não prosperou (SILVA; FISCHETTI, 2008; PUERTO RICO *et al.*, 2010).

Somente em 1932, no governo de Getúlio Vargas, após experiências da Estação Experimental de Combustíveis e Minérios, foi descoberta a possibilidade da mistura do etanol anidro à gasolina, iniciando o processo de regulamentação e abertura da indústria do etanol como combustível, o qual tornou obrigatória a adição de 5% de etanol anidro à gasolina importada. Essas medidas foram motivadas pela possibilidade da redução das importações de gasolina e melhoria na balança comercial brasileira (SILVA; FISCHETTI, 2008; PUERTO RICO *et al.*, 2010).

Com a adição de etanol à gasolina importada, a qual mais tarde foi estendida também para gasolina nacional, o problema momentâneo do excesso de cana-de-açúcar interno estava resolvido. Os usineiros passaram a produzir açúcar ou etanol, conforme os preços e a conveniência, aproveitando as oscilações do mercado. (SILVA; FISCHETTI, 2008).

Dessa forma, a produção de cana-de-açúcar no país aumentou ano a ano. A região Centro-Sul do país, especificamente o estado de São Paulo, passou a superar a produção da Região Nordeste em 1951. Com o embargo dos EUA para o açúcar cubano em 1960, o Instituto do Açúcar e do Álcool (IAA) passou a promover a expansão da produção, a fim de aproveitar as novas oportunidades de mercado para as exportações. No período de 1965 até 1974, as exportações de açúcar chegaram a aumentar 250% (HIRA; OLIVEIRA, 2009).

A boa fase que o mercado de açúcar estava passando se chocou com a evolução do mercado do petróleo. Em 1970, o choque nos preços do petróleo da Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP) levou o Brasil, que importava 80% do petróleo consumido, a uma grave crise financeira. No mesmo período, os preços do açúcar começaram a cair,

forçando a indústria da cana-de-açúcar a buscar novas formas para o crescimento e a estabilidade do mercado (HIRA; OLIVEIRA, 2009).

Em meio a essas crises, em 1975 o presidente Ernesto Geisel lançou oficialmente o Programa Nacional do Álcool (PROÁLCOOL), o qual tinha por objetivo incentivar a produção de etanol para substituir a gasolina. O programa visava reduzir as importações de petróleo que comprometiam a balança comercial, além de diminuir a dependência energética brasileira (MOREIRA; GOLDEMBERG, 1999; HIRA; OLIVEIRA, 2009).

Além desses objetivos diretos, o programa visava promover outros benefícios. Dentre eles, estavam: a redução nas desigualdades entre as regiões do Sudeste e Nordeste, promover o aumento da renda nacional através da utilização de recursos não utilizados – em particular da terra e do trabalho – e estimular o crescimento do setor nacional de bens de capital, através do aumento na demanda por equipamentos agrícolas e de destilação (HIRA; OLIVEIRA, 2009).

Ao final de 1978, as metas traçadas pelo governo no início do Proálcool de 3,5 bilhões de litros, e a adição de 20% de etanol na gasolina, a qual os carros já eram projetados, estavam alcançadas (HIRA; OLIVEIRA, 2009).

Com o novo aumento de 37% nos preços do petróleo pela OPEP em 1979, o governo brasileiro, então sob a presidência de João Figueiredo, assinou um documento junto a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA) no qual os fabricantes deveriam buscar novas tecnologias para produção em série de veículos movidos a etanol hidratado. O preço do etanol hidratado foi fixado em 64,5% do preço da gasolina, e também foi reduzido o IPI para a compra dos carros movidos a etanol como formas de incentivo ao desenvolvimento dessa indústria (SILVA; FISCHETTI, 2008).

Com essas medidas, a proporção de carros a etanol no total de automóveis aumentou de 0,46% em 1979, para 26,8% em 1980, e atingiu o teto de 76,1% em 1986. Esse período ficou conhecido como a segunda fase do programa Proálcool, quando teve início a implantação de destilarias autônomas, com financiamentos de até 80% do valor do investimento. No entanto, o crescimento acelerado da economia americana e mundial, assim como o declínio do preço do petróleo, contribuíram para aumentar o consumo de seus derivados. Com isso, o governo brasileiro foi obrigado a bancar a diferença aumentando o preço da gasolina (SILVA; FISCHETTI, 2008).

Após a estrutura montada, entre 1989 e 1990, o Proálcool sofreu sua maior crise. A oferta de etanol foi reduzida em virtude de a cana-de-açúcar ter sido convertida para produção de açúcar, devido ao preço internacional estar favorável a este mercado. Assim, o governo

brasileiro foi obrigado a importar etanol para atender a demanda de combustíveis interna dos automóveis fabricados no período anterior (PUERTO RICO *et al.*, 2010).

Com essas oscilações do mercado, a década de 1990 foi marcada pela desregulamentação do setor canavieiro. Nesse período ocorreu a extinção do IAA, a gradual remoção dos subsídios de garantias de preços sobre as exportações, a eliminação do controle de produção e comercialização por parte do governo e o encerramento oficial do programa Proálcool (HIRA; OLIVEIRA, 2009; PUERTO RICO *et al.*, 2010)

Durante esse período, agricultores e indústrias foram se reorganizando, e novos órgãos foram criados para fins de organização da cadeia. O órgão de maior representação do setor, surgido através da fusão de diversas organizações setoriais do estado de São Paulo ligadas ao setor sucroalcooleiro, e de fundamental importância até hoje, é a União da Indústria da Cana-de-açúcar (UNICA). Outro órgão de extrema importância é o Conselho dos Produtores de cana-de-açúcar, açúcar e etanol (CONSECANA) o qual é responsável por intermediar as relações entre produtores e a indústria.

Após a crise na década de 1990 e com a reorganização do setor, um novo impulso para a indústria do açúcar e álcool surgiu com a introdução dos veículos “*flexfuel*” em março de 2003, os quais conquistaram rapidamente o consumidor pela possibilidade de escolha de combustível na bomba dos postos. O governo ofereceu novos incentivos ao mercado emergente, com benefícios fiscais (redução da alíquota do IPI), oferecendo as mesmas vantagens já oferecidas aos veículos a álcool (KOJIMA; TODD, 2005).

Essa rápida ascensão e sucesso neste mercado, segundo Goldemberg (2007), aconteceu graças à maturidade da indústria do etanol, a diminuição dos custos de produção “curva de aprendizagem”, aumento das economias de escala, e o domínio da técnica de fabricação dos carros *flexfuel* pela indústria automotiva.

Contudo, a produção de etanol é um mercado promissor devido à crescente demanda mundial. Existem diferentes possibilidades de matérias-primas para serem utilizadas nesta indústria e é necessário desenvolvê-la cada vez mais para que se consiga atender às demandas interna e externa, favorecendo a balança comercial, e promovendo o desenvolvimento do país.

## **2.2 CARACTERIZAÇÃO DA OCUPAÇÃO E PRODUÇÃO AGRÍCOLA NO ESTADO DO MATO GROSSO**

O estado do Mato Grosso está situado na Região Centro-Oeste do Brasil e apresenta divisas no território brasileiro com o Estado de Rondônia e Amazonas a noroeste, Pará e

Tocantins ao norte/nordeste, Goiás ao sudeste, Mato Grosso do Sul, ao sul, e a república da Bolívia a sudoeste.

Ocupa uma área de 90 milhões de hectares, com uma população estimada de 3 milhões de habitantes, espalhadas em 141 municípios (IBGE). O Produto Interno Bruto (PIB) desse Estado, em 2009, foi de aproximadamente 48,7 bilhões de reais, sendo o 14º maior PIB dos estados brasileiros (IBGE/SEPLAN).

O desenvolvimento agrícola do estado de Mato Grosso tem seu marco no início dos anos 1960, quando as políticas de integração e desenvolvimento regional sofreram mudanças substanciais, adotando-se uma nova orientação de desenvolvimento através de políticas e programas de desenvolvimento regional que visavam o aproveitamento dos cerrados e a abertura de novas terras para a exploração agropecuária (OLIVEIRA, 2002).

Essas políticas de desenvolvimento regional visavam criar condições necessárias (infra-estrutura, pesquisa, extensão, crédito, financiamento de safras etc.) para a implantação e consolidação do modelo de produção agrícola, comercial e empresarial que ainda hoje se encontra instalado no estado de Mato Grosso. O modelo de desenvolvimento adotado é semelhante ao que se configura no cenário nacional, com destaque ao tamanho das propriedades em que é desenvolvido.

Com estas novas técnicas e incentivos, a Região Centro-Oeste passou a ser uma região estratégica tanto pela sua posição geográfica quanto pelas suas características físico-ambientais, proporcionando o avanço e a expansão da produção agrícola nos padrões de uma agricultura moderna.

No final dos anos 60 inicia-se uma nova fase de desenvolvimento na Região Centro-Oeste, caracterizada por um fluxo imigratório menos intenso, porém com maior experiência no ramo, composto por paulistas, paranaenses e gaúchos. Esses imigrantes tinham experiência com atividades agrícolas e possuíam a situação econômica que favorecia o investimento na atividade (GUIMARÃES, 1998). Assim, a Região Centro-Oeste, a partir da década de 1970, ganha novas funções na economia brasileira, o que impulsiona o seu desenvolvimento.

De acordo com o Plano de Desenvolvimento da Região Centro-Oeste, elaborado pela Superintendência do Desenvolvimento do Centro Oeste - SUDECO, a aceleração no processo de ocupação desta região nas últimas décadas, ocorreu principalmente devido à necessidade do aumento da produção de grãos, de forma a viabilizar as exportações no país. Além disso, houve a necessidade do aumento na oferta de matérias-primas para suprir a demanda industrial; preocupação com a redução das tensões sociais e fundiárias em outras regiões, bem

como a necessidade de abertura de novos mercados para expansão e reprodução do capital das empresas já instaladas nas regiões sul e sudeste (TEIXEIRA; HESPANHOL, 2006).

Nos anos de 1970 até 1980, o Estado foi caracterizado pelo crescimento das áreas agricultáveis de aproximadamente 45%. Esse aumento atribui-se principalmente as atividades da pecuária de corte, seguido das lavouras de milho, soja, arroz e trigo. Nesse mesmo período, o aumento no número de tratores foi de 513,1%, havendo significativas alterações nas bases técnicas e econômicas da agricultura regional (MESQUITA, 1989).

A partir de 1980, com a crise econômica que atingia o país, houve redução tanto no crescimento econômico quanto no crescimento demográfico do Estado. A instabilidade econômica, com altas taxas de inflação reduziu os investimentos e a disponibilidade de crédito e subsídios para agricultura.

Com isso, buscou-se criar novos programas de incentivos para a agricultura como o Programa de Desenvolvimento do Cerrado (PRODECER) e o Programa de Financiamento da Irrigação (PROFIR), entretanto, ambos não prosperaram. Nesta década, também se inicia o Programa de Garantia de Preços Mínimos (PGPM) o qual ao longo do tempo foi aprimorado e permanece em funcionamento até hoje.

Durante a década de 90, a região acentua o dinamismo econômico. Com a consolidação das atividades agrícolas o estado passa a oferecer atrativos para o capital recebendo novas empresas que iniciam o desenvolvimento do setor industrial e comercial, ao mesmo tempo em que aumenta o processo de urbanização (TEIXEIRA; HESPANHOL, 2006).

Assim, a agricultura do Estado passa a fortalecer suas características produtivas se especializando e destacando como uma das maiores produtoras de grãos de soja e milho do país.

Embora o Mato Grosso tenha avançado na exploração agrícola, comercial e industrial ao longo do período, ainda há um grande potencial para ser explorado. Parte considerável da produção agropecuária continua sendo exportada para outros Estados, o que aumenta os custos de transporte e diminui a competitividade do produto do local.

O aumento da industrialização em atividades ligadas ao processamento dos produtos agrícolas do local é um dos fatores que auxiliariam na geração de emprego e renda da população, atraindo investimentos e, como consequência, o desenvolvimento econômico do Estado. A produção de biocombustíveis a partir de uma planta multi-produto, com a utilização de matérias-primas produzida na região configura-se como uma possibilidade. Para isso, é necessária a elaboração/orientação de políticas públicas que auxiliem e promovam este fim,

diminuindo a necessidade de intervenção do governo por meio das políticas subsidiárias, a exemplo do Prêmio de Escoamento de Produto (PEP)<sup>1</sup> e o Prêmio de Escoamento da Produção (Pepro)<sup>2</sup>.

### **2.3 DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO REGIONAL**

Estudos sobre as atividades econômicas nos grandes centros, bem como em locais afastados de regiões desenvolvidas são de extrema importância para países como o Brasil, onde a desigualdade espacial na distribuição das atividades econômicas é acentuada e tende a persistir ao longo do tempo (KRUGMAN, 1999).

Os primeiros registros de iniciativas de desenvolvimento econômico regional no Brasil surgiram entre 1950 e 1960, com a criação da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) a qual tinha por objetivo industrializar e auxiliar na resolução dos problemas agrícolas da Região do Nordeste, principalmente relacionados à seca. Logo após o surgimento da Sudene voltado a Região Nordeste, surge a Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM) a qual o propósito era integrar e desenvolver a economia da Região Amazônica (HELMSING, 2001).

Após essas primeiras iniciativas de desenvolvimento regional, muitas outras surgiram no país. Nos últimos anos estas iniciativas têm aumentado no Brasil como resultado da estabilização macroeconômica, em especial a redução acentuada da inflação. Esse “bem estar” econômico tem induzido os governos a direcionar maior atenção as reformas microeconômicas, com políticas para reduzir o desemprego e auxílio para geração de renda em regiões geográficas específicas (BARBERIA; BIDERMAN, 2010).

O desenvolvimento de qualquer região ou território é essencialmente o resultado de sua própria dinâmica territorial. É a multiplicidade de iniciativas locais que estimulam a atividade econômica, a criação de empregos e as mudanças tecnológicas (GODET, 2005).

A Teoria dos Pólos de Crescimento elaborado por Perroux (1967) é fundamentada em crescimento com identificações geográficas. Essa teoria se fundamenta no surgimento de

---

<sup>1</sup> Trata-se de uma subvenção econômica (prêmio) concedida àqueles que se disponham em adquirir o produto indicado pelo Governo Federal, diretamente do produtor rural e/ou cooperativa de produtores, pelo valor de referência fixado (Preço Mínimo), promovendo o seu escoamento para uma região de consumo previamente estabelecida.

<sup>2</sup> Trata-se de uma subvenção econômica (prêmio) concedida ao produtor rural e/ou sua cooperativa que se disponha a vender seu produto pela diferença entre o Valor de Referência estabelecido pelo Governo Federal e o valor do Prêmio Equalizador arrematado em leilão, obedecida à legislação do ICMS vigente em cada Estado da Federação.

aglomerações, as quais podem ser urbanas, ao longo das grandes fontes de matéria-prima, em locais de passagem de fluxos comerciais significativos, ou em torno de uma grande área agrícola independente. Na teoria de Perroux, a inserção de uma atividade motriz, geralmente indústria, dentro de um sistema regional suscitará efeitos positivos e negativos à região receptora. À medida que tais efeitos vão se concentrando, a atividade motriz se tornará um pólo propulsor da economia da região e o desenvolvimento dependerá do nível e da qualidade dos efeitos positivos e negativos.

Outro importante autor no contexto do desenvolvimento regional é Haddad (1975) o qual utiliza a Teoria da Localização como uma ferramenta para o entendimento do desenvolvimento econômico. Em sua análise, Haddad busca explicar o comportamento das atividades econômicas no que tange as concentrações e dispersões das atividades conforme as características das atividades e das regiões.

Michael Porter (1989) em “vantagens competitivas das nações” salienta que a localização, a qualificação da mão-de-obra, a disponibilidade de fornecedores próximos e o dinamismo das cadeias produtivas, favorecem as condições para o desenvolvimento das regiões.

Portanto, é fundamental mensurar os efeitos do processo de desenvolvimento econômico no padrão de vida de uma sociedade. Oliveira e Lima (2003) destacam que pensar em desenvolvimento regional, é pensar na participação da sociedade local no planejamento contínuo da ocupação do espaço e, na distribuição dos frutos do processo de crescimento.

O desenvolvimento regional ou local está ligado à conciliação das políticas que impulsionam o crescimento com os objetivos locais. A organização da sociedade pode transformar o crescimento advindo dos desígnios centrais em efeitos positivos, ou melhor, em desenvolvimento para a região (OLIVEIRA; LIMA, 2003).

De acordo com Puga (2002) o desenvolvimento de uma região perpassa pelo direcionamento de políticas para este fim. Estas políticas podem ter enfoque em infraestrutura pública como estradas, aeroportos, parques industriais, bem como subsídios para tecnologia e produção. Isso influencia os padrões de localização e desenvolvimento econômico, permitindo o incremento de novos centros econômicos.

Estimular o desenvolvimento econômico de determinadas regiões geográficas, através de políticas específicas, visando à redução dos níveis de desigualdade regional, tem sido por muito tempo, um dos objetivos dos países desenvolvidos e em desenvolvimento (BARBERIA; BIDERMAN, 2010).

O desenvolvimento regional geralmente é motivado por uma força motriz, na qual até o momento no estado do Mato Grosso têm sido intensamente provocado pelas atividades agrícolas que se limitam na produção e comercialização de grãos e as atividades intrínsecas a esta. Com a falta de processamento das matérias-primas agrícolas no estado, estas são transportadas para outras regiões promovendo o desenvolvimento industrial originário do processamento destes produtos para outros locais.

O processamento industrial incentiva o surgimento de empresas de prestação de serviços, fornecimento de insumos especializados e outras matérias-primas, além do interesse de centros especializados em pesquisa e desenvolvimento de produtos. Para isso, aumenta a necessidade de mão-de-obra, hotéis, moradias, supermercados, lojas entre outras, promovendo o desenvolvimento da região.

## **2.4 CARACTERIZAÇÃO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA**

Apresentar-se-á nesta seção as culturas avaliadas na região que foram utilizadas neste trabalho para produção de etanol na usina hipotética.

### **2.4.1 A produção da Mandioca**

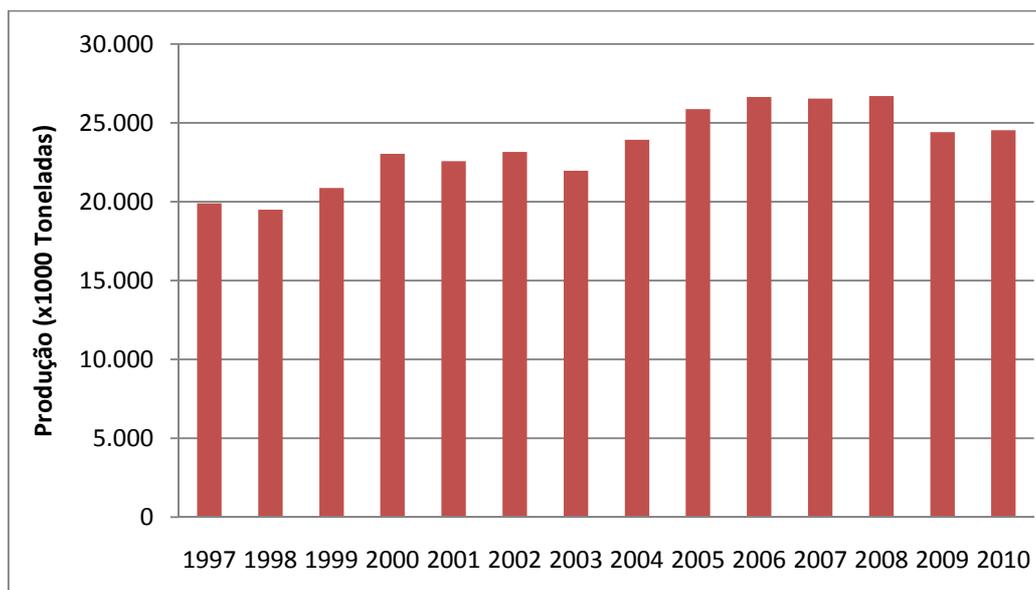
A mandioca *Manihot esculenta* é uma planta nativa da América do Sul e foi uma das primeiras culturas a serem domesticadas. Evidências apontam que seu cultivo iniciou no Peru a cerca de 4000 anos (DUKE, 1983).

Conhecida pela rusticidade e pelo papel social que desempenha junto às populações de baixa renda, a cultura da mandioca se adapta a diferentes ecossistemas o que possibilita seu cultivo praticamente em todo território nacional.

Trata-se de uma cultura capaz de se desenvolver em solos pobres e esgotados, suportando longos períodos de seca. O desenvolvimento da raiz da mandioca pode variar em função da cultivar, o manejo a campo, idade de maturação entre outros fatores. Em cultivos comerciais, o comprimento varia de 0,15 – 1,00 metro e o peso oscila entre 0,5 – 2,5 Kg (BOKANGA, 2008).

A produtividade média brasileira de mandioca segundo dados da EMBRAPA é de 14 toneladas/ha, a qual é considerada baixa quando observado a produção de outros países. Mesmo com a baixa produtividade brasileira, o Brasil configura-se como o terceiro maior

produtor de mandioca do mundo. A produção total de mandioca no Brasil é apresentada na Figura 1.



**Figura 1 – Volume de mandioca produzido no Brasil no período de 1997 a 2010**

Fonte: IBGE (2011).

Predominantemente utilizada na alimentação humana, consumida na forma *in natura* ou como farinha a mandioca atende extensas populações. Estima-se que existam mais de 600 produtos derivados das raízes os quais podem ser elaborados pela indústria do amido (SALLA, 2008).

Toda a planta da mandioca pode ser usada integralmente na alimentação de várias espécies de animais domésticos como bovinos, bubalinos, aves e suínos. As raízes são fontes de carboidratos e proteínas, esta última concentrada nas folhas.

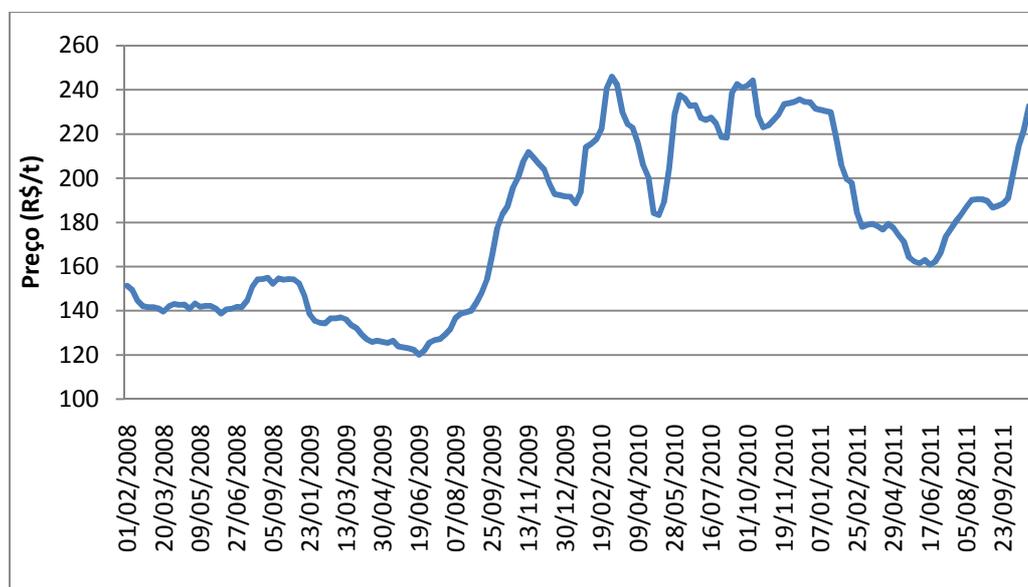
De acordo com Cereda (1996), o potencial dessa planta encontra-se praticamente inexplorado, pois a tecnologia do processamento continua se preocupando basicamente em produzir farinha.

Os preços de comercialização da raiz da mandioca no período de fevereiro de 2008 a novembro de 2011 são apresentados na Figura 2.

Nota-se o comportamento oscilante no preço do produto durante os anos observados, com o valor mínimo de comercialização de R\$ 120,00 por tonelada no final de 2009, e o valor máximo de R\$ 243,19 em abril de 2010.

No Estado de Mato Grosso, a produção de mandioca é realizada praticamente em todos os municípios e está presente nas pequenas propriedades rurais como fonte alimentar da família e também para a criação de animais. Nos anos de 2009 e 2010, a área cultivada foi de aproximadamente 37 mil hectares (IBGE).

Nesse estado o cultivo da cultura da mandioca inicia após as primeiras chuvas, normalmente em outubro e novembro, estendendo-se até o mês de março, podendo prolongar-se dependendo da duração da estação chuvosa. Três meses após o plantio, a cultura da mandioca está “estabelecida” e se torna imune a secas e a veranicos, entretanto, isso afeta o rendimento produtivo final (SEBRAE, 2003).



**Figura 2 - Preços da comercialização da mandioca de jan/2008 a set/2011.**

Fonte: Cepea/ESALQ.

A cultura da mandioca não tem uma época definida de maturação. Após decorrido oito meses do plantio, pode-se iniciar a colheita no momento mais oportuno, permitindo a sua oferta no estado de Mato Grosso durante todos os meses do ano. Esta margem de segurança na colheita ocorre em função da mandioca permanecer armazenada no solo, sendo colhida com 8 até 24 meses (SEBRAE, 2003).

O potencial produtivo da mandioca varia de acordo com a adubação, a variedade e a duração do ciclo da cultura. O ciclo produtivo é classificado em curto (10 a 12 meses), médio (12 a 15 meses) e longo (15 a 20 meses). A Tabela 2 apresenta os dados da produtividade de algumas variedades de mandioca cultivadas no Estado do Mato Grosso.

**Tabela 2 – Produtividade média entre as principais variedades de mandioca cultivadas na região Oeste do estado do Mato Grosso**

Variedades	Produtividade média kg/ha*	Ciclo da cultura
Igarapé Vermelha	36.400	Médio
Mandioca Uva	49.700	Curto
Mandioca Sopa	36.400	Curto
Liberata	44.200	Médio
Seringueira	46.000	Médio
Latadeira	49.200	Longo

\*Fonte: SEBRAE/UNIVAG

Embora a mandioca possa ser cultivada em terras inférteis e áridas, a utilização de tecnologias de plantio pode melhorar consideravelmente a produtividade das raízes. Dados da produção na Tailândia – um dos maiores produtores de mandioca do mundo – mostram que com a utilização de variedades melhoradas, aplicação de fertilizantes químicos e orgânicos, controle de plantas daninhas e o controle da irrigação, a produtividade aumentou de 22 para 60 toneladas/ha, ou seja, 172% de aumento (SRIROTH, 2010).

Denotasse que a mandioca é uma cultura com potencial para produção de etanol no Brasil. Isso se atribui às características da planta ser adaptáveis as condições edafoclimáticas brasileiras e o alto rendimento agrícola que a cultura pode apresentar.

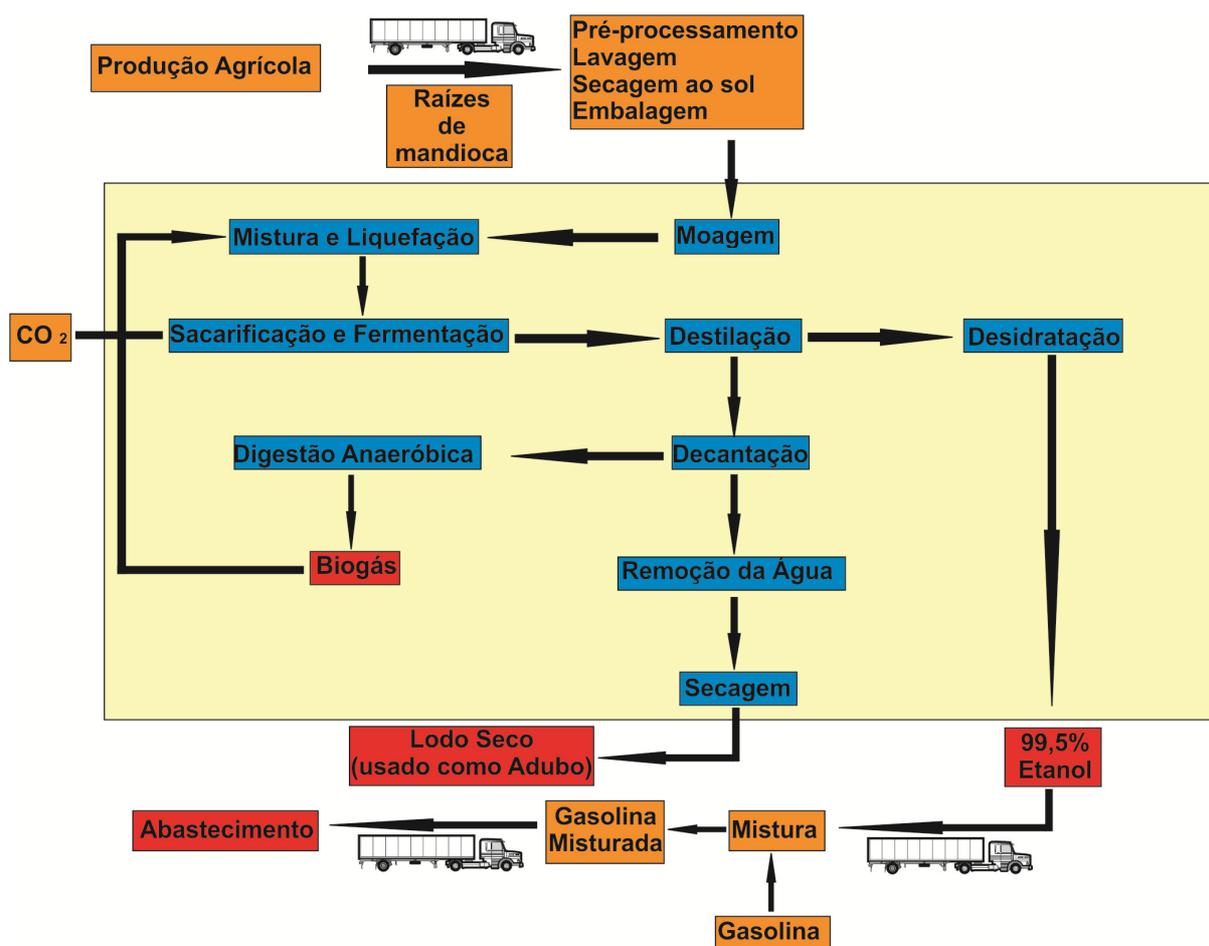
#### **2.4.2 Processo de produção do etanol a partir da mandioca**

O processo de produção de etanol utilizando a mandioca como matéria-prima consiste, basicamente, em transformar o amido presente nas raízes em açúcares para posterior fermentação e obtenção do etanol.

A parte inicial do processo consiste no pré-tratamento (recebimento, lavagem e esmagamento) da mandioca.

Para a extração do amido, tecnicamente, dominam-se dois processos. Um deles consiste em misturar a polpa formada com ácido clorídrico ou ácido sulfúrico em recipientes com pressão de forma que as moléculas se quebrem. Outro processo e também o mais utilizado, consiste na hidrólise das moléculas com tratamento enzimático, transformando o amido em açúcares fermentáveis (WICKE *et al.*, 2011). A Figura 3 apresenta o fluxograma resumido do processo de produção de etanol a partir da mandioca.

Depois do amido extraído e fermentado, as moléculas são submetidas ao processo de destilação e desidratação para então obter-se o etanol. Com o etanol finalizado na usina este é transportado até as bases de distribuição, onde é misturado com a gasolina e transportado para os postos de combustíveis para comercialização com o consumidor. Os resíduos obtidos no processo são decantados e removidos para então passarem por um processo de secagem e serem reutilizados como fertilizantes nas lavouras.



**Figura 3 - Fluxograma do processo de produção de etanol a partir da mandioca**  
 Fonte: Adaptado de Nguyen *et al.* (2008).

Com esse processamento, indústrias no estado de São Paulo utilizando a mandioca para produção do etanol, produzem em média, cerca de 210 litros de etanol por tonelada (SALLA, 2008).

A Tabela 3 apresenta os dados relativos à produção agrícola e os coeficientes de rendimento da cultura da mandioca em uma indústria de médio porte no estado de São Paulo.

**Tabela 3 – Coeficientes produtivos da mandioca**

Referência	Produtividade <sup>1</sup>	Matéria seca	Amido	Etanol (99,5°) GL <sup>2</sup>
	t/ha	%	t/ha	L/ha
Região de Mogi-mirim	38	38	13	8000
Região de Assis	28	38	10	5900

<sup>1</sup>Média de 2001 a 2006

<sup>2</sup> Utilizando-se parâmetros obtidos por Salla, 2008 (1 t de raízes com 330 kg de amido + 50kg de açúcares fermentescíveis produzindo 210,6 l de etanol 99,5GL)

Fonte: Adaptado de Valle *et al.*, 2009.

O processo de produção de etanol a partir da mandioca em grandes usinas da Tailândia tem alcançado à conversão de 2,63 Kg de mandioca (teor de amido maior que 65%) para

produção de 1 litro de etanol. Os custos de produção total do etanol (matéria-prima e processamento) no mesmo país são de US\$ 0,509/litro (SRIROTH *et al.*, 2010). Este preço é considerado elevado quando comparado com a produção de etanol de mandioca na China, a qual tem os custos de produção total abaixo de US\$ 0,40/litro (ZHANG *et al.*, 2003). Em ambos os países, o custo de matéria prima é o principal componente dos custos de produção.

### 2.4.3 A produção de Milho

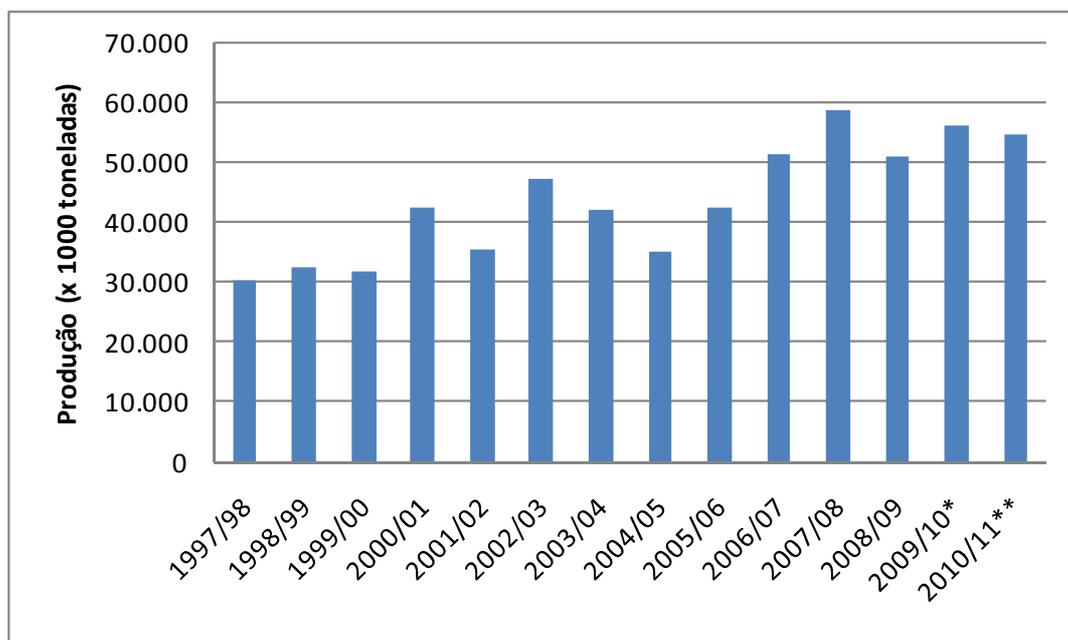
Os primeiros registros de cultivo do milho no mundo datam de mais de 73.000 anos nas pequenas ilhas próximas ao litoral do México, no golfo do México. Na América do Sul o cereal é cultivado à pelo menos quatro mil anos, sendo que no Brasil o cultivo iniciou antes da chegada dos europeus. Com a chegada dos portugueses o consumo e o cultivo aumentaram e novos produtos a base de milho foram incorporados aos hábitos alimentares brasileiros (CALDARELLI, 2010).

O milho é um cereal cultivado em vários países devido às suas qualidades nutricionais. Utilizado como matéria-prima para ração nos complexos agroindustriais, na alimentação humana e, recentemente também para produção de etanol, desempenha um importante papel socioeconômico (FANCÉLI; DOURADO NETO, 2000).

No Brasil a produção de milho tem-se caracterizado pela divisão da produção em duas épocas de plantio. Os plantios de verão ou também chamados de primeira safra, são realizados durante o período chuvoso o qual nas Regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste variam entre o final de agosto até os meses de outubro e novembro. Na Região Nordeste esse período ocorre no início do ano (EMBRAPA, 2006).

A segunda safra, também chamada de “safrinha” refere-se ao milho semeado extemporaneamente em fevereiro ou março, normalmente após a colheita da soja precoce, predominantemente na Região Centro-Oeste e nos estados do Paraná e São Paulo, os quais têm aumentado expressivamente a produção (EMBRAPA, 2006).

A produção total de milho brasileira é apresentada na Figura 4. Nota-se o expressivo avanço na produção de grãos nos últimos 10 anos, passando de uma média de 30 milhões para mais de 50 milhões de toneladas de milho, chegando a alcançar, na colheita de 2007/2008, próximo a 60 milhões de toneladas, representando um aumento médio maior que 60%.



**Figura 4 – Volume de milho produzido no Brasil no período de 1997 a 2011**

\*Previsto \*\*Estimado

Fonte: CONAB (2011).

O acréscimo na produção interna de milho é causado pelo aumento da necessidade desta matéria prima para as agroindústrias, principalmente, para a indústria de aves e suínos. Entretanto, conforme os dados da Associação Brasileira das Indústrias do Milho – Abimilho (2011), apresentados na Tabela 4, o crescimento das necessidades industriais de milho são menores que o crescimento da produção. Isso gera acúmulo do cereal e como consequência, os preços pagos aos produtores de milho diminuem.

**Tabela 4 - Volume de milho destinado para cada atividade (x1000 toneladas)**

SEGMENTO	2003/04	2004/05	2005/06	2006/07	2007/08	2008/09	2009/10*
Avicultura	15.427	16.162	20.022	20.846	21.655	21.631	22.994
Suínocultura	8.471	8.852	11.097	12.429	12.972	12.668	13.169
Pecuária	1.911	2.198	2.479	2.374	2.427	2.406	2.414
Outros Animais	1.550	1.581	660	673	1.081	1.081	1.096
Consumo Industrial	4.152	4.256	4.159	4.369	4.888	4.728	4.812
Consumo Humano	1.530	1.568	700	705	760	756	756
Perdas/Sementes	1.660	1.429	310	432	476	458	453
Exportação	3.988	5.000	4.327	11.150	7.309	6.830	6.830
Outros	4.809	4.132	-	-	-	-	-
Total	43.498	45.178	43.754	52.978	51.568	50.558	52.523

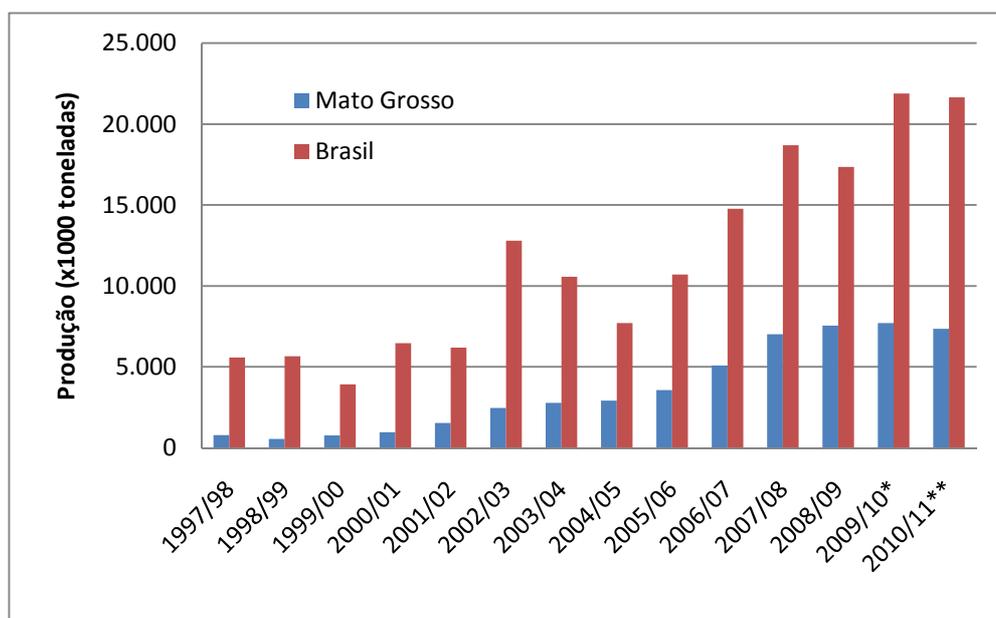
Fonte: Abimilho.

\*Previsto

Os dados da Tabela 4 denotam o comportamento oscilante na exportação do milho, exportando em 2006/07 11 milhões de toneladas. Ainda, ocorreu uma significativa

diminuição no consumo humano e nas perdas. O consumo total de milho ao final da análise 2009/10 aumentou em torno de 19% quando comparado ao início da análise 2003/04.

A Figura 5 apresenta os dados da produção brasileira de milho segunda safra com destaque ao Estado do Mato Grosso. Segundo dados da CONAB o estado se configura como o maior produtor de milho safrinha do país, representando, no ano de 2010, aproximadamente 35% do total produzido.



**Figura 5 – Volume de milho safrinha produzido no Brasil e no Mato Grosso**

\*Previsto \*\*Estimado

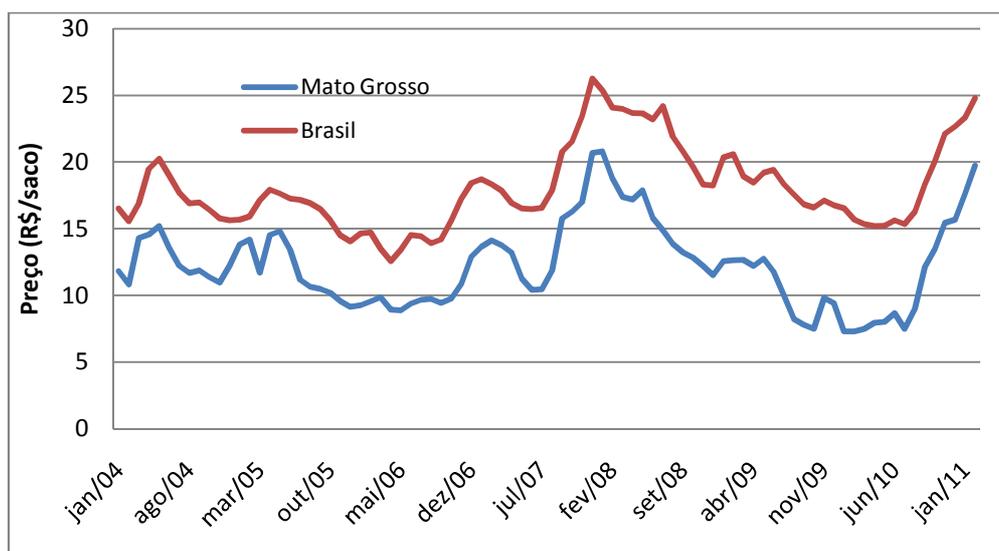
Fonte: CONAB (2011)

Torna-se evidente o salto da produção brasileira do milho safrinha a partir da safra de 2002/03, e é comprovada a importância do Mato Grosso a partir de 2004/05 onde o Estado foi responsável pela produção de aproximadamente 38% do milho safrinha do país.

Os dados do preço da comercialização da produção de milho no período de janeiro de 2004 até janeiro de 2011 foram tabulados e são apresentados na Figura 6. Os dados referentes ao preço de comercialização médio no Estado do Mato Grosso foram coletados no Instituto Matogrossense de Economia Agrícola e os dados referentes ao preço médio de comercialização nacional foram coletados na CONAB.

Ao observar a Figura 6 evidencia-se que o preço de comercialização do milho no estado do Mato Grosso durante todo período analisado acompanha as oscilações que ocorrem com os preços médios brasileiros, entretanto, permanece durante todo período abaixo da média nacional. A média nacional na série histórica observada é de R\$ 18,09 com o valor

máximo de R\$ 26,27 e o mínimo de R\$ 12,56. Já para o Mato Grosso a média fica em R\$ 12,23, com o valor máximo de 20,81 e o valor mínimo de R\$ 7,29.



**Figura 6 - Preços médios pago por saca de milho no Brasil e no Mato Grosso**  
Fonte: Imea/Conab (2011).

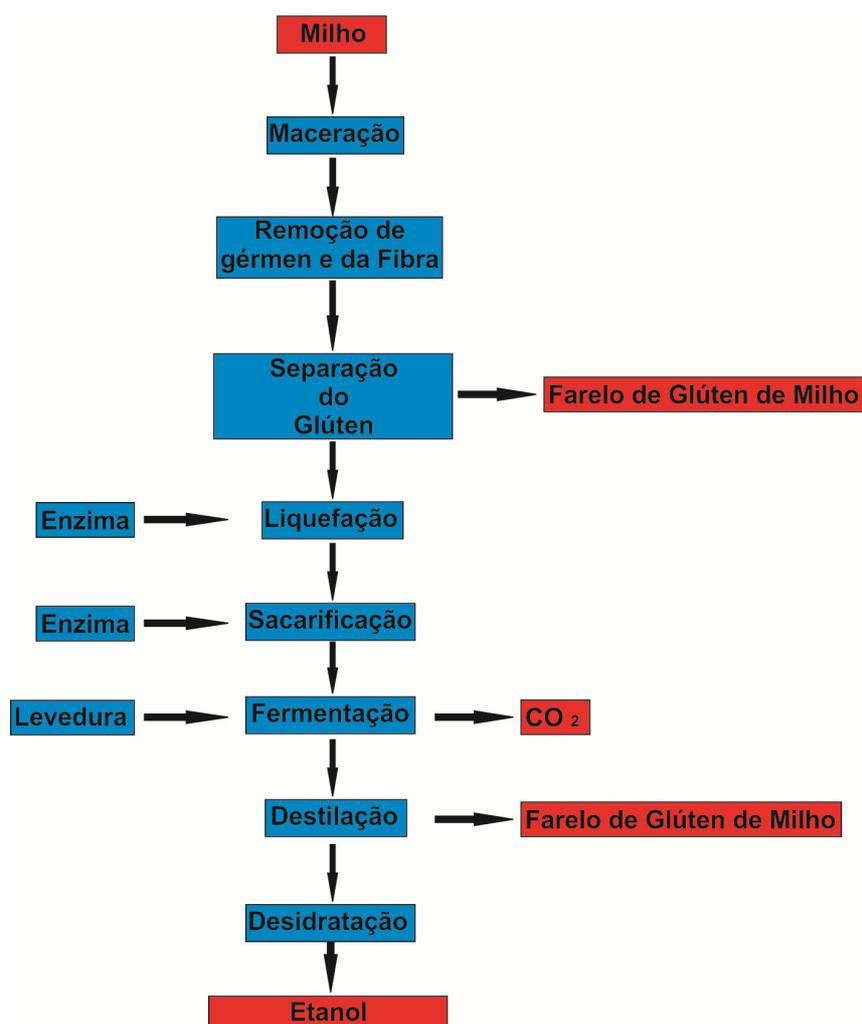
O baixo preço para comercialização do milho no estado do Mato Grosso ocorre devido ao excesso de produção, a falta de armazéns para estocagem do produto e aos elevados custos de frete. Ainda que os agricultores possam estar trabalhando com prejuízo nessa atividade, esses permanecem cultivando a safra de milho como forma de diluir parte dos custos fixos da propriedade. Transportando o etanol – produto com maior valor agregado – se reduziria os custos com o transporte do milho, tornando a produção do milho mais atrativa.

#### 2.4.4 Os processos da produção de etanol a partir do milho

Existem dois tipos básicos de processamento do milho para fabricação do etanol conhecidos como moagem úmida e moagem seca. Dentre eles, o processo de moagem a seco é o método mais difundido e utilizado nos EUA para produção de etanol. A distinção chave entre estes dois processos de fabricação está na mobilização de recursos. Uma planta com o processo de moagem a seco é relativamente mais barata de ser edificada e o foco é maximizar o retorno do capital por litro de etanol. Já no caso de uma planta com o processo de fabricação de moagem úmida é possível adicionar outros processos, com a separação de componentes valiosos presentes no grão (amido, fibras, gérmen, glúten) antes da fermentação do etanol.

Para o processo de moagem úmida, primeiramente os grãos de milho são embebidos em uma mistura de água e dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) através de um processo de “maceração”, a fim de permitir a separação dos componentes. Através de uma série de telas, prensas e

outros equipamentos o grão de milho é fracionado em amido, fibras, gérmen de milho e proteína. Apenas o amido puro é usado na produção do etanol. Então, são adicionadas enzimas ao fluxo de amido para hidrólise de açúcares e estes açúcares podem ser fermentados e transformados em etanol, conforme Figura 7. Nessa técnica diversos co-produtos podem ser produzidos, como o óleo de milho, farelo de glúten, dióxido de carbono e algumas indústrias também são capazes de produzir vitaminas, alimentos e aditivos alimentares (TAO; ADEN, 2009; HETTINGA et. al., 2009; BOTHAST; SCHLICHER, 2005).

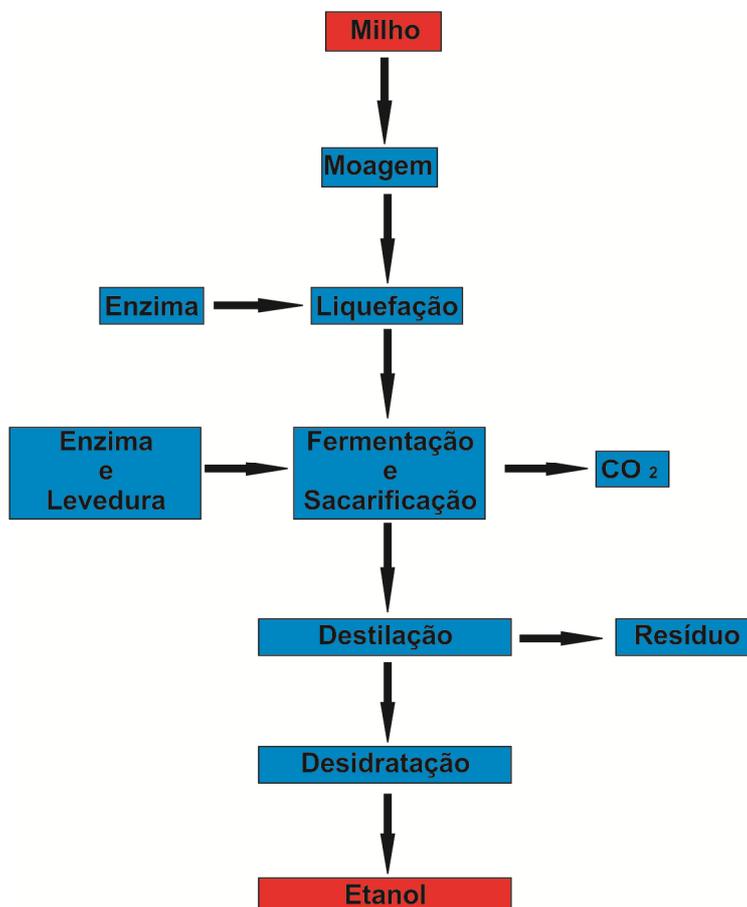


**Figura 7 - Processo de produção de etanol de milho a “úmido”**

Fonte: Adaptado de Bothast; Schlicher (2005).

Já no processo de moagem a seco (Figura 8) o milho é moído e misturado com água e enzimas amilases formando um “purê”. Essa mistura é cozida e misturada com uma enzima adicional para concluir a hidrólise do amido em glicose. Os açúcares subsequentes são fermentados em etanol, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e outros subprodutos menores utilizando cepas de leveduras diferentes. Após isso, essa mistura passa pelo processo de destilação e é

desidratada para formar o etanol. Os sólidos restantes do processo de destilação são secos para produzir o subproduto concentrado protéico que é comercializado como suplemento alimentar animal (TAO; ADEN, 2009; HETTINGA *et. al.*, 2009; BOTHAST; SCHLICHER, 2005)



**Figura 8 - Processo de produção de etanol de milho a “seco”**  
 Fonte: Adaptado de Bothast; Schlicher (2005).

Conforme Staton e LeValley (1999), a cada 10 kg de matéria-prima (milho), sobram cerca de 3,3 kg de DDGS no processo de moagem a seco com o teor protéico de aproximadamente 27%, sendo esse alimento apropriado para alimentar o gado e demais ruminantes.

O rendimento das plantas de moagem úmida é geralmente menor quando em comparação com os rendimentos das plantas de moagem seca. Segundo Shapouri e Gallagher (2005), as plantas de moagem úmida produzem cerca de 370 litros de etanol por tonelada de milho, enquanto as plantas de moagem a seco com a mesma quantidade de milho, produzem cerca de 400 litros de etanol. Dados semelhantes são encontrados por Zhang *et al.* (2011) o qual verificando a conversão de milho em etanol em usinas de moagem úmida, encontrou o valor de 2,69 Kg de milho para produção de 1 litro de etanol.

Para ambos os processos industriais os principais fatores que alteram o custo final do etanol e do concentrado protéico são o valor e a qualidade da matéria-prima (esta última medida em função do teor de amido). Aliado a estes custos de produção há também os custos relativos à eletricidade, gás natural e vapor de água, os quais também possuem um importante impacto na economia da produção do etanol (KWIATKOWSKI *et al.*, 2006).

#### **2.4.5 A produção do Sorgo sacarino**

O sorgo sacarino é uma planta de origem Africana a qual logo se espalhou pela Ásia, Europa, Austrália e demais países. Pertencente a mesma família botânica do milho é utilizado na alimentação animal, principalmente dos bovinos na forma de feno e silagem.

Dentre as plantas pertencentes ao gênero *Sorghum* as cultivares são bem distintas. As variedades mais cultivadas no Brasil são o granífero e o sacarino.

O sorgo granífero possui as características de porte baixo, com altura de até 170 cm, e produz na extremidade superior, uma panícula (cacho), onde ficam os grãos (principal produto deste tipo de sorgo). Após a colheita do grão o resto da planta ainda se encontra verde (subproduto denominado de restolho) e pode ser utilizado como feno para alimentação animal.

O sorgo sacarino possui características de uma planta de porte alto, superior a dois metros, caracterizado principalmente por apresentar o colmo doce e succulento como o da cana-de-açúcar, apresentando alto potencial para a indústria do etanol. A panícula é aberta e produz poucos grãos (sementes). Dependendo da variedade e condições de cultivo, o tempo para maturação, varia entre 90 e 120 dias (GNANSOUNOU *et al.*, 2004).

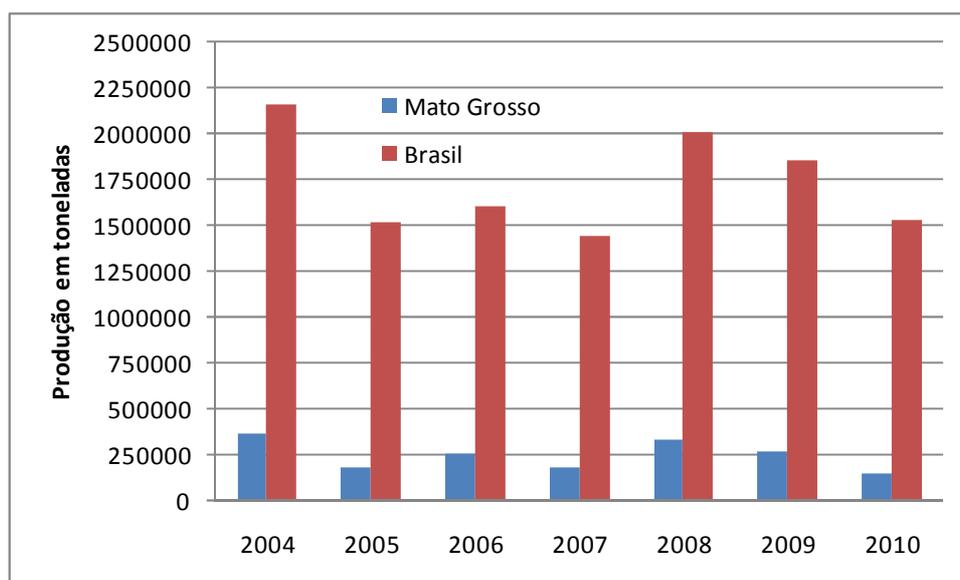
Ambas as variedades de sorgo são plantas totalmente passíveis a mecanização. A variedade granífera produz em torno de 2,5 toneladas/ha de grãos que podem ser utilizados na alimentação humana, animal ou para produção de biocombustíveis. O bagaço do sorgo granífero pode ser utilizado como fonte de energia para industrialização, co-geração de eletricidade ou forragem para os animais (PARRELLA, 2011).

No Brasil, o desenvolvimento de variedades de sorgo sacarino iniciou sob responsabilidade da Embrapa Milho e Sorgo após o lançamento do programa Pró-Álcool, em 1970. Inicialmente o material genético foi importado dos Estados Unidos, África e Índia e, após o período de cruzamentos, no início dos anos 80 foram lançadas as primeiras variedades, todas com produtividades de colmos superiores a 40 ton/ha e o teor de sólidos solúveis médios entre 18 e 20° Brix (PARRELLA, 2011).

Contudo, dado a decadência do programa Pró-Álcool o desenvolvimento e aprimoramento das variedades de sorgo sacarino voltado à produção de etanol não prosperou. Das poucas pesquisas que continuaram sendo feitas foram voltadas para o melhoramento de cultivares destinadas a produção de forragem.

De acordo com Bennett e Anex (2009), o sorgo sacarino é uma cultura apontada como uma das candidatas viáveis para produção de etanol em grande escala devido à presença de altas quantidades de hidratos de carbono capaz de ser fermentados. Hunter e Anderson (1997) estimam que o açúcar produzido pelo sorgo sacarino no meio oeste dos EUA tem potencial de rendimento de até 8000 litros de etanol por hectare, cerca de duas vezes mais produtivo quando comparado com o etanol de grãos de milho.

Devido a limitações na disponibilidade dos dados da produção dos diferentes tipos de sorgo, utilizando uma expectativa de rendimento de 50 toneladas/ha, optou-se por estimar através da área plantada a possível produção de sorgo sacarino no Brasil e no Estado do Mato Grosso (Figura 9). Evidencia-se as oscilações no cultivo desta cultura, e denota-se ainda a importância do estado do Mato Grosso no contexto brasileiro.



**Figura 9 – Volume de sorgo produzido no Brasil e no estado do Mato Grosso**  
Fonte: IBGE (2011)

Devido à grande demanda por matérias-primas alternativas para produção de etanol, em 2008 a Embrapa reiniciou o programa de desenvolvimento de cultivares de sorgo sacarino, o qual visa o desenvolvimento de plantas que produzam minimamente 60 toneladas/ha de biomassa e 60 litros de etanol/tonelada além das características de resistência aos principais patógenos (PARRELLA, 2011).

#### 2.4.6 Processo de produção de etanol a partir do Sorgo sacarino

A praticidade e viabilidade econômica do sorgo sacarino como matéria-prima para produção de etanol depende de muitos fatores. Nesses fatores inclui-se os custos de produção de sorgo sacarino, os custos da infra-estrutura industrial, os custos de transporte, a localização do mercado e a possibilidade de utilização dos co-produtos gerados (BENNETT; ANEX, 2009).

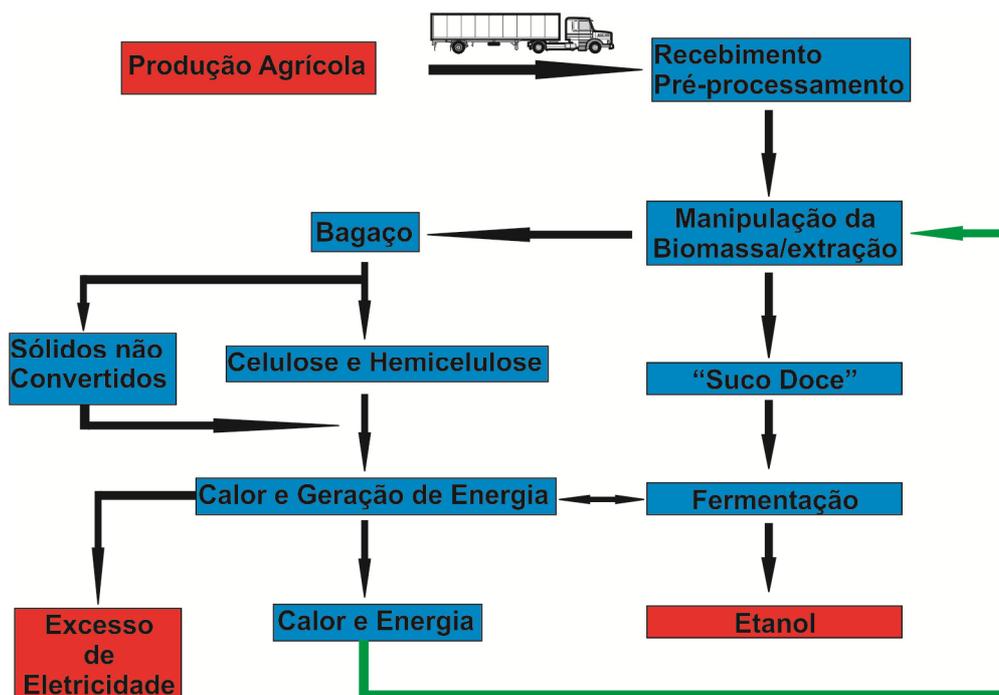
A produção do etanol a partir do sorgo sacarino é um processo semelhante à produção de etanol a partir da cana-de-açúcar. Os colmos de sorgo sacarino produzem um caldo açucarado quando moído o qual pode ser submetido a um processo industrial similar ao da cana-de-açúcar para obtenção de etanol (CUNHA; SAVERO FILHO, 2010).

Após a colheita da cultura do sorgo é necessário que a planta seja rapidamente processada para minimizar as perdas de hidrocarbonetos que ocorrem dentro das primeiras 24 horas após o corte. Se adiado o processamento, ocorre a perda do teor de açúcares através da produção de ácidos orgânicos e consequente redução no rendimento de etanol (EILAND *et al.*, 1983).

A primeira etapa do processamento para produção de etanol consiste na moagem dos colmos para extração do “suco” do sorgo vindos da colheita a campo. O suco extraído é submetido a um processo de purificação e fermentação. Durante o processo de fermentação, o suprimento de oxigênio, fósforo e nitrogênio são controlados. Após o conteúdo fermentado o álcool passa por duas colunas, uma coluna de destilação e outra de desidratação as quais são responsáveis por remover as impurezas e purificar o etanol, formando o etanol anidro. Na Figura 10, apresenta-se o fluxograma do processo de obtenção de etanol a partir do sorgo sacarino.

A produção final de etanol neste processo de acordo com dados de Linton *et. al.* (2011), chega a 35,05 litros de etanol por tonelada de sorgo sacarino processado.

Ainda, é possível utilizar o bagaço do sorgo sacarino para produção de etanol pelo processo da hidrólise enzimática da celulose. O bagaço rejeitado na primeira etapa, novamente é submetido ao processo de extração de açúcares com adição de ácido sulfúrico a altas temperaturas. Com esse processo, consegue-se extrair cerca de 158 litros por tonelada de bagaço do sorgo sacarino (GNANSOUNOU, 2005).



**Figura 10 - Processo de produção de etanol a partir do sorgo**

Fonte: Adaptado de Gnansounou, *et al.* (2005).

As sobras desse processo (bagaço) são queimadas em uma caldeira a qual produz vapor, gerando energia elétrica que pode ser utilizada novamente no processo industrial, ou comercializada.

## **CAPÍTULO II**

# DETERMINAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DE UMA PLANTA MULTI-PRODUTO NO ESTADO DO MATO GROSSO COM BASE NA EFICIÊNCIA DA PRODUÇÃO DE ETANOL<sup>3</sup>

Daniel Fernando Kolling, Homero Dewes, Omar Inácio Benedetti Santos

## RESUMO

A utilização de biomassa vegetal para produção de etanol como forma de substituição dos combustíveis fósseis, é uma alternativa explorada por diversos países. O Brasil, segundo produtor mundial de etanol, utiliza como principal matéria-prima a cana-de-açúcar. Entretanto, com a possibilidade da extração de etanol de outras matérias-primas já realizados em outros países, como EUA, China, União Européia, surge, no estado do Mato Grosso, Brasil, o interesse em processar mandioca, milho e sorgo sacarino para produção do etanol. Utilizando-se do aporte teórico da Teoria da Localização, este trabalho, teve por objetivo, avaliar a viabilidade da produção de etanol a partir de uma planta multi-produto na região Oeste do estado do Mato Grosso. Com a utilização de modelagem matemática, avaliou-se o local ideal para construção de uma planta industrial, bem como os custos de produção para as matérias-primas providas de cada município. Os resultados apontam para viabilidade econômica do processamento da mandioca e do sorgo sacarino para produção de etanol em alguns municípios da região. O processamento dessas duas culturas para produção de etanol pode vir a modificar o sistema produtivo atual, aumentando as áreas destinadas ao cultivo de mandioca e sorgo sacarino, diminuindo a dependência dos programas de subsídios para o escoamento da produção do milho. A cultura do sorgo sacarino se inviabiliza conforme o aumento da necessidade de transporte. A cultura do milho, mesmo com a venda do subproduto protéico, mostrou-se inviável do ponto de vista econômico para produção de etanol.

**Palavras-chave:** Etanol, Custos, Viabilidade, Sistemas de apoio a decisão;

## ABSTRACT

The use of biomass for ethanol production as a way to replace fossil fuels, an alternative is explored by several countries. Brazil, the second largest producer of ethanol, used as the main raw material for cane sugar. However, with the possibility of extracting ethanol from other feedstocks already made in other countries such as USA, China, Hong Kong, appears in the state of Mato Grosso, Brazil, interest in processing cassava, maize and sweet sorghum production of ethanol. Using the Theory of Location, this article aimed to evaluate the feasibility of producing ethanol from a multi-product plant in western state of Mato Grosso. Using mathematical modeling, we evaluated the ideal place to build an industrial plant and production costs for raw materials coming from each municipality. The results point to the economic viability of the processing of cassava and sweet sorghum for ethanol production in some cities. The processing of these two crops to produce ethanol is likely to modify the current production system, increasing the areas for the cultivation of cassava and sweet sorghum, reducing dependence on subsidy programs for the marketing of corn production. The cultivation of sweet sorghum is unfeasible with increasing need for transportation. The corn crop, even with the sale of DDGS, proved to be unfeasible economically for ethanol production.

**Keywords:** Ethanol, costs, feasibility, decision support systems;

---

<sup>3</sup> Artigo formatado Segundo normas da Revista Biomass and Bioenergy

## 1 INTRODUÇÃO

A utilização de biomassa vegetal como matéria-prima para a substituição dos combustíveis fósseis é uma alternativa para produção de energia em diversos países.

Entre os países produtores de combustíveis renováveis, o Brasil, que produziu aproximadamente 28 bilhões de litros de etanol em 2009 (UNICA, 2011), configura-se como o segundo maior produtor mundial de etanol e utiliza em sua base produtiva principalmente a cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.), a qual é referência na produção de energia renovável. Embora as biorrefinarias brasileiras não operem durante o ano todo, devido à maturação/colheita da cana-de-açúcar, esta cultura tem se destacado entre as matérias-primas utilizadas para produção de etanol.

A utilização desta cultura ocorre devido aos custos de produção e de processamento industrial da cana-de-açúcar ser inferiores quando comparados às matérias-primas utilizadas em outros países como os EUA, China e União Européia. Além da possibilidade de uso para produção de etanol, a cana-de-açúcar também é fonte de matéria-prima para a produção de açúcar e outros produtos (TAO; ADEN, 2009).

Assim como em outros países, a produção de etanol no Brasil tem outras fontes de matéria-prima e utiliza diferentes processos produtivos. A maior produção mundial de etanol ocorre nos EUA, onde se utiliza como matéria-prima a cultura do milho (*Zea mays* L.). Este modelo de produção vem sofrendo fortes críticas, devido aos impactos ambientais (demasiado uso de herbicidas, inseticidas e fertilizantes nitrogenados) e aos subsídios fornecidos, que totalizaram mais de 12 bilhões de dólares em 2008 (HAHN; CECOT, 2009; ZHANG *et al.*, 2011).

Mesmo com as críticas ao modelo de produção Norte Americano, o país produziu em 2010 aproximadamente 40 bilhões de litros de etanol (RFA, 2011). Com essa produção, promoveu-se um maior investimento na agricultura, auxiliando o desenvolvimento rural, permitindo a criação de empregos na produção de matérias-primas, na indústria, no transporte e na distribuição dos produtos envolvidos no processo (FISCHER; SCHRATTENHOLZER, 2001). Além disso, o milho apresenta algumas vantagens de produção quando comparado à cana-de-açúcar, a exemplo da maior estabilidade metabólica (importante para produção de etanol fora de época de safra) e o valor elevado dos co-produtos (HIRA; OLIVEIRA, 2009).

A China ocupa o terceiro lugar mundial na produção e no consumo de etanol combustível, onde aproximadamente 85% do total produzido têm como principais matérias-primas o milho, a mandioca (*Manihot esculenta* Cranz) e o arroz (*Oryza sativa* L). Esse país

traçou como meta, até o ano de 2012, a produção de 6,3 bilhões de litros, misturando 10% de etanol à metade do combustível utilizado no país. Entretanto, devido a preocupações com o nível de eficiência e a segurança alimentar, passou-se a estimular a produção de mandioca, sorgo sacarino (*Sorghum bicolor*) e batata-doce (*Ipomoea batatas* L.) para substituir o milho e o arroz, utilizados atualmente na produção do etanol (NAYLOR *et al.* 2007).

Na União Européia, a produção de etanol é feita principalmente com a utilização do trigo (*Triticum aestivum* L.) e da beterraba (*Beta vulgaris* L.) como matérias-primas (TAO; ADEN, 2009). Além dessas matérias-primas, esse bloco está desenvolvendo uma nova alternativa para produção de energias renováveis, através da utilização dos resíduos de culturas agrícolas (trigo, cevada, aveia, centeio, arroz, milho, girassol e canola) que permanecem no campo após a colheita (SCARLAT *et al.*, 2010).

A ampla dimensão geográfica brasileira faz com que o país tenha características edafoclimáticas heterogêneas, o que favorece uma produção agrícola diversificada. Estas características de cada região podem interferir na quantidade e na localização da oferta bem como nas escolhas de demanda.

Tendo em vista as diversas fontes renováveis para produção de etanol já utilizadas em outros países, emerge no Brasil, no estado do Mato Grosso, o interesse em transformar para produção de etanol, além da cana-de-açúcar, outras culturas como a mandioca, o milho e o sorgo sacarino. Esse interesse decorre do fato do estado do Mato Grosso produzir 7,6 milhões de toneladas de milho anuais, o que corresponde a 14% da produção nacional desse cereal (CONAB, 2011). O consumo interno no Mato Grosso é de apenas 1,5 milhões de toneladas (IMEA, 2011), sendo que 6,1 milhões de toneladas são exportadas por vias rodoviárias para outras regiões e outros países, havendo disponibilidade de matérias-primas para o processamento no estado com o preço de comercialização abaixo dos custos de produção.

Além disso, trata-se de uma região com características de solo e clima favoráveis à produção de sorgo sacarino e mandioca, culturas essas já inseridas na cultura local, dispensando-se alterações substanciais no sistema produtivo.

Com isso, ter-se-ia o aumento da possibilidade de utilização dessas matérias-primas no estado, o que poderia diminuir a dependência da agricultura regional dos programas de subsídios federais como o PEP (Prêmio de Escoamento do Produto) e o Pepro (Prêmio de Escoamento da Produção) além de possibilitar o desenvolvimento de regiões distantes dos grandes centros urbanos.

Com a possibilidade de uma nova demanda para o processamento de mandioca, milho e sorgo sacarino na região Oeste do estado do Mato Grosso, dada a quantidade limitada dessa

biomassa processada na região, é pertinente questionar se seria viável implantar-se um sistema de produção de etanol multi-produto baseado nessas culturas.

Dessa forma, os objetivos deste trabalho são a definição da localização de uma planta de produção de etanol e a avaliação da viabilidade da instalação desta planta a partir de diferentes matérias-primas no estado do Mato Grosso. Para isso se utiliza aqui o modelo de programação matemática desenvolvido por Benedetti (2012), que considera a variável quantidade de matérias-primas produzidas na região e os parâmetros distância da planta de produção de etanol, custos de produção e fatores de conversão. A escolha desse modelo, frente a outros de abordagem semelhante, se fundamenta no fato de que nesse são utilizados parâmetros de validade regional evidente.

## **2 TEORIA DA LOCALIZAÇÃO**

A Teoria da Localização, de maneira geral, trata dos fatores espaciais de atração das atividades econômicas. Essas contribuições datam do início do século XIX, quando se iniciam as preocupações com a organização do espaço econômico. A busca pelo local ideal que maximize os lucros da firma passa a estar intimamente ligada à compreensão dos fatores locais e suas relações de interdependência.

Na Teoria desenvolvida por Von Thunen (1826), a decisão locacional vincula-se à distância geográfica entre os locais de produção e comercialização dos produtos. Em sua análise o autor busca encontrar a maneira ótima de distribuir a produção agrícola para comercialização em um único local. O fator distância torna-se importante para a escolha dos produtos cultivados, influenciando nos custos de produção.

Diferente da teoria de Von Thunen, Weber (1929), cita outros elementos envolvidos na decisão da localização industrial. Em sua análise, além das distâncias dos locais de comercialização, leva em consideração aspectos como: os custos com a mão-de-obra, a disponibilidade de insumos, as forças locais, além das vantagens e desvantagens da concentração em grandes centros urbanos.

Com base na Teoria da Localização vários trabalhos buscam encontrar locais ideais para implantar atividades. Oliveira e Santos (2003) procuraram determinar o local ideal para construção de plantas de processamento de soja no estado do Mato Grosso, Brasil. Para isso, os autores levaram em consideração o volume e os custos de transporte da matéria-prima até a planta industrial, além dos custos de instalação de uma nova indústria.

Outra importante contribuição para aplicação dessa teoria foi realizada por Von Oppen (1976). Empregando modelos de localização, em conjunto com modelos de equilíbrio espacial na Índia, o autor buscou determinar a localização, o comércio inter-regional e abrangência do mercado para indústria da soja. Para isso, o autor utilizou basicamente três fatores: transporte, insumos e produtos, além de características de oferta e demanda regional. A partir de uma localização ideal, foi derivado o custo médio regional de processamento do grão. Este custo foi inserido no modelo de comércio inter-regional, sendo que, da solução ótima deste, resultaram as quantidades a serem processadas e distribuídas pelas empresas.

Com a utilização de modelos de programação linear, Leduc *et al.* (2010), buscando encontrar a localização ideal para construção de uma planta de etanol com geração de co-produtos na Suécia, conclui que plantas com poligeração de produtos devem estar localizadas em áreas equidistantes entre a produção agrícola e o centro consumidor.

Resultados semelhantes foram encontrados por Slade *et al.* (2009), o qual, avaliando a produção de etanol a partir de materiais lignocelulósicos na Europa, considerou que os maiores custos para produção do etanol estão vinculados à distância das matérias-primas e à localização dos mercados consumidores. O autor destaca ainda o papel importante dos subsídios e das políticas públicas para criar e alavancar a cadeia do etanol. Parte desses elementos relevantes à viabilização dos negócios dos biocombustíveis no Oeste do Mato Grosso são levados em conta na presente análise.

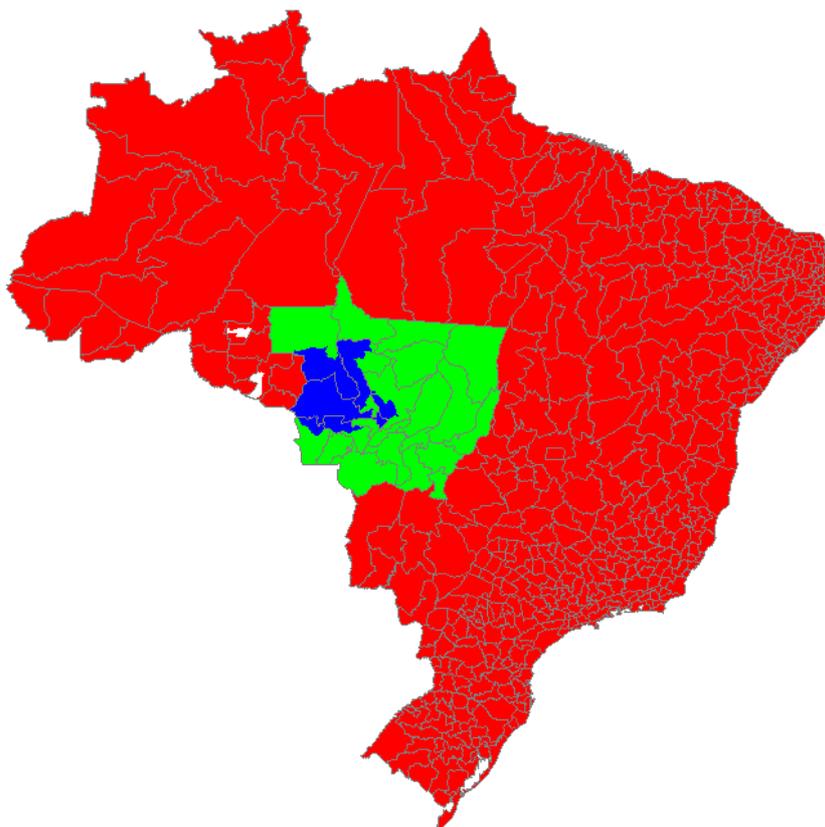
### **3 PROCEDIMENTOS METODOLOGICOS**

#### **3.1 Delimitação**

O recorte proposto para este estudo levou em consideração a produção agrícola e o processamento industrial de cada cultura analisada, numa análise que abrange até o final da produção de etanol na planta industrial.

#### **3.2 Localização**

A região analisada foi o Oeste do estado de Mato Grosso, Brasil (Figura 11). A região foi escolhida devido à quantidade de matérias-primas existentes passíveis de transformação em etanol. Os municípios que compreendem a região do estudo são: Brasnorte, Campos de Júlio, Campo Novo dos Parecis, Comodoro, Conquista do Oeste, Diamantino, Juara, Juína, Nova Lacerda, Nova Maringá, Nova Mutum, Sapezal e Tangará da Serra.



**Figura 11 - Mapa do Brasil, com destaque para o estado do Mato Grosso (em verde) e a região de estudo, Oeste do Mato Grosso (em azul)**

### **3.3 Ferramental analítico**

Aplicou-se o modelo matemático desenvolvido por Benedetti (2012) que se baseia em técnicas de programação matemática (ANEXO 1). O modelo utilizado considera que a análise das cadeias energéticas passa pela avaliação da disponibilidade de biomassa local, seus custos produtivos, custos de transporte e receita gerada a partir da venda do combustível. A variável a ser analisada é a quantidade de biomassa enviada de um município “m” para uma usina “k”. Essa análise incorpora a produção agrícola e industrial, buscando-se elementos para o suporte da decisão do investidor - seja ele público ou privado – na avaliação da rentabilidade da estrutura produtiva. Os resultados do modelo indicam se haveria viabilidade de uma determinada cadeia agroenergética em determinado local ou região. Como ferramenta para resolver numericamente, aplicou-se o *solver* da Frontline Systems, que desenvolveu uma interface no Microsoft Excel®, baseado em algoritmos de resolução de problemas desta natureza.

Como *proxy* da sustentabilidade microeconômica das cadeias produtivas de agroenergia, Benedetti (2012) aponta o lucro global da cadeia. A garantia de retorno econômico é condição *sine qua non* para a viabilização dessa cadeia produtiva, garantindo sua continuidade no longo prazo.

### 3.4 Parâmetros utilizadas na análise

#### 3.4.1 Parâmetros de processamento

Para o cálculo dos custos de produção, optou-se por utilizar as médias anuais dos custos de produção de cada cultura, de acordo com o nível de rendimento, como forma de minimizar distorções (Tabela 5).

Na estimativa mínima para a remuneração das matérias-primas foram utilizados os valores dos custos de produção.

Os custos de processamento industrial se referem à transformação das matérias-primas em etanol. Nestes custos estão incluídas as despesas com produtos químicos, energia, salários, depreciação, manutenção, encargos fiscais, tratamento dos resíduos gerados, seguro e água.

Para estimar o rendimento de etanol de cada uma das matérias-primas processadas na refinaria foram utilizados fatores médios de conversão como encontrados na bibliografia correspondente citada.

**Tabela 5 – Parâmetros utilizadas na análise de viabilidade da implantação de uma biorrefinaria de etanol no Oeste do Mato Grosso**

Variável/Cultura	Mandioca	Milho	Sorgo sacarino
Custos de produção (R\$/ha)	3.913,30 <sup>a</sup>	1.301,31 <sup>b</sup>	847,33 <sup>c</sup>
Expectativa de rendimento (t/ha) <sup>d</sup>	31	4,8	60
Fatores de conversão (L/t)	201 <sup>e</sup>	371,74 <sup>f</sup>	35,05 <sup>g</sup>
Custo Industrial (R\$/L) <sup>h</sup>	0,544 <sup>i</sup>	1,21 <sup>j</sup>	0,63 <sup>g</sup>
Preço de comercialização (R\$/t)	126,24	271,00	16,95

Fonte: Elaborado pelo autor

<sup>a</sup> Dados da Embrapa, média de 2006 a 2008.

<sup>b</sup> Dados da Conab, média de 2005 a 2010.

<sup>c</sup> Dados da FAEG, 2010.

<sup>d</sup> Nível médio/alto tecnologia

<sup>e</sup> Fator médio em usinas brasileiras, Salla (2008).

<sup>f</sup> Fator médio Norte Americano, Shapouri e Gallagher (2005) e Zhang *et al* (2011).

<sup>g</sup> Fator encontrado por, Linton *et. al.* (2011)

<sup>h</sup> Dados acrescidos de 15% devido às características trabalhistas e fiscais do Brasil. Fator de conversão dólar: 1,80.

<sup>i</sup> Valor encontrado por Siroth *et al.* (2010) .

<sup>j</sup> Valor encontrado Zhang *et a.l* (2011)

Optou-se por não restringir a capacidade de processamento da usina. Foi estimado a possível produção de etanol utilizando todas as matérias primas disponíveis na região direcionando-as para produção de etanol. Resultados das iterações realizadas são apresentados no Apêndice 1.

### **3.4.2 Parâmetros de logística**

Na presente avaliação, assume-se que o transporte das matérias-primas das áreas agrícolas até a biorrefinaria seja incluído nas atividades dessa.

De acordo com o modelo utilizado, para o cálculo das distâncias entre os municípios candidatos à localização da planta industrial e o consequente envio das matérias-primas foram utilizadas as coordenadas geográficas, agregando-se um fator de correção que leva em conta o deslocamento a partir de cada unidade de produção agrícola. Além disso, o modelo prevê distâncias lineares entre os municípios. Devido a isso, foi adicionado um fator de circuito como forma de compensar as curvas existentes no trajeto.

O custo médio por tonelada de biomassa foi calculado com base no preço do transporte local, estimado em R\$ 0,18/t/km.

### **3.5 Produção considerada**

Para estimar o volume de matérias-primas disponíveis na região para o processamento na planta industrial, foram coletados os dados do total de biomassa produzido nos respectivos municípios. Como a produção varia a cada ano, utilizou-se a média da produção de cada cultura entre os anos de 2007 a 2009, conforme dados disponíveis no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE.

### **3.6 Receita de comercialização**

Para estimar a receita da planta industrial com a venda do etanol, foi utilizado o valor de comercialização médio do etanol no ano de 2011. Esse valor foi de R\$ 1,42/litro (CEPEA, 2012).

A biomassa da mandioca tem aproveitamento quase integral na biorrefinaria de etanol. O eventual resíduo sólido do processo é utilizado como adubo, inexistindo dados acessíveis sobre a sua comercialização.

O processamento do milho na planta industrial do etanol gera aproximadamente 25% de subproduto, o qual, em regra, é comercializado como substrato protéico para produção animal. A venda deste subproduto foi estimada conforme o teor de proteína, perfazendo o valor médio de R\$ 420,00 por tonelada.

O processamento do sorgo sacarino se distingue do milho em alguns aspectos. O resíduo sólido após a fermentação alcoólica pode ser utilizado na produção de energia elétrica. Devido à imprecisão dos parâmetros para estimar os subprodutos após o beneficiamento da cultura do sorgo sacarino, optou-se por não estimar receita com a comercialização do excedente de energia elétrica que poderia ser comercializado.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Localização ideal

O primeiro objetivo do trabalho foi encontrar o local onde o custo final da produção de etanol fosse minimizado, de forma a obter o maior retorno para a implantação de uma planta de etanol. Para isso, foram feitas duas iterações.

Na primeira delas, a análise testou a iteração com todos os municípios que são possíveis candidatos para a implantação de uma biorrefinaria de etanol. A escolha do local ideal leva em consideração a distância da biorrefinaria às unidades de produção agrícola, a quantidade de biomassa a ser processada e os custos de produção agrícola, industrial e de transporte.

Os resultados mostram que os municípios analisados com as maiores produções de biomassa apresentam maior viabilidade para instalação de uma biorrefinaria de etanol. Dentre os treze municípios avaliados, o modelo selecionou Campo Novo dos Parecis, Diamantino e Nova Mutum como os mais viáveis. Os municípios de Juara, Juína e Nova Lacerda foram os que apresentaram os menores níveis de produção de biomassa, sendo desqualificados, enquanto baixos produtores, para sede de uma biorrefinaria. Isso confirmaria alguns aspectos da teoria Weberiana de localização, a qual supõe que a procura do melhor local de produção minimizaria o custo total de  $t/km$  no processo de relações de *input-output*.

Após essa primeira análise envolvendo todos os municípios, sugerindo-se Campo Novo dos Parecis como a ideal para a construção de uma biorrefinaria, realizou-se uma nova iteração do modelo, restringindo-se o envio de matérias-primas de toda a região apenas para

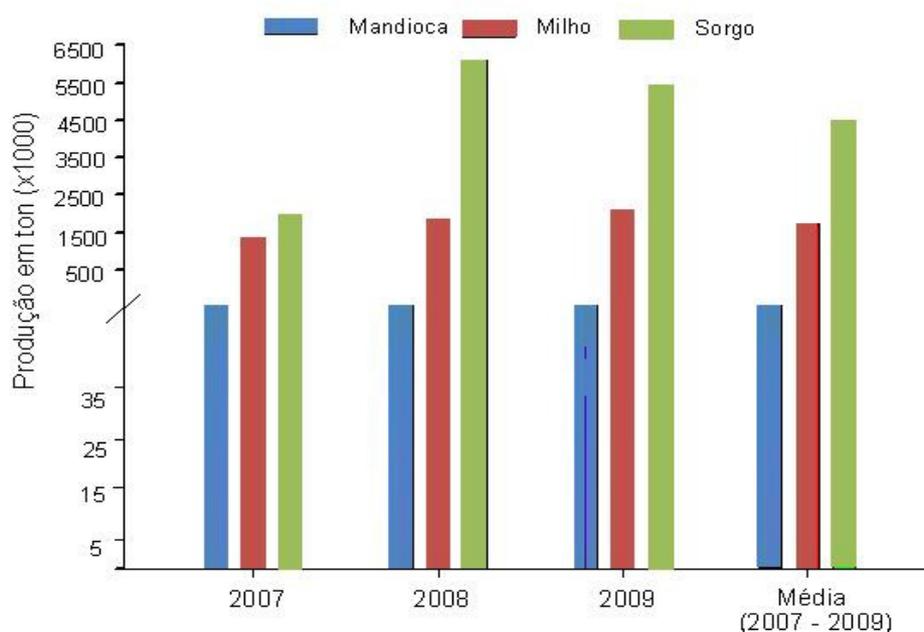
este município para estimar o custo final da produção de etanol e verificar sua viabilidade como ponto focal da produção de etanol na região. Os resultados dessa iteração são discutidos abaixo.

## 4.2 Produção de biomassa

A produção de biomassa representa a quantidade total de matérias-primas disponíveis na região analisada (Figura 12). Para minimizar distorções, utilizou-se valores médios entre os anos analisados. Na região analisada, enquanto a cultura da mandioca perdura o ano inteiro, as culturas do milho e sorgo sacarino são consideradas culturas de segunda safra, a safra que segue ao ciclo da soja, considerada a primeira safra.

Entre as fontes de biomassa produzidas na região no período de segunda safra, a principal é a cultura do milho, a qual ocupa uma área aproximada de 498 mil hectares, seguida da cultura do sorgo, com 51 mil hectares. A cultura da mandioca ocupa 2,3 mil hectares.

Conforme os dados da Figura 12, o sorgo produz maior quantidade de biomassa, quando comparado às outras culturas consideradas. Isso ocorre devido às características de crescimento do sorgo, as quais são semelhantes ao milho. Do sorgo sacarino, utiliza-se o colmo para produção de etanol, ao invés do grão.



**Figura 12 – Produção de biomassa das culturas analisadas na região Oeste do Mato Grosso**  
Fonte: IBGE (2011).

Isso faz com que seja necessário produzir maior quantidade de biomassa por hectare a partir do sorgo sacarino para produção de etanol para ter o rendimento de etanol semelhante à cultura do milho.

### **4.3 Custo do transporte**

O custo de transporte da biomassa dos locais de produção agrícola até o processamento na biorrefinaria foi calculado levando em consideração a quantidade de matérias-primas transportadas.

As distâncias de cada município até Campo Novo dos Parecis, local definido teoricamente como ponto focal ideal para produção de etanol na região, bem como a quantidade de matéria-prima transportada de cada local, são apresentadas na Tabela 6. Adotou-se a distância de 25 km do local de beneficiamento para as unidades de produção agrícola localizadas no município de Campo Novo dos Parecis.

A partir dos dados das distâncias de cada município e da produção de biomassa, gerou-se o custo total de deslocamento de biomassa para cada município considerado na avaliação.

Conforme dados da Tabela 6 observa-se uma concentração da produção agrícola em alguns municípios da região, onde seis deles representam mais de 90% do total da biomassa produzida. Dentre esses seis, a distância média entre os cinco municípios mais próximos permanece menor do que 130 km. Entretanto, o município de Nova Mutum localiza-se a 410 km da biorrefinaria hipotética de forma a elevar os custos com o transporte das matérias-primas, com destaque para a cultura do sorgo sacarino, a qual produz grande volume, inviabilizando o transporte a esta distância, pelo baixo rendimento em etanol que apresenta.

A concentração das unidades de produção de matérias-primas junto à unidade de processamento industrial reduz os custos de transportes. Salienta-se que a região Oeste do estado do Mato Grosso produz um volume superior a demanda local de milho. Essa produção depende recorrentemente de incentivos federais na forma de subsídios, a exemplo do Programa de Escoamento de Produto - PEP e do Premio Equalizador Pago ao Produtor - PEPRO. Com o aumento do consumo destas matérias-primas, diminuir-se-ia a dependência da agricultura regional desses programas, aumentando-se a atividade industrial, o número de empregos, a geração de renda e, como consequência, promovendo o desenvolvimento regional.

**Tabela 6 – Distância da produção, em quilômetros, entre os municípios avaliados até a biorrefinaria e produção de biomassa por município**

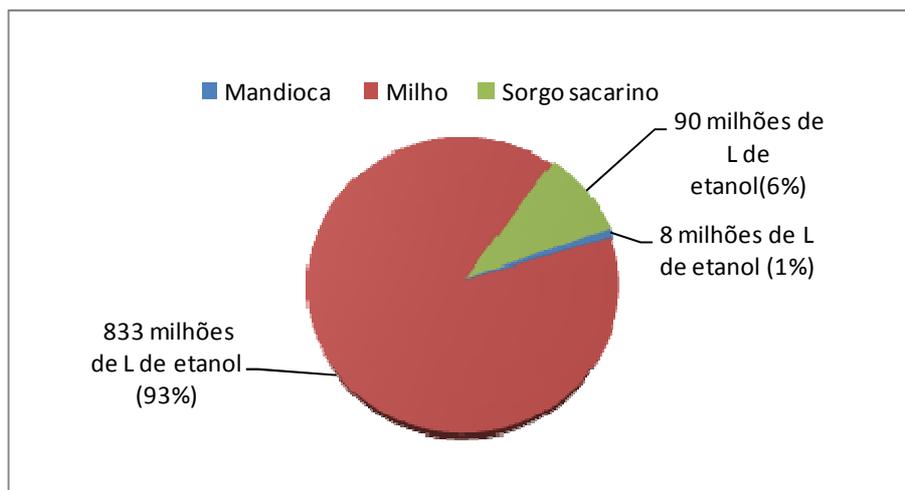
Município	Distância até a planta industrial (km)	Total de matérias-primas (t/ano)			Total de Matéria-Prima em %
		Mandioca	Milho	Sorgo sacarino	
Brasnorte	210	3380,0	94830,0	655306,9	6,9
Campos de Júlio	219	0,0	349842,0	4071664,0	11,6
<b>Campo Novo dos Parecis</b>	<b>25</b>	<b>1500,0</b>	<b>476630,0</b>	<b>10685859,2</b>	<b>22,4</b>
Comodoro	251	3000,0	48966,7	52509,8	1,1
Conquista do Oeste	173	278,7	813,3	18,3	0,0
Diamantino	145	15000,0	224049,0	3594113,8	16,0
Juara	432	850,0	4170,0	432,0	0,1
Juina	410	2635,0	9730,0	2482,7	0,3
Nova Lacerda	312	960,0	2951,7	2979,2	1,0
Nova Maringa	380	990,0	44738,7	124535,8	2,8
Nova Mutum	410	2997,3	412703,0	7419846,4	18,0
Sapezal	45	0,0	483717,0	7540031,8	15,6
Tangará da Serra	169	8000,0	90247,3	376954,3	4,2

Fonte: Elaborado pelo autor, com base em dados do IBGE (2010).

Ressalta-se que valores dos coeficientes encontrados para a produção de milho e sorgo sacarino foram estimados segundo parâmetros médios de indústrias Norte Americanas, com alto potencial de rendimento. Já para os valores para a cultura da mandioca, foram utilizados fatores de conversão médios obtidos em indústrias brasileiras. Se comparados os valores obtidos na cultura da mandioca no Brasil com outros países, nota-se que há possibilidade de aumentar o rendimento de etanol a partir dessa cultura. Conforme dados de Sriroth *et al*, (2010), na Tailândia extrai-se aproximadamente 380 L/t de mandioca, ou seja, 179 L/t a mais que no Brasil.

#### 4.4 Volume de Produção

A soma das matérias-primas disponíveis em cada município permitiu que, a partir dos fatores de conversão de biomassa em etanol encontrados na literatura, fosse estimado o volume de produção de etanol capaz de ser produzido pelas diferentes matérias-primas (Figura 13).



**Figura 13 – Volume da produção, em milhões de litros/ano de etanol, capaz de ser produzido com as biomassas da região Oeste do Mato Grosso**

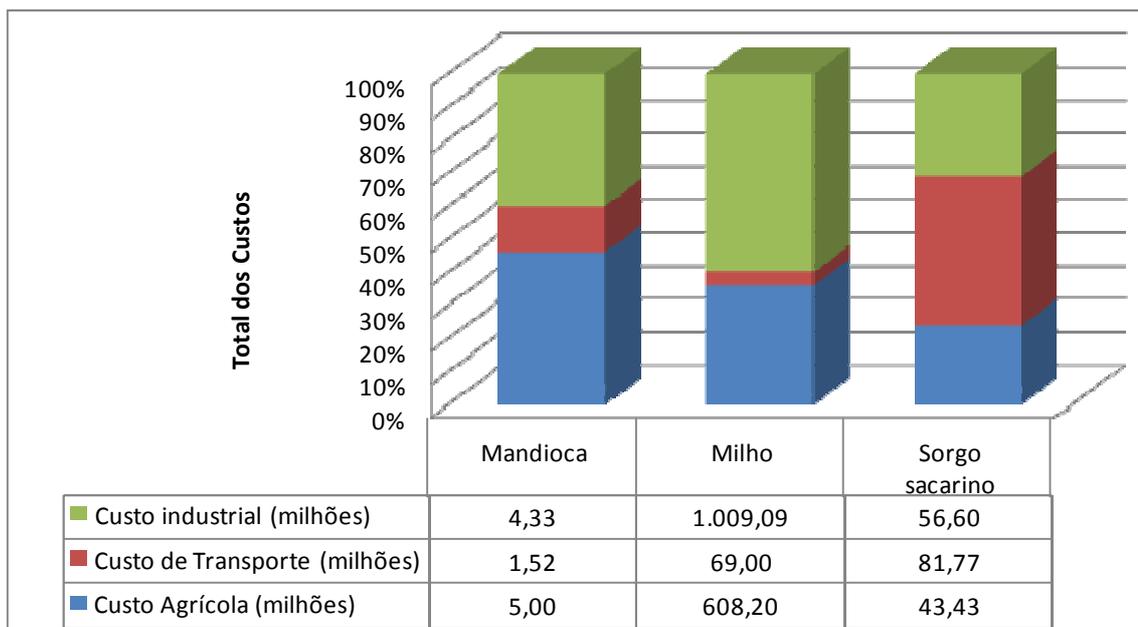
Fonte: Elaborado pelo autor, com base em dados do IBGE (2011).

A possibilidade da produção de etanol na região Oeste do estado do Mato Grosso está centrada na cultura do milho, conforme se observa na Figura 13. Essa cultura seria responsável por 93% da biomassa a ser utilizada para produção de etanol. O sorgo sacarino vem em segundo lugar, com 6%, seguido da mandioca, com apenas 1%. Como se torna inviável o transporte do sorgo sacarino do município de Nova Mutum para a biorrefinaria hipotética, o percentual de participação do sorgo sacarino cai para 5% do total.

Com os dados utilizados neste trabalho, torna-se questionável a construção de uma planta de etanol multi-produto na região Oeste do estado do Mato Grosso. A estrutura necessária para o recebimento de diferentes matérias-primas, as quais juntas correspondem a menos de 7% da produção agrícola anual da região, além de elevar os custos da planta industrial pela necessidade da estruturação de diferentes etapas de pré-processamento, a tornaria ociosa durante a maior parte do ano.

#### 4.5 Custos de Produção

As matérias-primas consideradas para o processamento na biorrefinaria hipotética têm diferentes comportamentos em relação aos custos de produção. Estes se referem a todos os gastos envolvidos para produção do etanol, como apresentados na Figura 14.



**Figura 14 – Custos de produção do etanol para o processamento das matérias-primas analisadas na região Oeste do estado do Mato Grosso, em milhões de Reais**

Fonte: Elaborado pelo autor.

A cultura da mandioca detém, percentualmente, os maiores custos de produção agrícola, quando comparada com o milho e o sorgo sacarino. De acordo com a expectativa de rendimento de cada cultura, esperar-se-ia produzir cerca de 6.230 L/ha de etanol com a mandioca, 1.780 L/ha com o milho e 1.750 L/ha com a cultura do sorgo sacarino.

Os custos de produção agrícola da mandioca são 4,5 vezes maior que a cultura do sorgo sacarino e três vezes maior que a cultura do milho. Este custo de produção agrícola torna o sorgo sacarino mais atrativo, pois, com o valor investido na produção agrícola da mandioca, poderiam ser produzidos 7.875 litros de etanol/ha se investido na produção agrícola de sorgo sacarino.

A distância da produção agrícola do sorgo sacarino e a localização da biorrefinaria hipotética, apesar de suas características agrícolas apontadas acima, tornam-no inviável.

Em comparação com as usinas de cana-de-açúcar brasileiras, estas utilizam como padrão um limite máximo de 30 km de distância entre o ponto de colheita e o local de processamento, de forma que se diminuam os custos e as perdas com a deterioração da matéria-prima no transporte (LINS; SAAVEDRA, 2007; SALLA *et al*, 2009).

Com relação aos custos de processamento industrial, o milho é a cultura com os maiores custos. Comparando com a mandioca, o custo de processamento do milho é 124% maior, e com o sorgo sacarino é 92% maior. Este custo elevado ocorre devido aos processos necessários para extrair o amido do milho, quando comparado à mandioca. Para o sorgo

sacarino não é necessário esta etapa de processamento com a extração do amido, pois da biomassa é extraída diretamente a sacarose a ser fermentada em etanol.

Desta forma, cada cultura apresenta uma característica com limitações diferentes para o processamento de etanol na região. O milho apresenta elevados custos de processamento industrial, os quais, pela característica do grão, são complexos para reduzir. O sorgo sacarino possui elevados custos de transporte, portanto, sua utilização viabiliza-se quando a produção está próxima do processamento industrial. Já a mandioca possui elevados custos de produção agrícola quando comparado com as outras culturas avaliadas e este custo não se reflete na relação maior entre custo/produzibilidade de etanol.

Os custos finais de produção são apresentados na Tabela 7. Estes foram calculados de forma independente para cada município, levando em consideração a produção agrícola, o transporte e o custo industrial. Com esses dados visualiza-se o custo de produção do etanol provindo de cada matéria-prima em cada uma das localidades avaliadas, auxiliando o gestor na tomada de decisão quanto a pertinência de instalação de uma biorrefinaria no local.

**Tabela 7 – Custo de produção (R\$/L) do etanol com a simulação de uma usina hipotética localizada no município de Campo Novo dos Parecis, na região Oeste do Mato Grosso, com matérias-primas provenientes de diferentes municípios**

Município	Mandioca	Milho	Sorgo sacarino
Brasnorte	1,360	2,041	2,192
Campos de Júlio	-	2,045	2,238
Campo Novo dos Parecis	1,194	1,951	1,242
Comodoro	1,397	2,061	-
Conquista do Oeste	1,327	2,023	-
Diamantino	1,302	2,009	1,856
Juara	1,559	2,148	-
Juina	1,539	2,138	-
Nova Lacerda	1,451	2,090	2,716
Nova Maringa	1,512	2,123	3,065
Nova Mutum	1,539	2,138	3,219
Sapezal	-	1,961	1,346
Tangará da Serra	1,323	2,021	1,981
<b>MÉDIA</b>	<b>1,409</b>	<b>2,058</b>	<b>2,024</b>

Nota: Valores nulos são correspondentes aos municípios que não produzem estas matérias-primas.

Conforme os dados apresentados, na Figura 13, a cultura do milho representa a maior das produções agrícolas consideradas cultivadas na região. Apesar disso, apresenta a menor viabilidade para produção regional de etanol. Os dados da Tabela 7 permitem comparar o custo para as matérias-primas analisadas provindas de cada localidade.

Dentre os valores obtidos neste trabalho, apenas a cultura da mandioca apresentou um custo de produção abaixo do valor médio de comercialização de etanol durante o período analisado.

Os valores para a cultura da mandioca indicam uma pequena margem de lucratividade (R\$ 0,011/L). A viabilização da produção de etanol a partir da mandioca nas localidades consideradas pode ser feita de duas formas: com a melhoria na eficiência do processo de extração do amido e com o cultivo de variedades que produzam maior quantidade de amido.

Para o milho, mesmo com a venda dos subprodutos, diluindo os custos de produção para esta cultura, o valor mínimo desse custo ficou em R\$ 1,951, sendo que o máximo permaneceu em R\$2,138, um intervalo de R\$ 0,187, o qual atribui-se aos custos com o transporte.

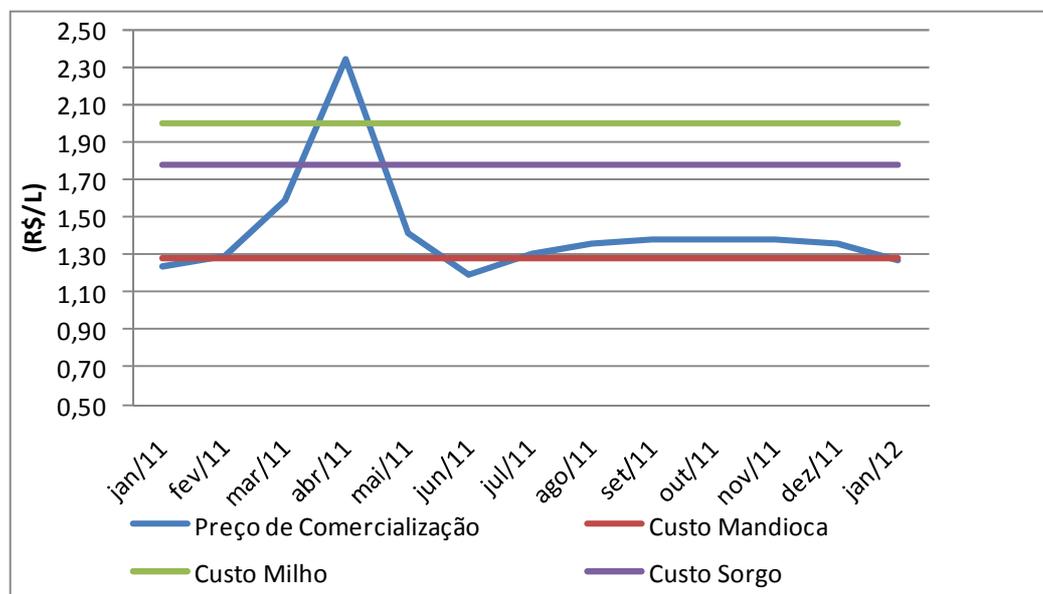
A comercialização da cultura do milho pelo valor estimado neste trabalho, o qual cobre os custos de produção, torna pouco atrativo processá-lo para produção de etanol. Entretanto, na região analisada, muitas vezes o valor de comercialização da produção do milho não cobre os custos de produção, ou seja, há possibilidades de redução do custo de produção do etanol. O valor médio da comercialização do milho no período de 2008 a 2010, segundo dados da CONAB, foi de R\$ 12,04, o qual iria gerar o valor médio de comercialização final do etanol de R\$ 1,904, ou seja, uma redução de R\$ 0,154 em relação ao cenário considerado.

Ainda que os agricultores possam estar trabalhando com prejuízo nesta atividade, estes permanecem cultivando a safra de milho como forma de diluir parte dos custos fixos da propriedade. Além disso, essa prática traz benefícios indiretos, como a conservação do solo pelos restos culturais que permanecem na lavoura após a colheita, além da liberação de nutrientes pela decomposição gradativa deste material na cultura subsequente.

Com os dados do preço por litro de etanol a partir da cultura do sorgo sacarino, fica evidente que a destinação desta cultura à produção de etanol se inviabiliza, conforme aumenta a distância entre o local de produção da matéria-prima e o local de processamento. Estes resultados confirmam os pressupostos de Von Thunem e Weber, os quais enunciam que os custos de produção modificam conforme a decisão locacional. O valor médio final para o litro de etanol do sorgo sacarino ficaria em R\$ 2,024, sendo que o valor máximo, chegaria a R\$ 3,219, e o mínimo a R\$ 1,242.

Buscando alternativas para viabilizar a planta industrial optou-se por analisar as cinco localidades próximas da hipotética planta de etanol em Campo Novo dos Parecis – até 130 km de distância – excluindo-se localidades com participações menores que 5% do volume total da

produção de matérias-primas. Fizeram parte desta análise os municípios de Brasnorte, Campo Novo dos Parecis, Campos de Júlio, Diamantino e Sapezal, que totalizam 72,6% do total das matérias-primas consideradas na região Oeste do Mato Grosso. A Figura 15 apresenta os dados da série histórica dos preços de comercialização do etanol no ano de 2011, bem como os resultados do custo de produção de etanol para cada cultura avaliada, nas cinco localidades.



**Figura 15 – Relação entre custos de produção médio das cinco localidades com maior representatividade da produção de biomassa na região Oeste do Mato Grosso próximas a planta de etanol hipotética e o preço de comercialização ao longo do período**

Fonte: Elaborado pelo autor

O valor do custo de produção para os cinco municípios mais próximos selecionados para a cultura da mandioca foi de R\$ 1,285, uma redução R\$ 0,124 no total. O milho e o sorgo sacarino permaneceram com os custos de produção elevados no período considerado. No entanto, no mês de abril de 2011, observa-se uma elevação no preço do etanol (Figura 15). Se mantido o preço nesse patamar, viabilizar-se-ia o processamento das três culturas avaliadas. Esse pico ocorreu devido à baixa oferta de etanol no momento em que se iniciava a colheita da cana-de-açúcar. Devido à facilidade para indústria sucroalcooleira optar pelo produto final (açúcar ou etanol), as usinas de etanol de cana-de-açúcar respondem rapidamente a esses estímulos.

Conforme dados apresentados na Figura 13, há pouca mandioca disponível para o processamento na região, de forma que, caso se opte pelo processamento desta, torna-se necessárias mudanças na estrutura produtiva.

Conforme Yang *et. al.* (2009), com o elevado custo de produção das energias produzidas a partir de biomassa, em comparação com as alternativas fósseis existentes, os biocombustíveis podem ser considerados inviáveis do ponto de vista econômico. Assim, na ausência de apoio público, estes programas têm dificuldades de prosperar.

Desta forma, o subsídio fornecido para o escoamento da produção do milho, se redirecionado para subsidiar o processamento de etanol na região, elevaria a atratividade do milho para produção de etanol. Esse processamento estimularia o surgimento de empresas de prestação de serviços, fornecimento de insumos especializados, de matérias-primas, além do interesse de universidades e centros especializados em pesquisa e desenvolvimento de produtos. Para isso, aumentaria a necessidade de mão-de-obra, hotéis, moradias, supermercados, lojas entre outras, desta forma, promovendo o desenvolvimento generalizado na região.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os resultados apontam que a produção de etanol a partir de multi-produtos na região Oeste do estado do Mato Grosso possui algumas limitações. A cultura da mandioca mostrou ser a espécie com maior possibilidade de processamento, do ponto de vista econômico. Entretanto, para assegurar sua viabilidade, seria necessário utilizar variedades com níveis de concentração de amido maiores e processamento adequado, de forma que aumentasse a quantidade final de litros de etanol extraídos por tonelada de matéria-prima.

O milho, principal matéria-prima da segunda safra na região, possui uma faixa muito estreita de viabilização para produção de etanol dado os altos custos de processamento. Existiriam condições específicas de operação da biorrefinaria de etanol que tornariam sua adoção como matéria-prima viável.

O sorgo sacarino mostrou-se pouco viável de ser processado quando há necessidade de transporte para longas distâncias. Entretanto, para esta biomassa, o valor final dos custos de produção do etanol nos municípios de Campo Novo dos Parecis e Sapezal, mostraram-se abaixo do valor de comercialização de etanol praticado na região, demonstrando sua viabilidade no cenário considerado.

A utilização da mandioca para produção de etanol pode estimular mudanças no sistema produtivo local, diminuindo a quantidade produzida de milho e sorgo sacarino.

A utilização da modelagem matemática como ferramenta possibilitou um trabalho capaz de tratar os dados pertinentes ao problema na região sem perda de informações importantes que apontam para viabilidade de uma biorrefinaria de etanol na região.

Pela natureza complexa da introdução de uma nova atividade agroindustrial numa região, eventualmente fatores não considerados nesse trabalho, poderiam ter impactos dramáticos nas conclusões aqui alcançadas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BENEDETTI, O. I. S. **Modelos de apoio a decisão para a produção de energia renovável no Brasil**. 2012. 117 f. Tese (Doutorado em Planejamento Estratégico) - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

CEPEA - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. **Etanol**. Disponível em: <<http://www.cepea.esalq.usp.br/etanol/>>. Acesso em: 13 jan. 2012.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Custos de produção [milho]**. 2011. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=545&t=2>>. Acesso em: 20 jul. 2011.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Milho e sorgo**. Disponível em: <<http://hotsites.sct.embrapa.br/diacampo/programacao/2010/sorgo-sacarino-alternativa-para-a-producao-de-etanol>>. Acesso em: 14 nov. 2011.

FAEG – Federação da Agricultura e Pecuária de Goiás. **Custos de produção**. Disponível em: <<http://www.sistemafaeg.com.br/faeg/site/Institucional.do?vo.chave=faegdados>>. Acesso em: 14 dez. 2011.

FISCHER, G.; SCHRATTENHOLZER, R. Global bio-energy potentials through 2050. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, n. 20, p. 151-159, 2001.

HAHN, R.; CECOT, C. The benefits and costs of ethanol: an evaluation of the government's analysis. **Journal of Regulatory Economics**, Dordrecht, n. 35, p. 275-295, 2009.

HIRA, A.; OLIVEIRA, L. G. No substitute for oil? How Brazil developed its ethanol industry. **Energy Policy**, London, n. 37, p. 2450-2456, 2009.

HUNTER, E. L.; ANDERSON, I. C. Sweet sorghum. **Horticultural Reviews**, New York, n. 21, p. 73-104, 1997.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção agrícola municipal**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 13 set. 2011.

IMEA – Instituto Mato-Grossense de Economia Agrícola. **Cenário do atual mercado de milho em Mato Grosso**. Brasília, 2009. Disponível em: <[http://www.imea.com.br/upload/pdf/arquivos/Cenario\\_do\\_atual\\_mercado\\_de\\_milho\\_em\\_Mato\\_Grosso.pdf](http://www.imea.com.br/upload/pdf/arquivos/Cenario_do_atual_mercado_de_milho_em_Mato_Grosso.pdf)>. Acesso em: 23 nov. 2011.

LEDUC, S. et al. Optimal location of lignocellulosic ethanol refineries with polygeneration in Sweden. **Energy**, Oxford, n. 35, p. 2709-2716, 2010.

LINS, C.; SAAVEDRA, R. Sustentabilidade corporativa no setor sucroalcooleiro brasileiro. Rio de Janeiro: Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável, 2007. Disponível em: <<http://fbds.org.br/fbds/Apresentacoes/Relatorio%20Final%20Sucroalcooleiro.pdf>> Acesso em: 14 dez. 2011.

LINTON, J. et al. Economic feasibility of producing sweet sorghum as an ethanol feedstock in the southeastern United States. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, n. 35, p. 3050-3057, 2011.

NAYLOR, R. L. et al. The ripple effect: biofuels, food security, and the environment. **Environment**, Washington, n. 49, p. 30-43, 2007.

OLIVEIRA, N. M.; SANTOS, H. N. Agroindústria no estado do Mato Grosso: aplicação de um modelo de localização. **Revista Brasileira de Agroinformática**, Lavras, n. 2, v. 5, p. 102-113, 2003.

RFA - Renewable Fuels Association. **Statistics**. Disponível em: <<http://www.ethanolrfa.org/pages/statistics>>. Acesso em: 10 nov. 2011.

SALLA, D. A. **Análise energética de sistemas de produção de etanol de mandioca, cana-de-açúcar e milho**. 2008. 168 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, UNESP, Botucatu, 2008.

SALLA, D.A. et al. Avaliação energética da produção de etanol utilizando como matéria-prima a cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n.8, p. 2516-2520, 2009.

SCARLAT, N.; MARTINOV, M.; DALLEMAND, J. F. Assessment of the availability of agricultural crop residues in the European Union: Potential and limitations for bioenergy use. **Waste Management**, Oxford, n 30, p. 1889-1897, 2010.

SLADE, R.; BAUEN, A.; SHAH, N. The commercial performance of cellulosic ethanol supply-chains in Europe. **Biotechnology for Biofuels**, London, n. 2, p. 1-20, 2009.

SRIROTH, K. et al. The promise of a technology revolution in cassava bioethanol: from Thai practice to the world practice. **Fuel**, London, n. 89, p. 1333-1338, 2010.

SHAPOURI, H.; GALLAGHER, P. **USDA's 2002 ethanol cost-of-production survey**. Washington, USDA. Office of Energy Policy and New Uses, 2005. (Agricultural economic reports, 841).

TAO, L.; ADEN, A. The economics of current and future biofuels. **In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant**, Columbia, n. 45, p. 199-217, 2009.

THÜNEN, J. H. **The isolated state**. New York: Pergamon Press, 1966. (Edição original: 1826).

UNICA – União da Indústria da Cana-de-Açúcar. **Estatísticas**. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/dadosCotacao/estatistica/>>. Acesso em: 14 nov. 2011.

VON OPPEN, M.; SCOTT, J. T. A spatial equilibrium model for plant location and interregional trade. **American Journal of Agricultural Economics**, Saint Paul, v. 58, n. 3, p. 437-445, 1976.

WEBER, Alfred. **Theory of the location of industries**. Chicago: The University of Chicago Press, 1929.

YANG, J. et al. Biofuels and the greater mekong subregion: assessing the impact on prices, production and trade. **Applied Energy**, London, n. 86, p. 37- 46, 2009.

ZHANG, J.; PALMER, S.; PIMENTEL, D. Energy production from corn. **Environment, Development and Sustainability**, Dordrecht, 27 Ago. 2011.

### CAPÍTULO III

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O anseio dos produtores agrícolas da região Oeste do Mato Grosso em diminuir a dependência dos programas de escoamento de safra e das políticas de preço mínimo os leva a buscar diferentes alternativas para solucionar esses problemas. Dentre as alternativas levantadas para a solução desses está a construção de uma planta de etanol multi-produtos. Entretanto, as possibilidades para a construção de uma planta de etanol a partir de multi-produtos na região Oeste do estado do Mato Grosso devem ser consideradas dentro de algumas limitações.

Uma das limitações está relacionada as matérias-primas cultivadas na região. A cultura da mandioca mostrou-se superior quanto ao desempenho para produção de etanol, entretanto é a espécie em menor quantidade disponível na região. O total produzido fica usualmente abaixo de 40 mil toneladas, sendo que apenas com essa quantidade haveria falta de matéria-prima para o processamento ao longo de todo ano. Esta se mostrou viável do ponto de vista econômico quando a matéria-prima estaria disponível em um raio de até 130 km da planta de processamento.

A cultura do sorgo apresentou entraves quando for necessário transporte em pequenas e grandes distancias. O custo aumenta de forma expressiva à medida que aumenta a distância entre o local de produção da matéria-prima e a planta industrial. Num município suposto candidato à construção da planta industrial, a cultura do sorgo mostrou-se viável de ser processada. Já no município vizinho, Sapezal, a 45 km de distância da suposta planta, tornar-se-ia inviável o processamento aos preços de comercialização avaliados, devido ao custo com o transporte.

Conforme os resultados deste presente trabalho, a possibilidade da produção de etanol no estado de Mato Grosso estaria centrada na cultura do milho. Os entraves para esta cultura ocorreriam, principalmente, devido aos elevados custos com o processamento industrial. Mesmo com simulações de comercialização do preço do milho a 25% abaixo dos custos de produção, este milho se mostrou inviável do ponto de vista econômico para a produção de etanol.

Com os parâmetros utilizados neste trabalho, a construção de uma planta de etanol viabilizar-se-ia apenas com a cultura da mandioca. Para o processamento do milho e do sorgo continuaria sendo necessário a utilização de subsídios. A destinação de subsídios para o processamento seria uma alternativa para estimular a produção milho e sorgo na região. Com a instalação de uma planta industrial de processamento de etanol a partir desses produtos, se

estimularia a geração de empregos e, como consequência, o desenvolvimento econômico da região.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIMILHO – Associação Brasileira das Indústrias do Milho. **Estatísticas**. Disponível em: <<http://www.abimilho.com.br/estatisticas4.htm>>. Acesso em: 20 set. 2011.

ADEOTI, O. Water use impact of ethanol at a gasoline substitution ratio of 5% from cassava in Nigeria. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, n. 34, p. 985-992, 2010.

BARBERIA, G.; BIDERMAN, C. Local economic development: theory, evidence and implications for policy in Brazil. **Geoforum**, Oxford, n. 41, p. 951-962, 2010.

BENEDETTI, O. I. S. **Modelos de apoio a decisão para a produção de energia renovável no Brasil**. 2012. 117 f. Tese (Doutorado em Planejamento Estratégico) - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

BENNETT, A. S.; ANEX, R. P. Production, transportation and milling costs of sweet sorghum as a feedstock for centralized bioethanol production in the upper Midwest. **Bioresource Technology**, New York, n. 100, p. 1595-1607, 2009.

BOKANGA, M. **Chapter xii cassava: post-harvest operations**. 2008. Disponível em: <<http://www.fao.org/inpho/content/compnd/text/ch12.htm>>. Acesso em: 04 jul. 2011.

BOTHAST, R. J.; SCHLICHER, M. A. Biotechnological processes for conversion of corn into ethanol. **Applied Microbiology and Biotechnology**, Berlin, n. 67, p. 19-25, 2005.

CALDARELLI, C. E. **Fatores de influência no preço do milho no Brasil**. 2010. 152 f. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

CEPEA - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. **Etanol**. Disponível em: <<http://www.cepea.esalq.usp.br/etanol/>>. Acesso em: 13 jan. 2012.

CEREDA, M. **Aproveitamento industrial dos resíduos da mandioca**. Botucatu: CERAT, 1996. 137 p.

CHIRAPANDA S. **Country assessment study: strategies and options for integrating biofuel and rural renewable energy production into rural agriculture for poverty reduction in Thailand**. Manila: Asian Development Bank, 2008.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Custos de produção [milho]**. 2011. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=545&t=2>>. Acesso em: 20 jul. 2011.

CUNHA, S. P.; SAVERO FILHO, W. A. Avanços tecnológicos na obtenção de etanol a partir de sorgo sacarino (*Sorghum bicolor (L.) Moench*). **Revista Tecno-lógica**, Santa Cruz do Sul, v. 14, n. 2, p. 69-75, 2010.

DEMAIN, A. L. Biosolutions to the energy problem. **Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology**, Berlin, n. 36, p. 319-332, 2009.

DUKE, J. A. **Handbook of energy crops**. 1983. Disponível em: <[http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke\\_energy/dukeindex.html](http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/dukeindex.html)>. Acesso em: 24 ago. 2011.

EILAND, B. R.; CLAYTON, J. E.; BRYAN, W. L. Losses of fermentable sugars in sweet sorghum during storage. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, New York, n. 26, p. 1596-1600, 1983.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Milho e sorgo**. Disponível em: <<http://hotsites.sct.embrapa.br/diacampo/programacao/2010/sorgo-sacarino-alternativa-para-a-producao-de-etanol>>. Acesso em: 14 nov. 2011.

FAEG – Federação da Agricultura e Pecuária de Goiás. **Custos de produção**. Disponível em: <<http://www.sistemafaeg.com.br/faeg/site/Institucional.do?vo.chave=faegdados>>. Acesso em: 14 dez. 2011.

FANCÉLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360 p.

FISCHER, G.; SCHRATTENHOLZER, R. Global bio-energy potentials through 2050. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, n. 20, p. 151-159, 2001.

GNANSOUNOU, E.; DAURIAT, A.; WYMAN, C. E. Refining sweet sorghum to ethanol and sugar: economic trade-offs in the context of North China. **Bioresource technology**, Essex, n. 96, p. 985-1002, 2005.

GODET, M. Regions facing their futures. **Foresight**, Los Angeles, v. 7, n. 2, p. 21-27, 2005.

GOLDEMBERG, J. Ethanol for a sustainable energy future. **Science**, Washington, n. 315, p. 808-810, 2007.

GUIMARÃES, E. N.; LEME, H. J. de C. Caracterização histórica e configuração espacial da estrutura produtiva do Centro-Oeste. **Textos Nepo**, Campinas, n. 33, p. 21-65, 1998.

HADDAD, P. R. et al. **Desequilíbrios regionais e descentralização industrial**. Rio de Janeiro: IPEA/INPES, 1975.

HAHN, R.; CECOT, C. The benefits and costs of ethanol: an evaluation of the government's analysis. **Journal of Regulatory Economics**, Dordrecht, n. 35, p. 275-295, 2009.

HELMSING, A. H. J. B. **Partnerships, meso-institutions and learning: new local and regional economic development initiatives in Latin America**. Netherlands: Institute for Social Studies, 2001.

HETTINGA, W. G. et al. Understanding the reductions in US corn ethanol production costs: an experience curve approach. **Energy Policy**, London, n. 37, p. 190-203, 2009.

HIRA, A.; OLIVEIRA, L. G. No substitute for oil? How Brazil developed its ethanol industry. **Energy Policy**, London, n. 37, p. 2450-2456, 2009.

HUNTER, E. L.; ANDERSON, I. C. Sweet sorghum. **Horticultural Reviews**, New York, n. 21, p. 73-104, 1997.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Milho**. Disponível em: <[http://www.imea.com.br/upload/pdf/arquivos/Cenario\\_do\\_atual\\_mercado\\_de\\_milho\\_em\\_Mato\\_Grosso.pdf](http://www.imea.com.br/upload/pdf/arquivos/Cenario_do_atual_mercado_de_milho_em_Mato_Grosso.pdf)>. Acesso em: 28 nov. 2011.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção agrícola municipal**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 13 set. 2011.

IMEA – Instituto Mato-Grossense de Economia Agrícola. **Cenário do atual mercado de milho em Mato Grosso**. Brasília, 2009. Disponível em: <[http://www.imea.com.br/upload/pdf/arquivos/Cenario\\_do\\_atual\\_mercado\\_de\\_milho\\_em\\_Mato\\_Grosso.pdf](http://www.imea.com.br/upload/pdf/arquivos/Cenario_do_atual_mercado_de_milho_em_Mato_Grosso.pdf)>. Acesso em: 23 nov. 2011.

KOJIMA, M.; TODD, J. **Potential for biofuels for transport in developing countries**. Washington: ESMAP, 2005.

KRUGMAN, P. R. The role of geography in development. **International Regional Science Review**, Philadelphia, n. 22, p. 142-161, 1999.

KWIATKOWSKI, J. R. et al. Modeling the process and costs of fuel ethanol production by the corn dry-grind process. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, n. 23, p. 288-296, 2006.

LEDUC, S. et al. Optimal location of lignocellulosic ethanol refineries with polygeneration in Sweden. **Energy**, Oxford, n. 35, p. 2709-2716, 2010.

LINS, C.; SAAVEDRA, R. Sustentabilidade corporativa no setor sucroalcooleiro brasileiro. Rio de Janeiro: Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável, 2007. Disponível em: <<http://fbds.org.br/fbds/Apresentacoes/Relatorio%20Final%20Sucroalcooleiro.pdf>> Acesso em: 14 dez. 2011.

LINTON, J. et al. Economic feasibility of producing sweet sorghum as an ethanol feedstock in the southeastern United States. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, n. 35, p. 3050-3057, 2011.

LOVEL, M. **Phasing out lead from gasoline: worldwide experiences and policy implications**. Washington: World Bank, 1998. (World Bank technical paper, 397).

MESQUITA, O. V. Agricultura. In: GEOGRAFIA do Brasil – Região Centro-Oeste. Rio de Janeiro: IBGE, 1989. p. 149-170.

MOREIRA, J. R.; GOLDEMBERG, J. The alcohol program. **Energy Policy**, London, n. 27, p. 229-245, 1999.

NAYLOR, R. L. et al. The ripple effect: biofuels, food security, and the environment. **Environment**, Washington, n. 49, p. 30-43, 2007.

NGUYEN T. L. T; GHEEWALA S.H; BONNET S. Life cycle cost analysis of fuel ethanol produced from cassava in Thailand. **International Journal Life Cycle Assessment**, Heidelberg, n. 13, p. 564-573, 2008.

OLIVEIRA, A. A. Análise dos impactos das políticas de desenvolvimento regional na Bacia do Alto Paraguai. **Ensaio e Ciências**, Campo Grande, v. 6, n. 3, p. 13-37, 2002.

OLIVEIRA, G. B.; LIMA, J. E. S. Elementos endógenos do desenvolvimento regional: considerações sobre o papel da sociedade local no desenvolvimento sustentável. **Revista FAE**, Curitiba, v. 6, n. 2, 2003.

OLIVEIRA, N. M.; SANTOS, H. N. Agroindústria no estado do Mato Grosso: aplicação de um modelo de localização. **Revista Brasileira de Agroinformática**, Lavras, n. 2, v. 5, p. 102-113, 2003.

PARRELLA, R. A. C. Melhoramento genético do sorgo sacarino. **Agroenergia em Revista**, Brasília, v. 2, n. 3, p. 8-9, ago. 2011.

PERROUX, F. **A economia do século XX**. Porto: Herder, 1967.

PORTER, M. E. **A vantagem competitiva das nações**. Rio Janeiro: Campus, 1989.

PUERTO RICO, J. A.; MERCEDES, S. S. P.; SAUER, I. L. Genesis and consolidation of the Brazilian bioethanol: A review of policies and incentive mechanisms. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Amsterdam, n. 14, p. 1874-1887, 2010.

PUGA, D. European regional policies in light of recent location theories. **Journal of Economic Geography**. Oxford, n. 2, p. 372-406, 2002.

RFA - Renewable Fuels Association. **Statistics**. Disponível em: <<http://www.ethanolrfa.org/pages/statistics>>. Acesso em: 10 nov. 2011.

SALLA, D. A. **Análise energética de sistemas de produção de etanol de mandioca, cana-de-açúcar e milho**. 2008. 168 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", UNESP, Botucatu, 2008.

SALLA, D.A. et al. Avaliação energética da produção de etanol utilizando como matéria-prima a cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n.8, p. 2516-2520, 2009.

SCARLAT, N.; MARTINOV, M.; DALLEMAND, J. F. Assessment of the availability of agricultural crop residues in the European Union: Potential and limitations for bioenergy use. **Waste Management**, Oxford, n 30, p. 1889-1897, 2010.

SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio a Micro e Pequenas Empresas. **Diagnóstico da cadeia produtiva agroindustrial da mandioca mato grosso**. Cuiabá, 2003.

SEPLAN/MT. Secretaria do Estado de Planejamento e Coordenação Geral. **Relatório**. Cuiabá, 2008.

SHAPOURI, H.; GALLAGHER, P. **USDA's 2002 ethanol cost-of-production survey**. Washington: USDA. Office of Energy Policy and New Uses, 2005. (Agricultural economic reports, 841).

SILVA, O.; FISCHETTI, D. **Etanol: a revolução verde e amarela**. São Paulo: Bizz, 2008.

SLADE, R.; BAUEN, A.; SHAH, N. The commercial performance of cellulosic ethanol supply-chains in Europe. **Biotechnology for Biofuels**, London, n. 2, p. 1-20, 2009.

SRIROTH, K. et al. The promise of a technology revolution in cassava bioethanol: from Thai practice to the world practice. **Fuel**, London, n. 89, p. 1333-1338, 2010.

TAO, L.; ADEN, A. The economics of current and future biofuels. **In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant**, Columbia, n. 45, p. 199-217, 2009.

TEIXEIRA, J. C.; HESPANHOL, A. N. A Região Centro-Oeste no contexto das mudanças agrícolas ocorridas no período pós-1960. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros**, Três Lagoas, v. 1, n. 3, p. 52-66, 2006.

THÜNEN, J. H. **The isolated state**. New York: Pergamon Press, 1966. (Edição original: 1826).

UNICA – União da Indústria da Cana-de-Açúcar. **Estatísticas**. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/dadosCotacao/estatistica/>>. Acesso em: 14 nov. 2011.

VALLE, T. L.; FELTRAN, J. C.; CARVALHO, C. R. L. **Mandioca para a produção de etanol**. Campinas: Portal Instituto Agrônomo, 2009.

VON OPPEN, M.; SCOTT, J. T. A spatial equilibrium model for plant location and interregional trade. **American Journal of Agricultural Economics**, Saint Paul, v. 58, n. 3, p. 437-445, 1976.

WEBER, Alfred. **Theory of the location of industries**. Chicago: The University of Chicago Press, 1929.

WICKE, B. et al. The current bioenergy production potential of semi-arid and arid regions in sub-Saharan Africa. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, n. 35, p. 2773-2786, 2011.

YANG, J. et al. Biofuels and the greater mekong subregion: assessing the impact on prices, production and trade. **Applied Energy**, London, n. 86, p. 37- 46, 2009.

ZHANG, J.; PALMER, S.; PIMENTEL, D. Energy production from corn. **Environment, Development and Sustainability**, Dordrecht, 27 Ago. 2011.

### APÊNDICE 1 – Resultados dos modelo

<b>Cidade (Produção de milho)</b>	<b>Hectares</b>	<b>Produção total(t/ano)</b>	<b>Produtividade (sacas/ha)</b>	<b>Custo de produção agrícola total (R\$)</b>
Brasnorte	19817	94830	79,75	25.709.005,69
Campos de Júlio	72858	349842	80,03	94.844.352,71
Campo Novo dos Parecis	102953	476630	77,16	129.217.371,94
Comodoro	12333	48967	66,17	13.275.178,41
Conquista do Oeste	293	813	46,21	220.490,71
Diamantino	51853	224049	72,01	60.741.084,21
Juara	1500	4170	46,33	1.130.513,06
Juina	3317	9730	48,89	2.637.863,81
Nova Lacerda	845	2952	58,22	800.216,18
Nova Maringa	12775	44739	58,37	12.128.941,19
Nova Mutum	88861	412703	77,41	111.886.362,69
Sapezal	109473	483717	73,64	131.138.701,93
Tangará da Serra	20783	90247	72,37	24.466.607,08
<b>Cidade (Produção de mandioca)</b>	<b>Hectares</b>	<b>Produção total (t/ano)</b>	<b>Produtividade (t/ha)</b>	<b>Custo de produção agrícola total (R\$)</b>
Brasnorte	225	3380	15,00	426.675,94
Campos de Júlio	0	0	0,00	0,00
Campo Novo dos Parecis	100	1500	15,00	189.353,23
Comodoro	150	3000	20,00	378.706,45
Conquista do Oeste	22	279	12,67	35.181,83
Diamantino	1000	15000	15,00	1.893.532,26
Juara	28	850	30,00	107.300,16
Juina	150	2635	17,57	332.630,50
Nova Lacerda	80	960	12,00	121.186,06
Nova Maringa	66	990	15,00	124.973,13
Nova Mutum	154	2997	19,46	378.369,40
Sapezal	0	0	0,00	0,00
Tangará da Serra	400	8000	20,00	1.009.883,87
<b>Cidade (Produção de sorgo sacarino)</b>	<b>Hectares</b>	<b>Produção total (t/ano)</b>	<b>Produtividade (t/ha)</b>	<b>Custo de produção agrícola total (R\$)</b>
Brasnorte	4733	236667	50,00	4.010.692,51
Campos de Júlio	4283	214167	50,00	3.629.394,01
Campo Novo dos Parecis	12167	608330	50,00	10.309.125,18
Comodoro	0	0	50,00	0,00
Conquista do Oeste	0	0	50,00	0,00
Diamantino	10767	538333	50,00	9.122.863,18
Juara	0	0	50,00	0,00
Juina	0	0	50,00	0,00
Nova Lacerda	900	45000	50,00	762.597,00
Nova Maringa	1783	89167	50,00	1.511.069,01
Nova Mutum	9111	455550	50,00	7.720.023,63
Sapezal	5433	271667	50,00	4.603.823,51
Tangará da Serra	2083	104167	50,00	1.765.268,01

## APÊNDICE 1 – Continuação...

<b>Cidade (Produção de milho)</b>	<b>Custo de transporte total (R\$)</b>	<b>Volume de produção total (Its)</b>	<b>Custo Industrial total (R\$)</b>	<b>Receita total (R\$)</b>
Brasnorte	3.584.574,00	35.252.104	42.655.046,08	60.015.137,96
Campos de Júlio	13.790.771,64	130.050.265	157.360.820,75	221.404.786,41
Campo Novo dos Parecis	2.144.835,00	177.182.436	214.390.747,80	301.645.209,40
Comodoro	2.212.315,51	18.202.881	22.025.486,08	30.989.594,60
Conquista do Oeste	25.339,26	302.336	365.826,73	514.713,82
Diamantino	5.832.306,89	83.287.975	100.778.450,06	141.794.069,87
Juara	324.122,38	1.550.156	1.875.688,52	2.639.071,24
Juina	717.994,32	3.617.030	4.376.606,54	6.157.832,88
Nova Lacerda	165.765,79	1.097.254	1.327.677,11	1.868.025,75
Nova Maringa	3.060.127,08	16.631.164	20.123.708,85	28.313.816,86
Nova Mutum	30.457.481,40	153.418.213	185.636.038,00	261.187.677,77
Sapezal	3.940.637,08	179.816.958	217.578.518,67	306.130.364,76
Tangará da Serra	2.743.750,14	33.548.531	40.593.722,88	57.114.880,95
<b>Cidade (Produção de mandioca)</b>	<b>Custo de transporte total (R\$)</b>	<b>Volume de produção (litros)</b>	<b>Custo Industrial total (R\$)</b>	<b>Receita total (R\$)</b>
Brasnorte	127.764,00	679.380	369.582,72	964.719,60
Campos de Júlio	0,00	0	0,00	0,00
Campo Novo dos Parecis	6.750,00	301.500	164.016,00	428.130,00
Comodoro	135.540,00	603.000	328.032,00	856.260,00
Conquista do Oeste	8.683,21	56.019	30.474,17	79.546,55
Diamantino	390.470,85	3.015.000	1.640.160,00	4.281.300,00
Juara	66.068,11	170.850	92.942,40	242.607,00
Juina	194.441,42	529.635	288.121,44	752.081,70
Nova Lacerda	53.913,60	192.960	104.970,24	274.003,20
Nova Maringa	67.716,00	198.990	108.250,56	282.565,80
Nova Mutum	221.202,95	602.463	327.740,05	855.497,93
Sapezal	0,00	0	0,00	0,00
Tangará da Serra	243.220,59	1.608.000	874.752,00	2.283.360,00
<b>Cidade (Produção de sorgo sacarino)</b>	<b>Custo de transporte total (R\$)</b>	<b>Volume de produção (litros)</b>	<b>Custo Industrial total (R\$)</b>	<b>Receita total (R\$)</b>
Brasnorte	8.945.993,70	8.295.161	5.225.951,32	11.779.128,37
Campos de Júlio	8.442.443,43	7.506.536	4.729.117,57	10.659.280,87
Campo Novo dos Parecis	2.737.485,00	21.321.967	13.432.838,90	30.277.192,43
Comodoro	0,00	0	0,00	0,00
Conquista do Oeste	0,00	0	0,00	0,00
Diamantino	14.013.478,15	18.868.467	11.887.133,90	26.793.222,43
Juara	0,00	0	0,00	0,00
Juina	0,00	0	0,00	0,00
Nova Lacerda	2.527.200,00	1.577.250	993.667,50	2.239.695,00
Nova Maringa	6.098.988,60	3.125.286	1.968.930,07	4.437.905,87
Nova Mutum	33.619.590,00	15.967.028	10.059.227,33	22.673.179,05
Sapezal	2.213.151,66	9.521.911	5.998.803,82	13.521.113,37
Tangará da Serra	3.166.929,64	3.651.036	2.300.152,57	5.184.470,87

## ANEXO 1 – Modelo utilizado

### Nomenclatura

#### Subscritos

i índice de processo industrial (tecnologia)  $i=1,2,3,\dots,I$   
 j índice da biomassa  $j=1,2,\dots,J$   
 k índice de localização da Usina  $k=1,2,\dots,K$   
 r índice do combustível renovável de uso final  $r=1,2,3,\dots,R$   
 $\mu$  índice de localização da produção agrícola  $\mu = 1,2,3,\dots,M$

#### Variável

$b_{\mu,k}^j$  volume de biomassa j transportada da fazenda  $\mu$  até a usina k (milhões de t/ano)

### Parâmetros

$\rho_{\mu}^j$  produtividade agrícola

$\pi_k^{bio}$  preço de venda do biocombustível na usina k, sem impostos – custos + mark-up da indústria (R\$/l)

$f_{k,i}^r$  fator de conversão da biomassa em combustível (l/t)

$c_{\mu}^{agrij}$  custo total (produção + colheita+ coleta+ acondicionamento) da biomassa j na fazenda  $\mu$  (R\$/t)

$c_{\mu,k}^{transj}$  custo de transportar o volume de biomassa j de  $\mu$  para k (R\$/t/km)

$c_{k,i}^{cj}$  custo variável de produzir combustível c de biomassa j na Usina k com tecnologia i (R\$/l)

$c_{k,i}^{plantj}$  custo fixo da produção de combustível na usina k com tecnologia i (R\$/l) utilizando biomassa j

$d_{\mu,k}^j$  distância que foi calculada a partir de informações geográficas de latitude e longitude de cada cidade

$b_{\mu}^{jup}$  total de biomassa disponível na região (milhões de t/ano)

$z_{j,k,i}^{bio}$  total do combustível r de biomassa j produzida pela usina k com tecnologia i (milhões de litros/ano)

$u_{j,k,i}^{plant}$  fator de utilização da planta (%)

## ANEXO 1 – Continuação...

### Formulação do Modelo

$$\text{Min B} = -\text{RV} + \text{UPC} \quad (\text{A.1})$$

$$\text{RV} = \sum_{\mu=1}^M \sum_{k=1}^K \pi_k^{\text{bio}} (b_{\mu,k}^j \cdot f_{k,i}^r) \quad i = 1, 2, \dots, I; r = 1, 2, \dots, R; j = 1, 2, \dots, J \quad (\text{A.2})$$

$$\begin{aligned} \text{UPC} = & \sum_{\mu=1}^M \sum_{k=1}^K c_{\mu}^{\text{agri}j} b_{\mu,k}^j + \sum_{\mu=1}^M \sum_{k=1}^K (c_{\mu,k}^{\text{trans}j} d_{\mu,k}^j) b_{\mu,k}^j + \sum_{\mu=1}^M \sum_{k=1}^K (c_{k,i}^{\text{plant}j} + c_{k,i}^{\text{c}j}) (b_{\mu,k}^j f_{k,i}^r) \\ & i = 1, 2, \dots, I; r = 1, 2, \dots, R; j = 1, 2, \dots, J \quad (\text{A.3}) \end{aligned}$$

s.a

$$\sum_{\mu=1}^M \sum_{k=1}^K b_{\mu,k}^j \leq \sum_{\mu=1}^M b_{\mu}^{\text{sup}} \quad (\text{A.4})$$

$$\begin{aligned} \sum_{\mu=1}^M \sum_{k=1}^K (b_{\mu,k}^j f_{k,i}^{\text{bio}}) & \leq \sum_{\mu=1}^M \sum_{k=1}^K (b_{\mu}^{\text{sup}} f_{k,i}^{\text{bio}}) \quad r = 1, 2, \dots, R; i = 1, 2, \dots, I; j \\ & = 1, 2, \dots, J \quad (\text{A.5}) \end{aligned}$$

$$\sum_{k=1}^K z_{j,k,i}^{\text{bio}} \leq \sum_{\mu=1}^M \sum_{k=1}^K (b_{\mu,k}^j f_{k,i}^{\text{bio}}) u_{j,k,i}^{\text{plant}} \quad j = 1, 2, \dots, J; i = 1, 2, \dots, I \quad (\text{A.6})$$

$$b_{\mu,k}^j \geq 0 \quad (\text{A.7})$$